



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Ευφυή σημασιολογικά συστήματα διαχείρισης:
Οντολογίες και συνεργατικά περιβάλλοντα**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Δέσποινα Θ. Μερίδου

Αθήνα, Μάιος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Ευφυή σημασιολογικά συστήματα διαχείρισης:
Οντολογίες και συνεργατικά περιβάλλοντα**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Δέσποινα Θ. Μερίδου

Συμβουλευτική Επιτροπή: **Ιάκωβος Στ. Βενιέρης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.**
Δήμητρα-Θεοδώρα Ι. Κακλαμάνη, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.
Νικόλαος Κ. Ουζούνογλου, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Ι. Στ. Βενιέρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δ.-Θ. Ι. Κακλαμάνη
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Ν. Κ. Ουζούνογλου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γ. Ι. Στασινόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Χ. Ζ. Πατρικάκης
Αν. Καθηγητής
Τ.Ε.Ι. Πειραιά

.....
Γ. Κ. Ματσόπουλος
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Χρήστος Ι. Κακλαμάνης
Καθηγητής Παν. Πα-
τρών

Αθήνα, Μάιος 2016

.....

Δέσποινα Θ. Μερίδου

Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Δέσποινα Θ. Μερίδου, 2016.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τη συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τη συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Σε όλους όσοι συνέβαλαν ώστε να φτάσω ως εδώ.

Περίληψη

Οι ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα διασύνδεσης συσκευών, υπηρεσιών και συστημάτων στα πλαίσια του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things) έχουν προκαλέσει την ανεξέλεγκτη παραγωγή πληροφορίας. Η έλευση του Διαδικτύου των Πάντων (Internet of Everything), το οποίο καθιστά δυνατή τη σύνδεση τόσο άβιων όντων εμπλουτισμένων με ευφυΐα, όσο και έμβιων οντοτήτων, επιβάλλει την εφαρμογή εξελιγμένων τεχνικών διαχείρισης, διατήρησης και διαμοιρασμού δεδομένων. Ταυτόχρονα, η βέλτιστη εκμετάλλευση αυτής της πληροφορίας είναι συχνά δύσκολη, λόγω του τεράστιου όγκου των δεδομένων, της ετερογένειάς τους και της κατανεμημένης φύσης τους. Η παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματεύεται την ενσωμάτωση ετερογενούς, κατανεμημένης πληροφορίας, η οποία διαμοιράζεται ανάμεσα στις υπηρεσίες μίας πλατφόρμας διαχείρισης στα πλαίσια ενός συνεργατικού σεναρίου για την επίτευξη ενός καλά ορισμένου στόχου.

Η προτεινόμενη ευφυής πλατφόρμα διαχείρισης, και κατ'επέκταση η ομογενοποίηση των δεδομένων, αναπτύσσεται στο πλαίσιο δύο ευρύτερων περιπτώσεων χρήσης. Η πρώτη αφορά σε μία ευφυή πλατφόρμα διαχείρισης παραγωγής πολύπλοκων προϊόντων με έμφαση στην ιδιαίτερα εξατομικευμένη παραγωγή μικρής κλίμακας, όπως επίσης και στην περίοδο εκκίνησης της διαδικασίας παραγωγής. Αντίστοιχα, η δεύτερη περίπτωση χρήσης περιλαμβάνει μία ευφυή πλατφόρμα υποστήριξης και εξυπηρέτησης με σκοπό τη διατήρηση της ευημερίας και της υγείας ενός ατόμου.

Τη βάση της προτεινόμενης πλατφόρμας αποτελούν οι υπηρεσίες διαχείρισης των υποκείμενων δεδομένων, οι οποίες με τη σειρά τους αξιοποιούν τις τεχνολογίες του Σηματολογικού Ιστού ώστε να ενισχύσουν την ευφυΐα τους και να εμπλουτίσουν την εσωτερική λογική τους μέσω σηματολογικών κανόνων. Κάθε λειτουργία της πλατφόρμας βασίζεται σε μία ιεραρχία οντολογικών μοντέλων, τα οποία διαφοροποιούνται με σκοπό την ικανοποίηση των αναγκών της εκάστοτε εφαρμογής. Τα εν λόγω οντολογικά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί έτσι, ώστε να χαρακτηρίζονται από ακρίβεια και σαφήνεια, ενώ διατηρούν τη δυνατότητα να διαλειτουργούν με ήδη υπάρχοντα πρότυπα σηματολογικά μοντέλα.

Συνολικά, στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η παρουσίαση

μίας μεθοδολογίας αξιοποίησης του αχανούς συνόλου πληροφορίας που παράγεται στις μέρες μας από μία πληθώρα ετερογενών πηγών δεδομένων με τρόπο τέτοιο, ώστε να ενισχύεται η αποδοτικότητα, η ποιότητα και η λειτουργικότητα των διαδικασιών κάθε τομέα, ξεκινώντας από αυτούς της παραγωγής και της ευημερίας.

Λέξεις κλειδιά: Ευφύες σύστημα διαχείρισης δεδομένων, διαχείριση παραγωγής, βελτίωση ευημερίας, σημασιολογικό μοντέλο, κατανεμημένες πηγές δεδομένων.

Abstract

The vast variety of smart entities, from mobile applications to wearable devices to smart home appliances, has led to an enormous amount of generated data that gets difficult to handle and take advantage of as it gets bigger and bigger. The interconnection of these entities or “things” in an Internet of Things, where exchange of information and combination of knowledge is possible, results to an even more puzzling pile of information. The advent of the Internet of Everything, where things and data providers can connect not only to other things and data providers, but to human entities as well, and are enriched with intelligence, calls for sophisticated data handling, storing, and sharing mechanisms. This thesis presents a collaborative, intelligent service bus, which provides the means to integrate heterogeneous systems, regardless of their complexity and their application domain.

In this context, the intelligent Enterprise Service Bus presented in this thesis, as well as the underlying data integration mechanisms, is applied to two broader use cases. The first use case refers to an intelligent production management system with a special emphasis on small-lot production and production ramp-up, which are both strongly characterised by a high degree of customisation. In the same respect, the second use case involves an intelligent platform that aims at improving the wellbeing of a person.

The core of the proposed platform is formed by intelligent services that manage the underlying data. By taking advantage of Semantic Web technologies, the aforementioned services enhance their intelligence and, at the same time, they enrich their internal logic by means of semantic inference rules. Each function offered by the intelligent platform is based on a taxonomy of ontological models; the content of these models is strongly connected to the use case they are part of. At the same time, the ontological models of the platform are capable of interoperating with already existing standardised ontologies.

Overall, the goal of this thesis is to present an integration and exploitation paradigm with respect to the enormous set of data produced by various heterogeneous data sources so that the involved processes, no matter the domain, become effective, fruitful and interoperable.

Keywords: Intelligent data management system, production management, wellbeing improvement, semantic model, distributed data sources.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αποτελεί επιστέγασμα της ερευνητικής μου δραστηριότητας στο εργαστήριο Ευφών Επικοινωνιών και Δικτύων Ευρείας Ζώνης του ΕΜΠ. Σε αυτήν την τετραετή πορεία μου, είχα την τιμή να συνεργαστώ με αρκετούς ανθρώπους, τους οποίους θα ήθελα, σε αυτό το σημείο, να ευχαριστήσω για την πολύτιμη βοήθειά τους και τη συνεχή στήριξη και καθοδήγηση.

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις εγκάρδιες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Ιάκωβο Βενιέρη, Καθηγητή ΕΜΠ, ο οποίος όχι μόνο μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον ερευνητικό αντικείμενο, αλλά με στήριξε επίσης σε κάθε βήμα μου και ποτέ δεν έπαψε να πιστεύει στις δυνατότητές μου. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την κυρία Δήμητρα Κακλαμάνη, Καθηγήτρια ΕΜΠ, για την καθοδήγηση και την υποστήριξή της· όλα αυτά τα χρόνια, ήταν για εμένα η δεύτερη επιβλέπουσα στην ερευνητική μου πορεία. Ένα μεγάλο “ευχαριστώ” οφείλω επίσης στον κύριο Χαράλαμπο Πατρικάκη, Αν. Καθηγητή Τ.Ε.Ι. Πειραιά, για την άψογη συνεργασία και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε. Θερμές ευχαριστίες στον κύριο Νικόλαο Ουζούνου, Καθηγητή ΕΜΠ, και στον κύριο Γεώργιο Στασινόπουλο, Καθηγητή ΕΜΠ, οι οποίοι, ευγενικοί, στήριξαν την προσπάθειά μου καθ’ όλη της τη διάρκεια. Τέλος, δε θα μπορούσα να παραλείψω τον κύριο Γεώργιο Ματσόπουλο, Αν. Καθηγητή ΕΜΠ, και τον κύριο Χρήστο Κακλαμάνη, Καθηγητή του Πανεπιστημίου Πατρών, οι οποίοι δέχθηκαν να αποτελέσουν μέλη της επταμελούς επιτροπής μου.

Ένα μεγάλο “ευχαριστώ” οφείλω στους γονείς μου, Θεόφιλο και Ιωάννα, την αδρεφή μου Έφη και τον αδερφό μου Γιώργο για την αστείρευτη πηγή συμβουλών και για τη συνεχή ώθηση που ασκούν ώστε να εξελίσσομαι.

Η συνέχεια είναι αφιερωμένη στους φίλους μου. Ξεκινώντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Μαριέλα, για την παρέα στην κοινή μας πορεία· τον Αντρέα, για την ανεκτίμητη βοήθεια· την Άννα, τη Χριστίνα και τη Νίκη για τις στιγμές μας· το Μανόλη, για την υπομονή του και τη δύναμη που μου έδωσε αλλά και για εκείνες τις στιγμές που δεν έτρεχε ο κώδικας· τον Πέτρο, για τα γέλια που κάναμε μαζί· τον Παναγιώτη, για την άψογη συνεργασία· τον Κώστα, γιατί μου έφτιαχνε πάντα τη διάθεση· την Κατερίνα, για τις καλλιτεχνικές της παρεμβάσεις· τη Σοφία, γιατί χω-

ρίς αυτή η διατριβή μου θα ήταν γεμάτη με άχρηστα σημεία στίξης: το Γιώργο και τον Άγγελο για τα πρώτα μου βήματα· το Φώτη, γιατί ήταν ο πρώτος μου “εργαστηριακός” φίλος· τη Σοφία και τη Βάσω, για τις κουβέντες μας· την Τζάβα μου, για την αγάπη της. Φυσικά, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω σε όλα τα παιδιά του εργαστηρίου, στους παλιούς και τους νέους, για την εποικοδομητική συνεργασία μας και τις σουρεαλιστικές συζητήσεις που κάναμε ώρες ώρες.

Πηγή της ερευνητικής μου δραστηριότητας αποτέλεσε η συμμετοχή μου στο Ευρωπαϊκό ερευνητικό έργο ARUM. Οι εμπειρίες που κέρδισα μέσα από αυτό διαμόρφωσαν σε μεγάλο βαθμό τη μέχρι σήμερα ερευνητική μου δραστηριότητα, ενώ η συνεισφορά των συνεργατών μου αποδείχθηκε ανεκτίμητη και δε θα μπορούσα παρά να τους ευχαριστήσω θερμά. Μέσω του ARUM, είχα την τιμή να συνεργαστώ με αξιόλογους ανθρώπους και να ανταλλάξω σκέψεις, ιδέες και γνώσεις.

Πίνακας Περιεχομένων

	Σελ.
Περίληψη	viii
Ευχαριστίες	xii
Πίνακας Περιεχομένων	xiii
Πίνακας Σχημάτων	xvii
Πίνακας Πινάκων	xxi
1 Εισαγωγή	1
1.1 Κίνητρα και προσέγγιση	2
1.1.1 Ευφυή συστήματα στη διαχείριση παραγωγής	2
1.1.2 Ευφυή συστήματα διαχείρισης δεδομένων υγείας και δεικτών ευ- ημερίας	5
1.2 Διάρθρωση της διατριβής	6
2 Τεχνολογίες & Αρχιτεκτονικές Σχεδίασης και Ανάπτυξης Συστημάτων Δια- χείρισης	9
2.1 Αρχιτεκτονικές προσανατολισμένες σε υπηρεσίες	9
2.1.1 Οι υπηρεσίες	10
2.1.2 Επιχειρησιακός Δίαυλος Υπηρεσιών	13
2.2 Τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού	14
2.2.1 Πλαίσιο Περιγραφής Πόρων	14
2.2.2 Σχήμα Πλαισίου Περιγραφής Πόρων	15

2.2.3	Γλώσσα Οντολογιών Ιστού	15
2.2.4	Σημασιολογικές δομές δεδομένων	17
2.2.5	Σημασιολογικοί κανόνες & επαγωγικός συλλογισμός	18
2.3	Ομογενοποίηση ετερογενών και κατανεμημένων δεδομένων με τη χρήση οντολογιών	19
2.3.1	Ο ρόλος των πρότυπων οντολογιών και των Διασυνδεδεμένων Δεδομένων	20
2.3.2	Συστήματα μετασχηματισμού δεδομένων με τη χρήση οντολογιών	25
2.4	Εφαρμογή σε συστήματα διαχείρισης παραγωγής	28
2.4.1	Τεχνολογίες και συστήματα διαχείρισης παραγωγής	28
2.4.2	Χρήση οντολογιών στη διαχείριση παραγωγής	32
3	Αρχιτεκτονική ευφυούς συστήματος διαχείρισης βασισμένου σε Επιχειρησιακό Δίαυλο Υπηρεσιών	35
3.1	Πρότυπο συστήματος	35
3.1.1	Πρωτόκολλο επικοινωνίας υπηρεσιών	37
3.1.2	Πρωτόκολλα διαπραγμάτευσης	41
3.1.3	Επικοινωνία βασισμένη σε Δημοσίευση/Συνδρομή	43
3.2	Σημασιολογικές υπηρεσίες για την ενσωμάτωση πηγών δεδομένων	44
4	Εφαρμογή αρχιτεκτονικής σε συνεργατικά περιβάλλοντα διαχείρισης παραγωγής	49
4.1	Χαρακτηριστικά περιβάλλοντος εφαρμογής της αρχιτεκτονικής του ευφυούς συστήματος διαχείρισης	50
4.1.1	Η περίοδος εκκίνησης της παραγωγής	50
4.1.2	Η παραγωγή μικρής κλίμακας	51
4.2	Αρχιτεκτονική του συστήματος διαχείρισης παραγωγής	52
4.2.1	Τα εργαλεία και ο στόχος τους	54
4.2.2	Πηγές και δίοδοι δεδομένων	56
4.2.3	Διαχειριστικές υπηρεσίες και ασφάλεια	58
4.3	Οντολογίες προτυποποίησης δεδομένων παραγωγής	60
4.3.1	Η Βασική οντολογία	61

4.3.2	Η οντολογία Στιγμιότυπων Παραγωγής	63
4.3.3	Η οντολογία Συμβάντων Παραγωγής	65
4.3.4	Η οντολογία Πολιτικών	68
4.4	Ευφυείς υπηρεσίες και δομές διαχείρισης σημασιολογικών δεδομένων παραγωγής	70
5	Αξιολόγηση σε πραγματικό περιβάλλον παραγωγής: Αεροναυτικά προϊόντα	75
5.1	Παράδειγμα χρήσης της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων	76
5.2	Παράδειγμα χρήσης της Υπηρεσίας Διαχείρισης Συμβάντων	78
5.3	Αξιολόγηση συστήματος	81
6	Επέκταση χρήσης της αρχιτεκτονικής σε συνεργατικά περιβάλλοντα προσανατολισμένα σε στόχους	87
6.1	Κίνητρα	89
6.2	Σύστημα διαχείρισης δεδομένων υγείας και δεικτών ευημερίας	90
6.2.1	Υπάρχουσες τεχνολογίες	90
6.2.2	Χρήση οντολογιών στη διαχείριση δεδομένων υγείας και δεικτών ευημερίας	98
6.3	Το Διαδίκτυο των Πάντων στην υγεία και την ευημερία	102
7	Εφαρμογή σε συνεργατικά περιβάλλοντα διαχείρισης δεδομένων υγείας και δεικτών ευημερίας	105
7.1	Αρχιτεκτονική του συστήματος διαχείρισης ιατρικών δεδομένων και δεικτών ευημερίας	106
7.1.1	Τα εργαλεία και ο στόχος τους	107
7.1.2	Πηγές και δίοδοι δεδομένων	109
7.1.3	Διαχειριστικές υπηρεσίες και ασφάλεια	110
7.2	Οντολογίες προτυποποίησης δεδομένων υγείας και δεικτών ευημερίας	112
7.2.1	Η οντολογία Δεδομένων Υγείας και Καταγραφής Συμπεριφορικών Δραστηριοτήτων	112
7.2.2	Η οντολογία Στόχων Ενίσχυσης Ευημερίας	113
7.2.3	Η οντολογία Πολιτικών	116

7.3	Ευφυείς υπηρεσίες και δομές διαχείρισης σημασιολογικών δεδομένων υγείας και δεικτών ευημερίας	116
7.4	Εφαρμογή του Διαύλου Υπηρεσιών Ευημερίας	119
8	Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα	123
	Βιβλιογραφία	127
	Δημοσιεύσεις	139

Πίνακας Σχημάτων

	Σελ.
1 Σύγκριση μεταξύ του καθορισμένου και του πραγματικού ρυθμού παραγωγής κατά την περίοδο εκκίνησης της παραγωγής του αεροσκάφους Airbus A320 [1]	4
2 Ο ρόλος του Συγκεντρωτή Υπηρεσιών	12
3 Ο ρόλος του Διαμεσολαβητή Υπηρεσιών	13
4 Το διάγραμμα του νέφους των Διασυνδεδεμένων Ανοιχτών Δεδομένων [2]	20
5 Το διάγραμμα του νέφους των Ελληνικών Διασυνδεδεμένων Ανοιχτών Δεδομένων [3]	25
6 Η αρχιτεκτονική του συστήματος Optique	27
7 Η αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου του iESB	36
8 Η δομή του μηνύματος και της επικεφαλίδας αυτού κατά τις προδιαγραφές του JBossESB	38
9 Η δομή του μηνύματος του iESB	40
10 Η WSDL περιγραφή της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων	41
11 Το πρωτόκολλο Αιτημάτων Αλληλεπίδρασης FIPA [4]	42
12 Το πρωτόκολλο Ερωτημάτων Αλληλεπίδρασης FIPA [5]	42
13 Ο μηχανισμός Δημοσίευσης/Συνδρομής της πλατφόρμας iESB	44
14 Η αλληλεπίδραση της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων με τις υπηρεσίες και τα εργαλεία του iESB στο πλαίσιο ενός αιτήματος ανάγνωσης	45
15 Η αρχιτεκτονική της πλατφόρμας iESB: η εφαρμογή της σε συνεργατικά περιβάλλοντα διαχείρισης παραγωγής	53

16	Ο Σχεδιαστής Δικτύου Εργοστασίου & Σεναρίων Παραγωγής: Εμφάνιση της λίστας των περιστατικών	56
17	Ο Πίνακας Διαχείρισης της πλατφόρμας iESB	58
18	Η Διεπαφή Χρήστη του Εργαλείου Παρακολούθησης Επικοινωνίας: Στιγμιότυπο των μηνυμάτων που έχουν παραχθεί από τις υπηρεσίες του συστήματος [6].	59
19	Η ιεραρχία των οντολογιών της πλατφόρμας iESB	61
20	Η Βασική οντολογία	61
21	Η οντολογία Στιγμιότυπων Παραγωγής	65
22	Η οντολογία Συμβάντων Παραγωγής	66
23	Η ιεραρχία των Συμβάντων Παραγωγής	67
24	Η οντολογία Πολιτικών	69
25	Διάγραμμα ακολουθίας για το σενάριο ανάκτησης δεδομένων από τα Υφιστάμενα Επιχειρησιακά Συστήματα	71
26	Η αλληλεπίδραση του Εργαλείου Σχεδιασμού Δικτύου Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής και της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων στα πλαίσια της δημιουργίας Στιγμιότυπων	77
27	Τα αντικείμενα της οντολογίας Στιγμιότυπων Παραγωγής που δημιουργούνται κατά την επικοινωνία του Σχεδιαστή Δικτύου Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής και της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων στα πλαίσια της δημιουργίας Στιγμιότυπων	78
28	Τα αντικείμενα της οντολογίας Στιγμιότυπων Παραγωγής που δημιουργούνται κατά την επικοινωνία του Σχεδιαστή Δικτύου Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής και της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων στα πλαίσια της δημιουργίας Στιγμιότυπων	79
29	Τα αντικείμενα της οντολογίας Στιγμιότυπων Παραγωγής που δημιουργούνται στο πλαίσιο ενός συμβάντος <i>Πιθανότητας Μη Συμμόρφωσης</i>	80
30	Τα αντικείμενα της οντολογίας Στιγμιότυπων Παραγωγής που δημιουργούνται στο πλαίσιο ενός συμβάντος <i>Μη συμμόρφωσης</i>	80
31	Γραφική παράσταση των χρόνων εκτέλεσης των τεσσάρων λειτουργιών για τη Σχεσιακή Βάση Δεδομένων και το Αποθετήριο Τριπλετών	83
32	Γραφική παράσταση των χρόνων εκτέλεσης των λειτουργιών δημοσίευσης ενός συμβάντος <i>Πιθανότητας Μη Συμμόρφωσης</i>	85

33	Γραφική παράσταση των χρόνων εκτέλεσης των λειτουργιών δημοσίευσης ενός συμβάντος Μη Συμμόρφωσης	86
34	Τα τμήματα ενός πόρου	91
35	Το αφήγημα του παραδείγματος ενός πόρου FHIR του Σχήματος 34	92
36	Ο Διάυλος Επιχειρησιακών Υπηρεσιών της IBM για την Υγεία	96
37	Ο Διάυλος Υπηρεσιών Υγείας	97
38	Η οντολογία Φυσικής Κατάστασης	99
39	Η οντολογία Συμπτωμάτων	100
40	Η οντολογία Σημασιολογικών Δικτύων Αισθητήρων	101
41	Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων στην Υγεία και την Ευημερία	103
42	Η αρχιτεκτονική του Διαύλου Υπηρεσιών Ευημερίας	107
43	Η οντολογία Δεδομένων Υγείας και Καταγραφής Συμπεριφορικών Δραστηριοτήτων	114
44	Η οντολογία Στόχων Ενίσχυσης Ευημερίας	115
45	Η οντολογία Πολιτικών	117
46	Η ροή των δεδομένων στο Διάυλο Υπηρεσιών Ευημερίας	120
47	Η αντιστοιχία των υπηρεσιών του iESB με τις υπηρεσίες του WSB	122

Πίνακας Πινάκων

	Σελ.
1 Αποκλίσεις κατά τον αρχικό χρονοπρογραμματισμό του αεροσκάφους Boeing 787 που σημειώθηκαν κατά την περίοδο εκκίνησης της παραγωγής [7]	3
2 Τα σύνολα των Διασυνδεδεμένων Δεδομένων ανά κατηγορία	24
3 Οι χρόνοι εκτέλεσης (σε msec) τεσσάρων λειτουργιών της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων κάνοντας χρήση του Αποθετηρίου Τριπλετών	82
4 Οι χρόνοι εκτέλεσης (σε msec) τεσσάρων λειτουργιών της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων κάνοντας χρήση της σχεσιακής βάσης δεδομένων	82
5 Οι χρόνοι εκτέλεσης (σε msec) των υποκείμενων λειτουργιών δημοσίευσης του συμβάντος Πιθανότητας Μη Συμμόρφωσης	84
6 Οι χρόνοι εκτέλεσης (σε msec) των υποκείμενων λειτουργιών δημοσίευσης του συμβάντος Μη Συμμόρφωσης	85
7 Πρότυπα της οικογένειας ISO/IEEE 11073 για την επικοινωνία προσωπικών συσκευών υγείας	94

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Οι ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις της σύγχρονης εποχής έχουν επιφέρει σημαντικές αλλαγές στον τρόπο και το ρυθμό παραγωγής δεδομένων, όπως επίσης και στις μεθόδους διαμοιρασμού και αξιοποίησης των δεδομένων αυτών. Το ευρύ σύνολο των ευφύων οντοτήτων που αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής μας ζωής, όπως είναι οι ευφυείς κινητές συσκευές και οι ενδυτές συσκευές (wearable devices) έχει προκαλέσει την ανεξέλεγκτη παραγωγή πληροφορίας. Η διασύνδεση των συσκευών αυτών με άλλες ευφυείς οντότητες, όπως είναι τα έξυπνα συστήματα, οι έξυπνες υπηρεσίες και οι αισθητήρες, μέσω του *Διαδικτύου των Πραγμάτων* (Internet of Things – IoT) προδιαγράφει το παρόν και το μέλλον της πληροφορίας.

Η διασύνδεση των ευφύων αυτών συσκευών οδηγεί στο σχηματισμό ενός συνεργατικού περιβάλλοντος. Τα συστατικά στοιχεία ενός τέτοιου περιβάλλοντος παράγουν και ανταλλάσσουν δεδομένα με σκοπό την επίτευξη ενός καλά ορισμένου στόχου. Εν τούτοις, η βέλτιστη εκμετάλλευση αυτής της πληροφορίας είναι συχνά δύσκολη, λόγω του τεράστιου όγκου των δεδομένων, της ετερογένειάς τους και της κατανεμημένης φύσης τους. Η κατάσταση επιδεινώνεται με την έλευση του *Διαδικτύου των Πάντων* (Internet of Everything – IoE), το οποίο σχετίζεται με το όραμα διασύνδεσης όχι μόνο έμβιων οντοτήτων (ανθρώπων και ζώων) με κινητές και υπολογιστικές συσκευές, αλλά με καθημερινά αντικείμενα (ιατρική αγωγή, οικιακές συσκευές, κλπ.) εμπλουτισμένα με αισθητήρες και εσωτερική λογική.

Ως εκ τούτου, κρίνεται αναγκαία μία τεχνική υποδομή, η οποία θα επιτρέψει τη συσσώρευση της ετερογενούς πληροφορίας, τη διαχείρισή της ως ένα ομοιογενές σύνολο και την αποθήκευσή της σε ασφαλείς, εξελιγμένες δομές δεδομένων. Για το βέλτιστο διαμοιρασμό και την αποδοτική επεξεργασία της παραχθείσας πληροφορίας, η υποδομή αυτή θα πρέπει να παρέχει εκλεπτυσμένες τεχνικές επικοινωνίας ανάμεσα σε ετερογενείς συσκευές, πλατφόρμες και υπηρεσίες και να προδιαγράφει τα κατάλληλα μέσα έτσι, ώστε η πληροφορία που παράγεται από τις ευφυείς οντότητες να μπορεί να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία με αποτέλεσμα την εξαγωγή γνώ-

σης βάσει ενός συνόλου κανόνων σχετικών με το πεδίο εφαρμογής. Ταυτόχρονα, η υποδομή αυτή θα πρέπει να διασφαλίζει ότι ο διαμοιρασμός τόσο των πρωτογενών, όσο και των εμπλουτισμένων δεδομένων είναι δυνατός ανά πάσα στιγμή.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματεύεται το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ευφύων συνεργατικών συστημάτων διαχείρισης βασισμένων στις τεχνολογίες του Σηματολογικού Ιστού. Στα πλαίσια της διατριβής, αναλύονται οι τρέχουσες απαιτήσεις και οι υπάρχουσες λύσεις στο συνεργατικό τομέα της διαχείρισης παραγωγής. Εν συνεχεία, παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική ενός συστήματος, το οποίο αντιμετωπίζει τα φλέγοντα ζητήματα του προαναφερθέντος τομέα και ξεπερνά τις αδυναμίες των σύγχρονων συστημάτων διαχείρισης παραγωγής.

Στο δεύτερο σκέλος της διατριβής η αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου της συνεργατικής πλατφόρμας διαχείρισης παραγωγής προσαρμόζεται με κατάλληλο τρόπο ώστε να δύναται να υποστηρίξει οποιοδήποτε συνεργατικό σενάριο διαχείρισης δεδομένων στα πλαίσια επίτευξης καλώς ορισμένων στόχων. Εν προκειμένω, η αρχιτεκτονική του προαναφερθέντος συστήματος εφαρμόζεται σε μία περίπτωση διαχείρισης δεδομένων υγείας και δεικτών ευημερίας με σκοπό την επίτευξη στόχων που ενισχύουν τη φυσική κατάσταση ενός ατόμου.

1.1 Κίνητρα και προσέγγιση

Στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου αναλύονται τα κίνητρα που οδήγησαν στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη του εν λόγω συστήματος διαχείρισης. Τα κίνητρα αυτά αφορούν τόσο στις αδυναμίες των μεθοδολογιών που εφαρμόζουν τα τρέχοντα συστήματα διαχείρισης παραγωγής και υγείας, όσο και στα περιθώρια βελτίωσής τους υιοθετώντας καινοτόμες τεχνολογικές υποδομές. Επιπρόσθετα, πραγματοποιείται μία σύντομη αναφορά στα μέσα που υιοθετήθηκαν από το προτεινόμενο ευφύες σύστημα ώστε να αντιμετωπισθούν οι σύγχρονες απαιτήσεις.

1.1.1 Ευφύη συστήματα στη διαχείριση παραγωγής

Η λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο στον τομέα των συστημάτων παραγωγής χαρακτηρίζεται από ορισμένες προκλήσεις, οι οποίες ενήργησαν ως κίνητρο για ενδελεχή ερευνητική μελέτη και για το σχεδιασμό μίας ευφύους πλατφόρμας διαχείρισης παραγωγής. Οι προκλήσεις αυτές περιγράφονται ακολούθως μέσω χαρακτηριστικών παραδειγμάτων.

Προκλήσεις κατά τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο Παρά την πρόοδο που έχει σημειωθεί πρόσφατα στον τομέα της επιχειρησιακής έρευνας, τα υπάρχο-

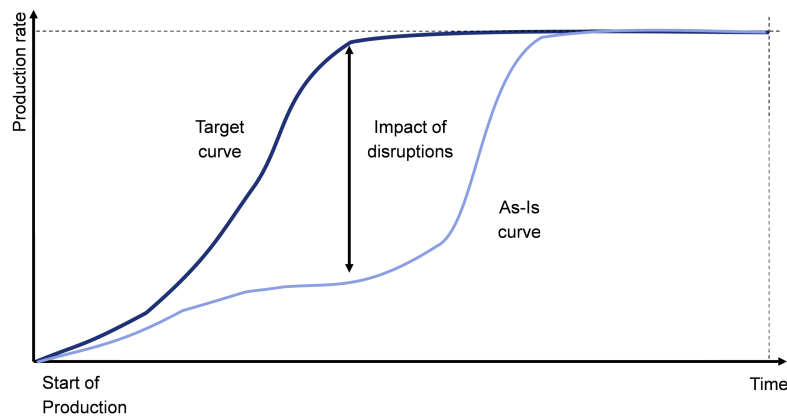
ντα συστήματα Προγραμματισμού Επιχειρησιακών Πόρων (Enterprise Resource Planning - ERP) έχουν αποδειχθεί μη ικανοποιητικά σε ό,τι αφορά την κατανομή, τη χρονοδρομολόγηση και τη βελτιστοποίηση πόρων σε χώρους παραγωγής πολύπλοκων προϊόντων [8]. Οι παραδοσιακές επιχειρησιακές διαδικασίες που ακολουθούν το Μοντέλο Καταρράκτη (Waterfall Model) [9] [10], το οποίο ορίζει ότι ένα στάδιο παραγωγής πρέπει να ολοκληρωθεί πριν την εκκίνηση του επόμενου, πρέπει να υιοθετήσουν μηχανισμούς συντονισμού με τη μορφή συνεχών διαπραγματεύσεων ανάμεσα στα στάδια που έχουν οριστεί. Ταυτόχρονα, το κόστος παραγωγής ιδιαίτερα εξατομικευμένων προϊόντων θα πρέπει να αξιολογείται μεμονωμένα. Η λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο είναι στενά συνδεδεμένη με την έννοια του χρόνου· οι αποφάσεις πρέπει να λαμβάνονται ακαριαία, ενώ η αποδοτικότητα της αξιοποίησης των υπαρχόντων πόρων είναι άμεσα εξαρτώμενη από το χρόνο. Κάθε μορφή καθυστέρησης επιφέρει επιπρόσθετο κόστος, ενώ ταυτόχρονα έχει ως επακόλουθο επιπρόσθετους κινδύνους, όπως είναι η μείωση του αριθμού των πωλήσεων, η επιβολή ποινών όπως αυτές έχουν οριστεί στο συμβόλαιο του πελάτη, η πτώχευση ενός ή περισσότερων προμηθευτών και η δυσφήμιση της εταιρίας.

Πίνακας 1: Αποκλίσεις κατά τον αρχικό χρονοπρογραμματισμό του αεροσκάφους Boeing 787 που σημειώθηκαν κατά την περίοδο εκκίνησης της παραγωγής [7]

Αναθεωρήσεις χρονοδιαγράμ- ματος	Ημερομηνία πρώτης πτήσης	Ημερομηνία πρώτης παρά- δοσης	Πλήθος ϊόντων παραδόση (2009) προς
-	Αύγουστος 2007	Μάιος 2008	112
Οκτώβριος 2007	Μάρτιος 2008	Νοέμβριος- Δεκέμβριος 2008	109
Ιανουάριος 2008 Απρίλιος 2008	Ιούνιος 2008 Οκτώβριος- Δεκέμβριος 2008	Μη ορισμένη Ιούλιος- Σεπτέμβριος 2009	- 25

Πολυάριθμα είναι τα περιστατικά καθυστερήσεων κατά την εκκίνηση της παραγωγής που έχουν καταγραφεί από τις δύο μεγαλύτερες εταιρίες κατασκευής αεροσκαφών, την Airbus και την Boeing. Μη αναμενόμενα συμβάντα που σημειώθηκαν κατά την περίοδο εκκίνησης της παραγωγής (ramp-up) του αεροσκάφους Boeing 787, όπως είναι η μη αναμενόμενη έλλειψη συνδετικών εξαρτημάτων ή η λανθασμένη προδιαγραφή των επιμέρους εργασιών από τη μεριά των προμηθευτών, οδήγησαν σε δραματική καθυστέρηση στην περίοδο εκκίνησης. Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τις πολλαπλές αποκλίσεις που σημειώθηκαν κατά την περίοδο εκκίνησης στο διάστημα από την ημερομηνία αρχικού προγραμματισμού έως την πραγματική ημερομηνία παραγωγής του αεροσκάφους Boeing 787 [7].

Ομοίως, η αεροναυτική εταιρία Airbus αναφέρει ότι ο επαναπρογραμματι-



Σχήμα 1: Σύγκριση μεταξύ του καθορισμένου και του πραγματικού ρυθμού παραγωγής κατά την περίοδο εκκίνησης της παραγωγής του αεροσκάφους Airbus A320 [1]

σμός των διαδικασιών παραγωγής λόγω μη αναμενόμενων προβλημάτων έχει οδηγήσει σε σημαντικές αποκλίσεις από τους προκαθορισμένους ρυθμούς παραγωγής. Η πιο δημοφιλής προσέγγιση σε ό,τι αφορά τον έλεγχο της παραγωγής αεροσκαφών είναι η κλασική, κεντροκοποιημένη, ιεραρχική λύση Σχεδιασμού Υλικών Απαιτήσεων (Material Requirements Planning – MRP), όπως αυτή υλοποιείται επί του παρόντος από τη γερμανική πολυεθνική εταιρία SAP (Systems, Applications and Products in Data Processing¹), η οποία δραστηριοποιείται στον τομέα ανάπτυξης επιχειρησιακού λογισμικού. Ο αριθμός των Συστημάτων Εκτέλεσης Παραγωγής (Manufacturing Execution Systems – MESs) που είναι διαθέσιμα στο χώρο παραγωγής είναι περιορισμένος. Ως εκ τούτου, η λήψη αποφάσεων πραγματοποιείται χειροκίνητα από ειδικούς, απουσία ευφυών συστημάτων λήψης αποφάσεων. Η αργοπορημένη εισαγωγή των δεδομένων κατάστασης της προόδου εργασιών στα υπάρχοντα συστήματα προγραμματισμού και ελέγχου προκαλεί καθυστερήσεις στις διαδικασίες απόφασης και, κατ' επέκταση, επιβραδύνει τις διαδικασίες αντιμετώπισης μη αναμενόμενων περιστατικών. Επακόλουθο της κατάστασης αυτής είναι η επιμήκυνση των διαστημάτων επανασχεδιασμού, η οποία οδηγεί σε μεγάλες αποκλίσεις ανάμεσα στο αρχικό και το πραγματικό πρόγραμμα. Το Σχήμα 1 απεικονίζει τον προγραμματισμένο και τον πραγματικό ρυθμό παραγωγής κατά την περίοδο εκκίνησης παραγωγής του αεροσκάφους Airbus A320 [1].

Η βελτιωμένη απόδοση στον έλεγχο της παραγωγής, η καλύτερη επίγνωση της κατάστασης της παραγωγής σε πραγματικό χρόνο και η ισχυρή δυνατότητα άμεσου χειρισμού μη αναμενόμενων συμβάντων (π.χ., στην αλυσίδα εφοδιασμού) είναι στοιχεία απαραίτητα για την αύξηση του ρυθμού παραγωγής. Η προτεινόμενη πλατφόρμα εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα των τεχνολογιών του Σημαιολογικού Ιστού, όπως επίσης και των μεθοδολογιών ανάπτυξης ευφυών συστημάτων με

¹<http://www.sap.com>

τη χρήση πρακτόρων λογισμικού ώστε να συμβάλει στην αποδοτική διαχείριση των διαδικασιών παραγωγής και την έγκαιρη αντιμετώπιση πιθανών διαταραχών.

1.1.2 Ευφυή συστήματα διαχείρισης δεδομένων υγείας και δεικτών ευημερίας

Η πρόοδος που έχει σημειωθεί στα πλαίσια της τεχνολογίας των ενδυτών συσκευών έχει εισάγει μία πληθώρα συσκευών ικανών να καταγράφουν και να μεταδίδουν ένα μεγάλο εύρος παραμέτρων υγείας και ευημερίας. Στόχο των τεχνολογικών αυτών καινοτομιών αποτελεί η παροχή ενδελεχούς πληροφορίας σχετικής με τις καθημερινές δραστηριότητες του ιδιοκτήτη τους, με ενδεχόμενα θέματα υγείας, όπως επίσης και με την καθοδήγηση των χρηστών τους στα πλαίσια ενίσχυσης της φυσικής τους κατάστασης. Εντούτοις, η πληροφορία που παράγεται από μία μεμονωμένη συσκευή (ή οποιοδήποτε άλλο αντικείμενο) είναι συχνά μονομερής· οι συσκευές αυτές δε συνδυάζουν τα δεδομένα που εξάγουν με άλλες πηγές πληροφορίας. Για παράδειγμα, συσκευές για την ενίσχυση της φυσικής κατάστασης συχνά συμβουλεύουν τους χρήστες τους να αναλάβουν έντονη φυσική δραστηριότητα χωρίς να λαμβάνουν υπόψη ενδεχόμενες καρδιακές παθήσεις από τις οποίες αυτοί πάσχουν [11].

Με βάση τα παραπάνω, είναι φανερή η ανάγκη για ένα πρότυπο συστήματος, το οποίο όχι μόνο ενσωματώνει δεδομένα που προέρχονται από ετερογενείς και διάσπαρτες πηγές, αλλά επεξεργάζεται τα δεδομένα αυτά συλλογικά με σκοπό την εξαγωγή ασφαλών και έγκυρων συμπερασμάτων. Ταυτόχρονα, η πληθώρα των δεδομένων υγείας και των δεικτών ευημερίας, η οποία διατίθεται στους χρήστες του εν λόγω συστήματος σε πραγματικό χρόνο, θα μπορούσε να επιφέρει τεράστια πλεονεκτήματα μέσω του άμεσου διαμοιρασμού της με τους θεράποντες ιατρούς του ιδιοκτήτη της πληροφορίας αυτής, όπως επίσης και με άλλους επαγγελματίες που εργάζονται με σκοπό τη διατήρηση της φυσικής κατάστασης του τελευταίου. Έτσι, διευκολύνεται η έγκαιρη αντίδραση σε σοβαρές παθήσεις, ενώ καθίσταται δυνατή η παροχή αξιόπιστων συστάσεων υγιούς διαβίωσης εξ αποστάσεως. Ταυτόχρονα, η προτεινόμενη ευφυής πλατφόρμα διαθέτει τις απαιτούμενες υποδομές ώστε να ενισχύσει τις προσπάθειες διαμόρφωσης και διάδοσης του Ηλεκτρονικού Φακέλου Υγείας (Electronic Health Record – EHR) τόσο σε εθνικό, όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο.

Οι προαναφερθείσες απαιτήσεις καλύπτονται από μία ευφυή πλατφόρμα διαχείρισης δεδομένων υγείας και δεικτών ευημερίας, η οποία διαθέτει το δικό της κοινωνικό δίκτυο. Η πλατφόρμα αυτή ενσωματώνει ένα μεγάλο εύρος πηγών δεδομένων, είτε προέρχονται από συσκευές, εφαρμογές είτε συστήματα, ομογενοποιεί τα συλλεχθέντα δεδομένα και τα επεξεργάζεται σημασιολογικά με σκοπό την εξαγωγή δεδομένων ευημερίας.

Συνοψίζοντας, η αρχιτεκτονική της προτεινόμενης πλατφόρμας έχει διαμορ-

φωθεί έτσι, ώστε να καλύπτει τις αδυναμίες των προαναφερθέντων πεδίων παραγωγής. Από τη μία πλευρά, σημαντικό ρόλο διαδραμάτισε η απουσία ενός συστήματος διαχείρισης της παραγωγής, το οποίο θα δύναται να αντιμετωπίσει σε πραγματικό χρόνο τα μη αναμενόμενα συμβάντα που σημειώνονται κατά τη διάρκεια της παραγωγής. Ιδιαίτερα στην περίοδο εκκίνησης της παραγωγής ή, αντίστοιχα, στην παραγωγή μικρής κλίμακας (small-lot), η οποία παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με την πρώτη, ο περιορισμός του αντίκτυπου τέτοιων συμβάντων οδηγεί στην αύξηση του κέρδους μίας επιχείρησης αφού, για παράδειγμα, αποφεύγονται πιθανές χρηματικές ποινές λόγω καθυστερήσεων. Ταυτόχρονα, αναγνωρίζεται η ανάγκη για ένα σύστημα, το οποίο θα συμβάλλει στην ενίσχυση της εκμάθησης, δίνοντας έμφαση στα πρώτα στάδια της παραγωγής.

Από την άλλη πλευρά, ισχυρό κίνητρο αποτέλεσε η αδυναμία εκμετάλλευσης ενός πολύτιμου συνόλου δεδομένων υγείας και ευημερίας λόγω της ετερογένειας, της κατανομημένης φύσης και του μεγάλου όγκου των τελευταίων. Τα σύγχρονα συστήματα, από τα πιο απλά έως και τα πιο εξελιγμένα, συμπεριφέρονται συχνά μονομερώς, παρέχοντας έτσι ακατάλληλες συστάσεις στους χρήστες τους. Οι αδυναμίες αυτές, και στον τομέα παραγωγής αλλά και σε αυτόν της ευημερίας, αποτέλεσαν και τα κίνητρα της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

1.2 Διάρθρωση της διατριβής

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αποτελείται από οκτώ κεφάλαια. Πέραν του παρόντος κεφαλαίου, το οποίο παρέχει εισαγωγικές πληροφορίες περί του θέματος, συμπεριλαμβανομένων των κινήτρων που οδήγησαν σε αυτή, όπως επίσης και δύο χαρακτηριστικές περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται στα πλαίσιά της ως περιπτώσεις μελέτης, τα υπόλοιπα κεφάλαια έχουν ως εξής.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι τεχνολογίες και οι αρχιτεκτονικές σχεδίασης και ανάπτυξης συστημάτων διαχείρισης που έχουν χρησιμοποιηθεί έως σήμερα, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στις αρχιτεκτονικές προσανατολισμένες σε υπηρεσίες και στις τεχνολογίες Σηματολογικού Ιστού. Επιπρόσθετα, πραγματοποιείται ανασκόπηση των σύγχρονων μεθοδολογιών σχεδίασης και ανάπτυξης συστημάτων διαχείρισης παραγωγής. Τέλος, πραγματοποιείται λεπτομερής περιγραφή των συστημάτων διαχείρισης παραγωγής της βιβλιογραφίας, η λειτουργία των οποίων βασίζεται σε οντολογίες, όπως συμβαίνει και με το ευφές σύστημα που παρουσιάζεται στην παρούσα διδακτορική διατριβή.

Στη συνέχεια, το τρίτο κεφάλαιο προδιαγράφει την αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η υποδομή του συστήματος, η οποία βασίζεται στο πρότυπο του Επιχειρησιακού Διαύλου Υπηρεσιών. Προσδιορίζεται η μορφή των υπηρεσιών του συστήματος, όπως

επίσης και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και ο μηχανισμός Δημοσίευσης/Συνδρομής (Publish/Subscribe) του συστήματος. Τέλος, παρουσιάζονται οι οντολογικές υπηρεσίες του συστήματος, οι οποίες διαχειρίζονται τα υποκείμενα δεδομένα και συμβάλλουν ενεργά στην έγκαιρη αντιμετώπιση των μη αναμενόμενων συμβάντων, προσδίδοντας ευφυΐα στο σύστημα.

Το τέταρτο κεφάλαιο περιγράφει την εφαρμογή της προαναφερθείσας αρχιτεκτονικής υψηλού επιπέδου στο συνεργατικό περιβάλλον διαχείρισης παραγωγής. Αρχικά, συνοψίζονται οι χαρακτηριστικές ιδιότητες του συγκεκριμένου περιβάλλοντος εφαρμογής, αυτές της περιόδου εκκίνησης της παραγωγής και της παραγωγής σε μικρή κλίμακα. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η παρουσίαση των υπηρεσιών και των εργαλείων που αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα της ευφυούς πλατφόρμας iESB (intelligent Enterprise Service Bus), ενώ ακολουθεί η περιγραφή των σημασιολογικών μοντέλων που αναπτύχθηκαν στα πλαίσιά της. Το κεφάλαιο αυτό κλείνει με την παράθεση των σημασιολογικών υπηρεσιών της ευφυούς πλατφόρμας διαχείρισης παραγωγής και των σημασιολογικών δομών δεδομένων που διατηρούνται από τις τελευταίες.

Το επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζει τα πραγματικά περιβάλλοντα παραγωγής, στα οποία εφαρμόστηκε η προτεινόμενη ευφυής πλατφόρμα. Αφενός, πραγματοποιείται μία ενδελεχής περιγραφή της περίπτωσης διαχείρισης παραγωγής αεροσκαφών, η οποία συνδέεται με το χαρακτηριστικό της περιόδου εκκίνησης της παραγωγής. Αφετέρου, παρουσιάζεται η εφαρμογή της αρχιτεκτονικής του iESB στην παραγωγή εξοπλισμού καμπίνας αεροσκάφους, η οποία αντιπροσωπεύει την παραγωγή μικρής κλίμακας. Στη συνέχεια του κεφαλαίου, παρουσιάζονται παραδείγματα χρήσης των οντολογικών υπηρεσιών και του τρόπου αξιοποίησής τους με βάση τα δύο σενάρια χρήσης. Με όμοιο τρόπο, πραγματοποιείται μία εκτενής αναφορά σε παραδείγματα χρήσης των ανεπτυγμένων σημασιολογικών μοντέλων. Συγκεκριμένα, επιδεικνύεται ο τρόπος με τον οποίο οι έννοιες των οντολογικών παραγωγής λαμβάνουν υπόσταση ανάλογα με την περίπτωση χρήσης υπό εφαρμογή. Τέλος, καθένα από τα παραδείγματα συνοδεύεται από τις αντίστοιχες μετρήσεις σε ό,τι αφορά τους χρόνους εκτέλεσης. Η αξιολόγηση των χρόνων εκτέλεσης πραγματοποιείται μέσω σύγκρισης με μία εφαρμογή αντίστοιχης λειτουργικότητας, η οποία χρησιμοποιεί μία σχεσιακή βάση δεδομένων σε αντίθεση με το προτεινόμενο σύστημα, το οποίο χρησιμοποιεί μία σημασιολογική βάση δεδομένων.

Στο έκτο κεφάλαιο, η χρήση της ευφυούς πλατφόρμας επεκτείνεται έτσι, ώστε να υποστηρίζει οποιοδήποτε συνεργατικό περιβάλλον δεδομένου ενός καλώς ορισμένου στόχου. Στην αρχή του κεφαλαίου, αναλύονται τα κίνητρα που οδήγησαν στην παραπάνω υπόθεση, συμπεριλαμβανομένης της ανάγκης ενσωμάτωσης του αχανούς συνόλου των δεδομένων ευημερίας που είναι διαθέσιμο μέσω ενδυτών συσκευών, εφαρμογών και συστημάτων. Έπειτα, πραγματοποιείται μία εισαγωγική αναφορά στο περιβάλλον διαχείρισης δεδομένων υγείας και δεικτών ευημερίας, πα-

ρουσιάζοντας τις σχετικές υπάρχουσες τεχνολογίες - από τις πιο απλές εφαρμογές καθορισμού στόχων ενίσχυσης της φυσικής κατάστασης μέχρι εξελιγμένα συστήματα διαχείρισης ετερογενών δεδομένων υγείας. Ταυτόχρονα, συνοψίζονται τα σύγχρονα οντολογικά μοντέλα αναπαράστασης δεδομένων υγείας και δεικτών ευημερίας, όπως επίσης δεδομένων που συνδέονται άμεσα με τη θέσπιση στόχων σχετικών με τα τελευταία. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται παρουσιάζοντας την έννοια του Διαδικτύου των Πάντων και τους τρόπους με τους οποίους επηρεάζει τον τομέα της Υγείας.

Στο έβδομο κεφάλαιο αναλύεται η εφαρμογή της αρχιτεκτονικής της ευφυούς πλατφόρμας σε συνεργατικά περιβάλλοντα διαχείρισης ιατρικών δεδομένων και δεικτών ευημερίας. Ειδικότερα, παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του συστήματος, όπως διαμορφώθηκε στο εν λόγω περιβάλλον· παρατίθεται μία αναλυτική περιγραφή των υπηρεσιών και των εργαλείων του συστήματος στα πλαίσια της επίτευξης του στόχου ενίσχυσης της φυσικής κατάστασης ενός χρήστη. Στη συνέχεια του κεφαλαίου, παρουσιάζονται τα υποκείμενα σημασιολογικά μοντέλα, τα οποία στοχεύουν στην αναπαράσταση γνώσης σχετικής με δεδομένα υγείας και τους δείκτες ευημερίας που συλλέγονται από τις διόδους της πλατφόρμας, όπως επίσης και με τους στόχους που θέτει ένας χρήστης και με τη διατήρηση της ασφάλειας του συστήματος. Ακολουθεί η προδιαγραφή των ευφυσών υπηρεσιών του συστήματος, οι οποίες αξιοποιούν τα προαναφερθέντα σημασιολογικά μοντέλα με σκοπό την επεξεργασία και τον εμπλουτισμό των δεδομένων που εισέρχονται του συστήματος στα πλαίσια εξαγωγής αξιόπιστων συμπερασμάτων και χρήσιμων συστάσεων. Τέλος, παρουσιάζεται λεπτομερώς η εφαρμογή του Διαύλου Υπηρεσιών Ευημερίας (Wellbeing Service Bus – WSB) στην ενίσχυση της φυσικής κατάστασης και πραγματοποιείται μία αντιπαράθεση των υπηρεσιών που συγκροτούν το προτεινόμενο ευφύες σύστημα στο συνεργατικό περιβάλλον παραγωγής και στο συνεργατικό περιβάλλον ευημερίας.

Τέλος, το όγδοο κεφάλαιο αποτελεί τον επίλογο της διατριβής. Στο κεφάλαιο αυτό, διατυπώνονται τα βασικά συμπεράσματα που εξήχθησαν στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής, ενώ στη συνέχεια συνοψίζονται τα κύρια μελλοντικά σχέδια προς τη συνέχιση της έρευνας, της αξιοποίησης και του εμπλουτισμού της λύσης που παρουσιάστηκε στη διατριβή.

Κεφάλαιο 2

Τεχνολογίες & Αρχιτεκτονικές Σχεδίασης και Ανάπτυξης Συστημάτων Διαχείρισης

Το κεφάλαιο αυτό αναλύει τις μεθοδολογίες που υιοθετούνται από τα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης στα πλαίσια σχεδίασης της αρχιτεκτονικής τους, όπως επίσης και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται με σκοπό την προσφορά ενός ευρέος συνόλου λειτουργιών.

2.1 Αρχιτεκτονικές προσανατολισμένες σε υπηρεσίες

Στη σύγχρονη εποχή, η οποία χαρακτηρίζεται από οικονομική αβεβαιότητα, η βιωσιμότητα μίας επιχείρησης βασίζεται στην προσαρμοστικότητα, την υπευθυνότητα και την αξιοπιστία της. Οι επιχειρήσεις, ανεξάρτητα από το μέγεθός τους και σχεδόν σε κάθε κλάδο παραγωγής, εξαρτώνται από την τεχνολογία στα πλαίσια ενίσχυσης της ευελιξίας τους, τήρησης των κυβερνητικών και βιομηχανικών κανόνων και οδηγιών, πραγματοποίησης μελλοντικών σχεδίων και λήψης σωστών αποφάσεων στη σωστή χρονική στιγμή. Το πρότυπο της *Αρχιτεκτονικής Προσανατολισμένης σε Υπηρεσίες* (Service Oriented Architecture – SOA) προσφέρει μία υποδομή, η οποία μειώνει το κενό ανάμεσα στην επιχείρηση και την Τεχνολογία της Πληροφορίας (Information Technology – IT) καθιερώνοντας μία κοινή γλώσσα επικοινωνίας και δημιουργώντας το κατάλληλο περιβάλλον προσαρμογής.

Η Αρχιτεκτονική Προσανατολισμένη σε Υπηρεσίες αποτελεί ένα επιχειρησιακό πρότυπο ανάπτυξης πληροφοριακών συστημάτων, το οποίο επιτρέπει στις επιχειρήσεις να επαναχρησιμοποιούν υπάρχουσες υπηρεσίες ή εργαλεία, να τα διασυνδέουν με νέες υπηρεσίες, εργαλεία και συστήματα και να αντιμετωπίζουν με ευκο-

λία τις ανάγκες για αλλαγή που προκύπτουν στα πλαίσια μίας επιχείρησης [12]. Η αρχιτεκτονική αυτή προσέγγιση έχει ως στόχο να υποβοηθήσει την ανάπτυξη ταχύτατων, διαλειτουργικών, εξελίξιμων, κατανεμημένων εφαρμογών χαμηλού κόστους [13]. Στα πλαίσια ανάπτυξης τέτοιου είδους εφαρμογών, η προσέγγιση SOA εκμεταλλεύεται πόρους λογισμικού, οι οποίοι έχουν τη μορφή υπηρεσιών. Οι υπηρεσίες αποτελούν αυτόνομες οντότητες ανεξάρτητες από την πλατφόρμα στην οποία εγκαθίστανται. Οι υπηρεσίες αυτές είναι δυνατό να περιγραφούν, να δημοσιευθούν, να ανακαλυφθούν και να διασυνδεθούν μεταξύ τους μέσω χαλαρών συσχετίσεων με πολλούς καινοτόμους τρόπους. Ο ρόλος τους μπορεί να είναι απλός και να σχετίζεται με λειτουργίες ικανοποίησης στοιχειωδών αιτημάτων ή σύνθετος και να περιλαμβάνει λειτουργίες εκτέλεσης εξελιγμένων επιχειρησιακών υπηρεσιών.

2.1.1 Οι υπηρεσίες

Οι *Υπηρεσίες Ιστού* (Web Services) αποτελούν την πιο δημοφιλή τεχνολογία SOA [14]. Υπάρχει ένα μεγάλο εύρος ορισμών για τις υπηρεσίες Ιστού· ορισμένοι είναι απλοί και εξαιρετικά γενικοί, ενώ κάποιοι άλλοι είναι συγκεκριμένοι και δεσμευτικοί. Ακολουθώντας τον πιο απλό ορισμό του όρου αυτού, μία υπηρεσία Ιστού αποτελεί μία εφαρμογή που είναι προσβάσιμη από άλλες εφαρμογές μέσω του Παγκόσμιου Ιστού [15]. Από την άλλη πλευρά, ο οργανισμός UDDI (Universal Description, Discovery and Integration Consortium) παρέχει έναν πιο ακριβή ορισμό, ο οποίος χαρακτηρίζει τις υπηρεσίες Ιστού ως «αυτόνομες, βαθμωτές, επιχειρησιακές εφαρμογές, οι οποίες διαθέτουν ανοιχτές διεπαφές βασισμένες στον Παγκόσμιο Ιστό και σε πρότυπα» [16]. Παρά το γεγονός ότι ο ορισμός του οργανισμού UDDI είναι περιεκτικός, η περιγραφή του όρου δεν είναι αρκετά ακριβής, καθώς δε διευκρινίζει σαφώς την έννοια της βαθμωτής, αυτόνομης, επιχειρησιακής εφαρμογής [17]. Τέλος, ο οργανισμός W3C (World Wide Web Consortium)² ορίζει μία Υπηρεσία Διαδικτύου ως «μία εφαρμογή λογισμικού, η οποία αναγνωρίζεται μοναδικά από ένα *Ενιαίο Αναγνωριστικό Πόρων* (Uniform Resource Identifier – URI) και διαθέτει διεπαφές και δεσμούς ικανούς να ορισθούν, περιγραφούν και ανακαλυφθούν με τη μορφή αντικειμένων XML (Extensible Markup Language). Μία Υπηρεσία Διαδικτύου υποστηρίζει την άμεση αλληλεπίδραση με άλλους πράκτορες λογισμικού κάνοντας χρήση μηνυμάτων, τα οποία βασίζονται στη γλώσσα XML και ανταλλάσσονται μέσω πρωτοκόλλων βασισμένων στον Παγκόσμιο Ιστό» [18]. Ο τελευταίος ορισμός είναι πιο ακριβής από τους προηγούμενους, καθώς υποδεικνύει με σαφήνεια τον τρόπο με τον οποίο μία Υπηρεσία Διαδικτύου πρέπει να λειτουργεί.

Οι υπηρεσίες Ιστού χρησιμοποιούν το Διαδίκτυο ως μέσο επικοινωνίας και αξιοποιούν ανοιχτά πρότυπα βασισμένα στον Παγκόσμιο Ιστό, συμπεριλαμβανομένου του *Πρωτοκόλλου Πρόσβασης Απλού Αντικειμένου* (Simple Object Access Protocol

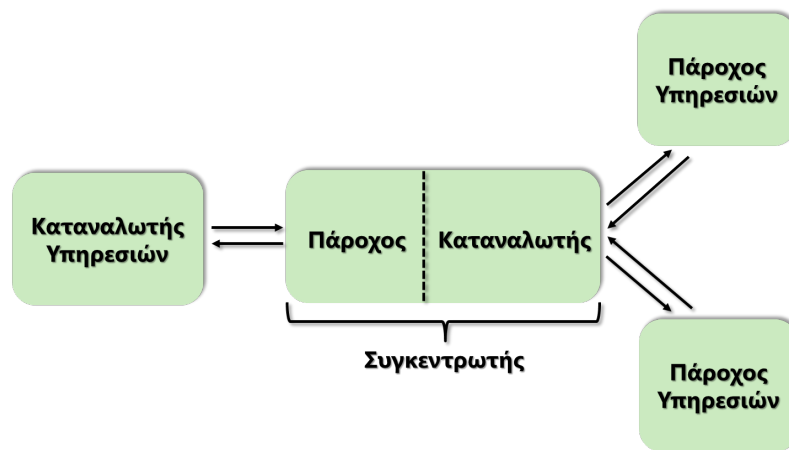
²<https://www.w3.org/>

– SOAP) [19] για τη μετάδοση δεδομένων, της Γλώσσας Περιγραφής Υπηρεσιών Διαδικτύου (Web Service Description Language – WSDL) [20] για τον ορισμό των υπηρεσιών και της Γλώσσας Εκτέλεσης Επιχειρησιακών Διαδικασιών Υπηρεσιών Διαδικτύου (Web Services Business Process Execution Language – WS-BPEL) [21] για την ενορχήστρωση των υπηρεσιών [22].

Ο ρόλος του πρωτοκόλλου SOAP είναι ο καθορισμός μίας προτυποποιημένης μεθοδολογίας μορφοποίησης και συγκρότησης της πληροφορίας προς ανταλλαγή. Το πρωτόκολλο αυτό δεν ορίζει τις ιδιότητες μίας ανταλλαγής (π.χ., αν είναι κρυπτογραφημένη). Αντιθέτως, περιγράφει ένα γενικό πρότυπο μηνύματος [23]. Η γλώσσα WSDL περιγράφει μία υπηρεσία Ιστού σε δύο θεμελιώδη στάδια: το *αφηρημένο* (abstract) και το *συγκεκριμένο* (concrete). Στο αφηρημένο στάδιο, η WSDL περιγράφει μία υπηρεσία Ιστού από την άποψη των μηνυμάτων που είναι δυνατό να στέλνει και να λαμβάνει. Τα μηνύματα αυτά περιγράφονται χρησιμοποιώντας συνήθως τη γλώσσα XML. Μία *λειτουργία* (operation) συσχετίζει ένα πρότυπο ανταλλαγής μηνυμάτων με ένα ή περισσότερα μηνύματα. Ένα *πρότυπο ανταλλαγής μηνυμάτων* (message exchange pattern) προσδιορίζει την ακολουθία και την πληθικότητα των μηνυμάτων που αποστέλλονται ή/και λαμβάνονται, όπως επίσης και το λογικό παραλήπτη και αποστολέα των μηνυμάτων αυτών. Μία *διεπαφή* (interface) ομαδοποιεί λειτουργίες χωρίς να επιβάλλει δεσμεύσεις σε πρωτόκολλα. Στο συγκεκριμένο επίπεδο, μία *σύνδεση* (binding) περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο μία υπηρεσία Ιστού συνδέεται με ένα πρωτόκολλο και συγκεκριμένα με το πρωτόκολλο SOAP. Ένα *καταληκτικό σημείο* (endpoint) συσχετίζει μία διεύθυνση δικτύου με μία σύνδεση, ενώ μία *υπηρεσία* (service) ομαδοποιεί έναν αριθμό από καταληκτικά σημεία, τα οποία υλοποιούν μία κοινή διεπαφή [20].

Η γλώσσα WS-BPEL αποτελεί τη νεότερη έκδοση της γλώσσας BPEL4WS (Business Process Execution Language for Web Services). Η γλώσσα αυτή προσδιορίζει τη συμπεριφορά των επιχειρησιακών διαδικασιών με βάση τις υπηρεσίες Ιστού. Οι δύο βασικές έννοιες της γλώσσας WS-BPEL είναι οι *αφηρημένες* (abstract) και οι *εκτελέσιμες* (executable) διαδικασίες. Μία αφηρημένη διαδικασία WS-BPEL είναι μία μερικώς ορισμένη διαδικασία, η οποία δεν αναμένεται να εκτελεστεί. Μία τέτοια διαδικασία πρέπει να ορίζεται ρητά ως «αφηρημένη». Αντιθέτως, οι εκτελέσιμες διαδικασίες είναι επαρκώς ορισμένες και, ως εκ τούτου, μπορούν να εκτελεστούν. Η WS-BPEL ορίζει ένα μοντέλο και μία γραμματική περιγραφής της συμπεριφοράς μίας επιχειρησιακής διαδικασίας με βάση αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στις διαδικασίες και στις σχετικές με αυτές οντότητες. Η αλληλεπίδραση με κάθε τέτοια οντότητα λαμβάνει χώρα μέσω διεπαφών υπηρεσιών Ιστού. Έτσι, ορίζεται ο τρόπος με τον οποίο πολλαπλές αλληλεπιδράσεις συντονίζονται με σκοπό την επίτευξη ενός επιχειρησιακού στόχου και, ταυτόχρονα, περιγράφεται η κατάσταση και η λογική που απαιτείται για το συντονισμό αυτό [21].

Η προσέγγιση της Αρχιτεκτονικής Προσανατολισμένης σε Υπηρεσίες βασίζε-

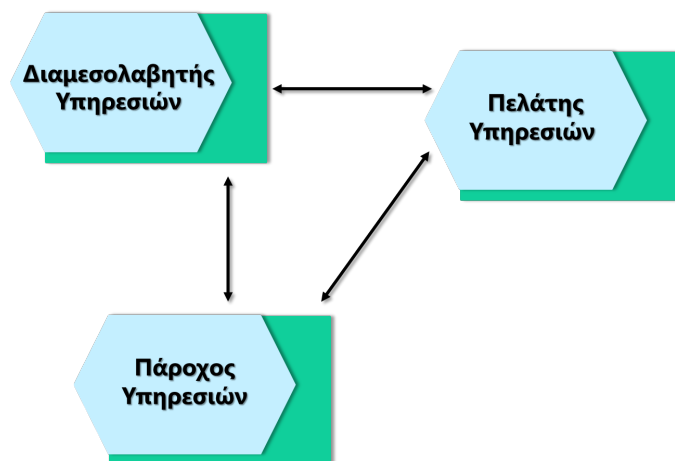


Σχήμα 2: Ο ρόλος του Συγκεντρωτή Υπηρεσιών

ται σε ένα αρχιτεκτονικό πρότυπο, το οποίο ορίζει ένα μοντέλο διάδρασης ανάμεσα σε δύο βασικές οντότητες: τον *πάροχο υπηρεσιών* (service provider), ο οποίος δημοσιεύει την περιγραφή μίας υπηρεσίας και παρέχει την υλοποίησή της και τον *καταναλωτή υπηρεσιών* (service consumer), ο οποίος με τη σειρά του μπορεί είτε να κάνει άμεση χρήση του Ενιαίου Αναγνωριστικού Πόρων της περιγραφής μίας υπηρεσίας ή να ανακαλύψει την ίδια την υπηρεσία σε ένα *Μητρώο Υπηρεσιών* (Service Registry) ώστε να την καλέσει [24].

Η ανάγκη άμεσης αλληλεπίδρασης ενός καταναλωτή υπηρεσιών με έναν πάροχο υπηρεσιών επιβάλλει στους καταναλωτές υπηρεσιών την ανάληψη πολύπλοκων εργασιών, όπως είναι η αναζήτηση και η ανακάλυψη υπηρεσιών, η διαπραγμάτευση με αυτές και η δέσμευσή τους ανεξάρτητα από το αν διατίθενται από πολλαπλούς παρόχους. Εναλλακτικά, ένας οργανισμός μπορεί να παρέχει τη λειτουργικότητα αυτή συνδυαστικά στον καταναλωτή υπηρεσιών. Ο ρόλος του οργανισμού αυτού συνδυάζει το ρόλο του καταναλωτή και του παρόχου· δρα ως ένας *συγκεντρωτής υπηρεσιών* (service aggregator). Έτσι, ένας συγκεντρωτής υπηρεσιών δημιουργεί αφενός σύνθετες υπηρεσίες υψηλού επιπέδου, τις οποίες προσφέρει τελικά στον καταναλωτή υπηρεσιών, ενώ ταυτόχρονα δρα σαν καταναλωτής υπηρεσιών καθώς ενδέχεται να χρειάζεται να ζητήσει και να δεσμεύσει υπηρεσίες άλλων παρόχων. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.

Το ζήτημα της επιλογής ενός παρόχου υπηρεσιών (π.χ., επιλογή παρόχου που μπορεί να ανακαλυφθεί από ένα μητρώο υπηρεσιών) επιλύεται με την εισαγωγή ενός πρόσθετου ρόλου, του *διαμεσολαβητή υπηρεσιών* (service broker). Οι διαμεσολαβητές υπηρεσιών αποτελούν έμπιστες οντότητες, οι οποίες επιβάλλουν στους παρόχους υπηρεσιών να συμμορφώνονται με τους ισχύοντες νόμους και κανόνες περί ιδιωτικότητας. Ένας διαμεσολαβητής διατηρεί ένα ευρετήριο με τους διαθέσιμους παρόχους υπηρεσιών, το οποίο μπορεί να εμπλουτισθεί με περαιτέρω πληροφορίες σχετικές με τους παρόχους αυτούς (π.χ., για την αξιοπιστία τους και την ποιότητα της υπη-



Σχήμα 3: Ο ρόλος του Διαμεσολαβητή Υπηρεσιών

ρεσίας). Το Σχήμα 3 απεικονίζει μία αρχιτεκτονική SOA, η οποία περιλαμβάνει παρόχους, καταναλωτές και διαμεσολαβητές υπηρεσιών. Στο σχήμα αυτό, ένα μητρώο υπηρεσιών αποτελεί μία εξειδικευμένη μορφή ενός διαμεσολαβητή. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ένα μητρώο UDDI διαδραματίζει το ρόλο ενός διαμεσολαβητή, στον οποίο δημοσιεύονται οι ορισμοί των υπηρεσιών από τους παρόχους αυτών κάνοντας χρήση της γλώσσας WSDL και στον οποίο ταυτόχρονα πραγματοποιούνται αναζητήσεις από τους καταναλωτές υπηρεσιών [22].

2.1.2 Επιχειρησιακός Δίαυλος Υπηρεσιών

Για να εφαρμοστεί το πρότυπο της SOA στην πράξη, απαιτείται ένα θεμέλιο, το οποίο υποστηρίζει την επικοινωνία άκρως κατανεμημένων οντοτήτων και την ενσωμάτωση ανομοιογενών υπηρεσιών. Το θεμέλιο αυτό παρέχεται από τον Επιχειρησιακό Δίαυλο Υπηρεσιών, μία πλατφόρμα ενσωμάτωσης, η οποία χρησιμοποιεί πρότυπα υπηρεσιών Ιστού με σκοπό να υποστηρίξει ένα ευρύ σύνολο μεθόδων επικοινωνίας και πολλαπλά πρωτόκολλα μεταφοράς. Ο ESB αποτελεί έναν ανοιχτό δίαυλο μηνυμάτων βασισμένο σε πρότυπα, ο οποίος έχει σχεδιαστεί με σκοπό να καθιστά δυνατή την ανάπτυξη, εγκατάσταση και διαχείριση συστημάτων βασισμένων στη SOA. Στόχος του είναι η διασφάλιση της διαλειτουργικότητας εφαρμογών μεγάλης κλίμακας και άλλων συνιστωσών μέσω προσαρμογών και διεπαφών βασισμένων σε πρότυπα [22].

Ο Επιχειρησιακός Δίαυλος Υπηρεσιών ορίζει ένα σύνολο δυνατοτήτων, οι οποίες αναπτύσσονται μέσω τεχνολογιών μεσισμικού και εξομαλύνουν πιθανά θέματα ανομοιομορφίας μεταξύ εφαρμογών που εκτελούνται σε ετερογενείς πλατφόρμες χρησιμοποιώντας ποικίλα σχήματα δεδομένων. Ο ESB υποστηρίζει την επικοινωνία βάσει υπηρεσιών, μηνυμάτων και συμβάντων [13].

2.2 Τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού

Στις μέρες μας, όπου η εξέλιξη του Παγκόσμιου Ιστού είναι πλέον δεδομένη και όπου οι τεχνολογικές εξελίξεις γεννούν όλο και περισσότερες πηγές δεδομένων, η ανάγκη μίας προηγμένης προσέγγισης διαχείρισης της πληροφορίας είναι πρόδηλη. Ταυτόχρονα, η ενσωμάτωση του υπερμεγέθους συνόλου των δεδομένων κρίνεται αναγκαία, καθώς με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η σφαιρική κατανόηση της κατανεμημένης πληροφορίας και οι σχέσεις που επικρατούν μεταξύ των ποικίλων τμημάτων της [25]. Μία λύση, η οποία διασφαλίζει την αποδοτική διαχείριση και ενσωμάτωση ετερογενών δεδομένων και, κατ' επέκταση, την αποτελεσματική διασύνδεση εφαρμογών και συστημάτων, είναι η σημασιολογική περιγραφή των υποκείμενων δεδομένων και διαδικασιών. Αυτό συνεπάγεται την περιγραφή των προηγούμενων έτσι, ώστε το νόημά τους να είναι κατανοητό από μηχανές.

Αυτή η θεμελιώδης ιδέα του σημασιολογικού εμπλουτισμού των δεδομένων οδήγησε στην εμφάνιση του Σημασιολογικού Ιστού (Semantic Web) [26]. Η ιδέα αυτή εισήχθη κατά τις αρχές της τρίτης χιλιετίας από το δημιουργό του Παγκόσμιου Ιστού (World Wide Web), Tim Berners-Lee. Το όραμα του Berners-Lee προέβλεπε μία πιο ευέλικτη, ενσωματωμένη και αυτοπροσαρμοζόμενη έκδοση του Ιστού. Έκτοτε, ο οργανισμός W3C έχει αναπτύξει ένα σύνολο προτύπων και εργαλείων με σκοπό να υποστηρίξει το όραμα αυτό. Τα δημοσιευμένα πρότυπα περιλαμβάνουν το *Πλαίσιο Περιγραφής Πόρων* (Resource Description Framework – RDF) [27], το *Σχήμα Πλαισίου Περιγραφής Πόρων* (Resource Description Framework Schema – RDFS) [28], τη *Γλώσσα Οντολογιών Ιστού* (Web Ontology Language - OWL) [29] και το *Πρωτόκολλο SPARQL* (SPARQL Protocol and Query Language for RDF) [30].

2.2.1 Πλαίσιο Περιγραφής Πόρων

Το RDF [27] αποτελεί μία βασική γλώσσα περιγραφής οντολογιών με τη μορφή κατευθυνόμενου γράφου. Τα θεμελιώδη δομικά στοιχεία του RDF αφορούν σε πόρους και σε σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ πόρων. Ένας πόρος αντικατοπτρίζει φυσικά αντικείμενα ή αφηρημένες έννοιες ενός πεδίου γνώσης. Μία *τριπλέτα* (triple) αποτελεί το βασικό δομικό στοιχείο της γλώσσας RDF. Κάθε τριπλέτα αποτελείται από τρεις πόρους, ένα υποκείμενο (subject), ένα κατηγορημα (predicate) και ένα αντικείμενο (object). Το κατηγορημα εκφράζει μία ενέργεια του υποκειμένου πάνω στο αντικείμενο.

Ένα χαρακτηριστικό στοιχείο του RDF είναι η χρήση του *Παγκοσμιοποιημένου Αναγνωριστικού Πόρων* (Internationalized Resource Identifier – IRI), το οποίο αποτελεί γενίκευση του *Ενιαίου Εντοπιστή Πόρων* (Uniform Resource Locator – URL), για την πραγματοποίηση αναφορών σε πόρους [31]. Ενώ τα URI περιορίζονται στη διατύ-

πωση διευθύνσεων Ιστού κάνοντας χρήση χαρακτήρων ενός υποσυνόλου του συνόλου χαρακτήρων ASCII, τα IRI επιτρέπουν επίσης τη χρήση χαρακτήρων που ανήκουν στο Παγκόσμιο Σύνολο Χαρακτήρων (Universal Character Set – Unicode/ISO 10646).

Οι τριπλέτες σχηματίζουν έναν κατευθυνόμενο γράφο, οι κορυφές και οι ακμές του οποίου αναγνωρίζονται από URI. Ουσιαστικά, μία τριπλέτα αναπαριστά μία ακμή, η οποία συνδέει δύο κορυφές· περιγράφει μία σχέση ανάμεσα στο υποκείμενο και το αντικείμενο. Για λόγους διευκόλυνσης του διαμοιρασμού και της ανταλλαγής RDF γράφων στο Διαδίκτυο, έχει αναπτυχθεί ένας αριθμός από σειριοποιήσεις. Οι πιο διαδεδομένες από αυτές είναι η RDF/XML [32], η N3 (Notation3) [33] και η Turtle (Terse RDF Triple Language)[34].

Το RDF αποτελεί μία καλή βάση έκφρασης σημασιολογικών δεδομένων. Παρόλα αυτά, δεν υποστηρίζει τη δημιουργία ενός λεξιλογίου περιγραφής ενός πεδίου. Η λειτουργία αυτή προσφέρεται από το σχήμα RDF-S και τη γλώσσα OWL.

2.2.2 Σχήμα Πλαισίου Περιγραφής Πόρων

Το RDF-S [28] αποτελεί μία σημασιολογική επέκταση του RDF. Το RDF-S παρέχει τους απαραίτητους μηχανισμούς ώστε να αποδίδεται στα κείμενα RDF το κατάλληλο νόημα. Έτσι, ορίζεται ένα οντολογικό λεξιλόγιο με τη μορφή κλάσεων, ιδιοτήτων κλάσεων και συσχετίσεων [25].

Το RDF-S προτυποποιήθηκε από τον οργανισμό W3C το Φεβρουάριο του 2004. Έκτοτε, έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως από την ερευνητική κοινότητα ως μία μινιμαλιστική γλώσσα αναπαράστασης οντολογιών.

2.2.3 Γλώσσα Οντολογιών Ιστού

Η OWL αποτελεί μία γλώσσα αναπαράστασης γνώσης για το Σημασιολογικό Ιστό. Λόγω των περιορισμών στη λειτουργικότητα του RDF-S, ο οργανισμός W3C εισήγαγε την πρώτη έκδοση του προτύπου της OWL το 2004 [29], ενώ το 2012 προτυποποιήθηκε η δεύτερη έκδοση της OWL (OWL 2) [35], η οποία είναι και η τρέχουσα. Η πρώτη έκδοση της OWL διατίθεται σε τρεις εκδόσεις, τις OWL Lite, OWL DL (Description Logic) και OWL Full, οι οποίες προσφέρουν διαφορετικές εκφραστικές δυνατότητες [36].

Η κύρια ιδέα της γλώσσας OWL δεν περιορίζεται απλά στην αναπαράσταση εννοιών και των συνδέσεών τους μέσω οντολογιών· στοχεύει στην ανάπτυξη οντολογιών, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν στα πλαίσια διαδικασιών λήψης αποφάσεων. Ταυτόχρονα, επωφελείται των δυνατοτήτων του RDF ώστε να επιτρέπει στις οντολογίες να κατανέμονται σε έναν αριθμό από συστήματα. Αυτό επιτυγχάνεται

λόγω της ικανότητας οντολογιών που εκφράζονται μέσω της OWL να περιέχουν αναφορές σε όρους άλλων οντολογιών OWL [36].

Η Γλώσσα Οντολογιών Ιστού προσφέρει πιο πλούσιες τεχνικές μοντελοποίησης εννοιών και των συσχετίσεών τους σε σχέση με το RDF-S. Για την ακρίβεια, η OWL χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη οντολογιών, δηλαδή για τον ορισμό εννοιών και των συσχετίσεων που υπάρχουν μεταξύ τους. Βασίζεται στο RDF και το RDF-S, ενώ έχει εμπλουτιστεί ώστε να δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας ακόμη πιο εκφραστικών λεξιλογίων. Χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο όρο, είναι δυνατή η δημιουργία κλάσεων, ιδιοτήτων και στιγμιότυπων κλάσεων. Οι προαναφερθείσες ιδιότητες χωρίζονται σε *ιδιότητες αντικειμένων* (object property), οι οποίες συνδέουν στιγμιότυπα κλάσεων, και σε *ιδιότητες δεδομένων* (data property), οι οποίες αναθέτουν κάποια τιμή σε ένα στιγμιότυπο [37]. Ενώ το RDF-S χρησιμοποιείται για τον ορισμό κλάσεων, υποκλάσεων, υποϊδιοτήτων, πεδίου ορισμού και εύρους τιμών [38], το εύρος των δυνατοτήτων της γλώσσας OWL επεκτείνεται περαιτέρω, προσφέροντας λειτουργίες έκφρασης τομής και ένωσης κλάσεων και περιορισμών τιμών ή πληθικότητας.

Εκτός από την πλήρη έκδοση της OWL 2, ο οργανισμός W3C έχει δημοσιεύσει τρεις πιο περιορισμένες εκδόσεις της γλώσσας [39], κάθε μία από τις οποίες θυσιάζει κάποιες λειτουργίες του αρχικού συνόλου λειτουργιών ώστε να προσφέρει αυξημένα επίπεδα αποδοτικότητας σε κάποιες άλλες λειτουργίες. Συγκεκριμένα, η OWL 2 EL προσφέρεται για εφαρμογές που χρησιμοποιούν οντολογίες με μεγάλο αριθμό κλάσεων ή/και ιδιοτήτων. Ταυτόχρονα, με την OWL 2 EL η εφαρμογή κανόνων επαγωγικού συλλογισμού τόσο στα δεδομένα όσο και στο σχήμα της οντολογίας πραγματοποιείται σε πολυωνυμικό χρόνο. Η ανάγκη για μία έκδοση της OWL με τα χαρακτηριστικά της OWL 2 EL προέκυψε λόγω του μεγάλου μεγέθους των οντολογιών του τομέα των Ανθρωπιστικών Επιστημών. Για την ακρίβεια, η οντολογία SNOMED [40] και η Οντολογία των Γονιδίων (Gene Ontology) [41] είναι σχεδιασμένες αξιοποιώντας την OWL 2 EL [42]. Η έκδοση OWL 2 RL στοχεύει στην αύξηση της αποδοτικότητας από την πλευρά του επαγωγικού συλλογισμού, χωρίς παρ' όλα αυτά να θυσιάζει σε μεγάλο βαθμό την εκφραστική της δύναμη. Η OWL 2 RL είναι ιδανική για περιπτώσεις χρήσης στις οποίες πρέπει να αναπτυχθεί επιχειρησιακή λογική πάνω σε σημασιολογικά δεδομένα. Ενδείκνυται για συστήματα που φέρουν μεγάλα σύνολα δεδομένων σε μορφή RDF και εγγυάται αποδόσεις πολυωνυμικού χρόνου [43]. Τέλος, η OWL 2 QL έχει σχεδιαστεί ώστε να χρησιμοποιείται σε συστήματα, τα οποία απαιτούν την ύπαρξη διαλειτουργικότητας μεταξύ ήδη χρησιμοποιούμενων κλασικών βάσεων δεδομένων και της γλώσσας OWL. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η OWL 2 QL χρησιμοποιείται στα πλαίσια της εφαρμογής ερωτημάτων σε υπερμεγέθη σύνολα δεδομένων. Η OWL 2 QL, όπως και οι δύο προηγούμενες εκδόσεις της OWL 2, εγγυάται πολυωνυμική απόδοση σε βάρος της εκφραστικής της δύναμης [43].

2.2.4 Σημαιολογικές δομές δεδομένων

Καθώς το RDF και το RDFS κέρδιζαν έδαφος ως γλώσσες μοντελοποίησης δεδομένων, εμφανίστηκε η ανάγκη για μία δομή δεδομένων σχεδιασμένη ειδικά για να διατηρεί σημαιολογικά δεδομένα και να παρέχει αποδοτικές μεθόδους εφαρμογής ερωτημάτων σε αυτά. Την ανάγκη αυτή κάλυψαν τα *Αποθετήρια Τριπλετών* (Triple Stores), μία δομή δεδομένων, η οποία είναι εμπνευσμένη από τη δομή του RDF. Τα αποθετήρια τριπλετών αποθηκεύουν γεγονότα εκφρασμένα ως τριπλέτες ή δηλώσεις (statements), οι οποίες έχουν τη μορφή «υποκείμενο – κατηγορημα – αντικείμενο». Όπως και στο RDF, κάθε δομικό στοιχείο μίας τριπλέτας αναγνωρίζεται μοναδικά από ένα IRI, γεγονός το οποίο διευκολύνει την ενσωμάτωση καταναμημένων δεδομένων αποφεύγοντας τον κίνδυνο συγκρούσεων. Τα αποθετήρια τριπλετών χαρακτηρίζονται από τη δυνατότητά τους να φιλοξενούν αδόμητα δεδομένα αλλά και ημιδομημένα και δομημένα δεδομένα, ταυτόχρονα. Τα πιο αποδοτικά από αυτά μπορούν να αποθηκεύουν δισεκατομμύρια γεγονότων απαιτώντας έναν μόνο εξυπηρετητή ενώ το κόστος τους είναι συνήθως μικρότερο σε σύγκριση με μία σχεσιακή βάση δεδομένων της αντίστοιχης τάξης μεγέθους. Το χαμηλότερο κόστος, η εξοικονόμηση χρόνου και τα υψηλότερα επίπεδα ελαστικότητας και ακρίβειας αποτελούν ορισμένους από τους λόγους για τους οποίους τα αποθετήρια τριπλετών έχουν διεισδύσει στα συστήματα πολλών επιχειρήσεων.

Πρόσβαση στα οντολογικά δεδομένων των αποθετηρίων τριπλετών δίνεται μέσω της SPARQL [30], της γλώσσας ερωτημάτων για οντολογικά δεδομένα. Η γλώσσα SPARQL φέρει αρκετές ομοιότητες με την Turtle και την SQL (Structured Query Language), τη γλώσσα ερωτημάτων για σχεσιακά δεδομένα. Προσφέρει λειτουργίες ερωτημάτων SELECT, επιστρέφοντας ένα σύνολο δηλώσεων οι οποίες ταιριάζουν με το μοτίβο που παρατέθηκε ως μέρος του ερωτήματος: CONSTRUCT, η οποία επιστρέφει έναν RDF γράφο που σχηματίζεται από τις τριπλέτες που ικανοποιούν ένα μοτίβο γράφου που συνοδεύει το ερώτημα: ASK, ένα ερώτημα που απαντά θετικά (true) ή αρνητικά (false) ανάλογα με το αν το μοτίβο του ερωτήματος έχει λύση, χωρίς να επιστρέφει τη λύση αυτή καθ' αυτή: DESCRIBE, μία μορφή ερωτήματος που επιστρέφει όλες τις τριπλέτες που αναφέρονται σε ένα συγκεκριμένο IRI, είτε αυτό δρα ως υποκείμενο είτε ως αντικείμενο, δεδομένων ορισμένων περιορισμών που εκφράζονται μέσω του μοτίβου του ερωτήματος.

Όπως είναι προφανές, η γλώσσα SPARQL προσφέρεται μόνο για εφαρμογή ερωτημάτων με σκοπό την ανάγνωση δεδομένων και όχι τη μεταβολή τους. Στη δεύτερη περίπτωση, χρησιμοποιείται η γλώσσα SPARQL Update [44] [45], μία γλώσσα για την ανανέωση RDF γράφων. Η SPARQL Update προδιαγράφει τις λειτουργίες INSERT, DELETE, DELETE/INSERT, LOAD και CLEAR σε ό,τι αφορά την ανανέωση ενός γράφου ή ενός αποθετηρίου γράφων. Το ερώτημα INSERT προσθέτει τριπλέτες σε ένα δεδομένο γράφο, το ερώτημα DELETE τις αφαιρεί από το γράφο αυτό, εάν

υπάρχουν, ενώ το ερώτημα DELETE/INSERT χρησιμοποιείται συνήθως για λόγους ανανέωσης ενός γράφου. Η πράξη LOAD διαβάζει ένα RDF κείμενο από μία δεδομένη διεύθυνση (IRI) και, στη συνέχεια, εισάγει το γράφο του RDF κειμένου σε ένα αποθετήριο. Τέλος, εφαρμόζοντας το ερώτημα CLEAR σε ένα γράφο, όλες οι τριπλές του γράφου αυτού διαγράφονται.

2.2.5 Σημασιολογικοί κανόνες & επαγωγικός συλλογισμός

Η αναπαράσταση δεδομένων δεν αφορά αποκλειστικά στη μοντελοποίησή τους με τη χρήση οντολογιών. Εξέχοντα ρόλο διαδραματίζουν οι σημασιολογικοί κανόνες και ο επαγωγικός συλλογισμός (inference). Μέσω του επαγωγικού συλλογισμού, εξάγεται γνώση σχετική με γεγονότα τα οποία δεν έχουν δηλωθεί ρητά.

Η OWL έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να υποστηρίζει διάφορες μεθόδους επαγωγικού συλλογισμού. Ο αλγόριθμος επαλληλίας (subsumption algorithm) προσδιορίζει σχέσεις γενίκευσης και εξειδίκευσης μεταξύ εννοιών: η έννοια A εντάσσεται στην έννοια B αν και μόνο αν όλα τα στιγμιότυπα της έννοιας A αποτελούν απαραίτητα στιγμιότυπα της έννοιας B , δηλαδή ο πρώτος ορισμός αποτελεί υποσύνολο του δεύτερου ορισμού. Ο αλγόριθμος στιγμιότυπου (instance algorithm) προσδιορίζει σχέσεις σχετικές με στιγμιότυπα: ο τύπος i αποτελεί στιγμιότυπο της έννοιας A αν και μόνο αν ο i εκλαμβάνεται πάντα ως μέρος της. Τέλος, ο αλγόριθμος συνέπειας (consistency algorithm) διαβεβαιώνει εάν μία βάση γνώσης είναι μη αντιφατική [46].

Η διαδικασία της εξαγωγής γνώσης λαμβάνει χώρα μέσω του εργαλείου επαγωγικού συλλογισμού (reasoner). Ορισμένα εργαλεία επαγωγικού συλλογισμού είναι ενσωματωμένα σε εργαλεία μεγαλύτερου εύρους λειτουργιών, ενώ άλλα διατίθενται μεμονωμένα και μπορούν να λειτουργήσουν συνεργατικά με βιβλιοθήκες ή αποθετήρια τριπλετών. Ορισμένα από τα πιο δημοφιλή αυτόνομα εργαλεία αυτής της κατηγορίας είναι το Pellet [47], το Fact++³ [48] και το Hermit⁴ [49] [50], ενώ ορισμένα από τα πιο διαδεδομένα εργαλεία διαχείρισης οντολογιών, τα οποία συνοδεύονται από εργαλεία επαγωγικού συλλογισμού, είναι το Apache Jena⁵, το Sesame⁶ [51], το Kaon2⁷ [52] και το TopBraid⁸ [53].

³<http://owl.man.ac.uk/factplusplus/>

⁴<http://www.hermit-reasoner.com/>

⁵<https://jena.apache.org/>

⁶<http://rdf4j.org/>

⁷<http://kaon2.semanticweb.org/>

⁸<http://www.topquadrant.com/tools/modeling-topbraid-composer-standard-edition/>

2.3 Ομογενοποίηση ετερογενών και καταναμημένων δεδομένων με τη χρήση οντολογιών

Ο απώτερος στόχος της επεξεργασίας δεδομένων είναι η εξαγωγή αξιόπιστης πληροφορίας. Η πληθώρα των δεδομένων που έχει προκύψει ως επακόλουθο της προόδου της τεχνολογίας δημιουργεί πολύτιμες ευκαιρίες από τη σκοπιά της επεξεργασίας και εξόρυξης δεδομένων. Σε ένα μεγάλο σύνολο πεδίων εφαρμογής, δεδομένα παράγονται και συλλέγονται σε πρωτοφανείς ρυθμούς. Αποφάσεις, οι οποίες μέχρι πρότινος βασιζόνταν σε εικασίες ή σε χειρωνακτική επεξεργασία, είναι δυνατό να εξαχθούν με τη χρήση προηγμένων μοντέλων βασισμένων σε γεγονότα.

Ιδιαίτερα με την έλευση των Δεδομένων Μεγάλης Κλίμακας (Big Data), η οποία συνδέεται άμεσα με την εξέλιξη των υπαρχόντων αισθητήριων αντικειμένων και το σχεδιασμό νέων, όπως επίσης και με την αδιάλειπτη χρήση κινητών και ενδυτών συσκευών, το πλήθος της παραγόμενης πληροφορίας είναι ανεξέλεγκτο. Το γεγονός αυτό αυξάνει τις προκλήσεις μετασχηματισμού των συλλεγμένων δεδομένων από την πρωτογενή τους μορφή σε εύχρηστη, ουσιαστική γνώση. Παρ' όλα αυτά, για να είναι δυνατή η εκμετάλλευση των πολυάριθμων δυνατοτήτων των σύγχρονων πηγών δεδομένων, απαιτείται η εφαρμογή τεχνικών ομογενοποίησης σε δεδομένα που προέρχονται από ετερογενείς, καταναμημένες πηγές δεδομένων και παρουσιάζουν διαφορές στους στόχους τους, την επιχειρησιακή λογική που τους διέπει και τα υποκείμενα μοντέλα και τεχνολογίες. Σε κάθε περίπτωση, η αξιοπιστία της προκύπτουσας πληροφορίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αξιοπιστία των αρχικών δεδομένων και την ικανότητα αυτών να αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα [54] [55] [56].

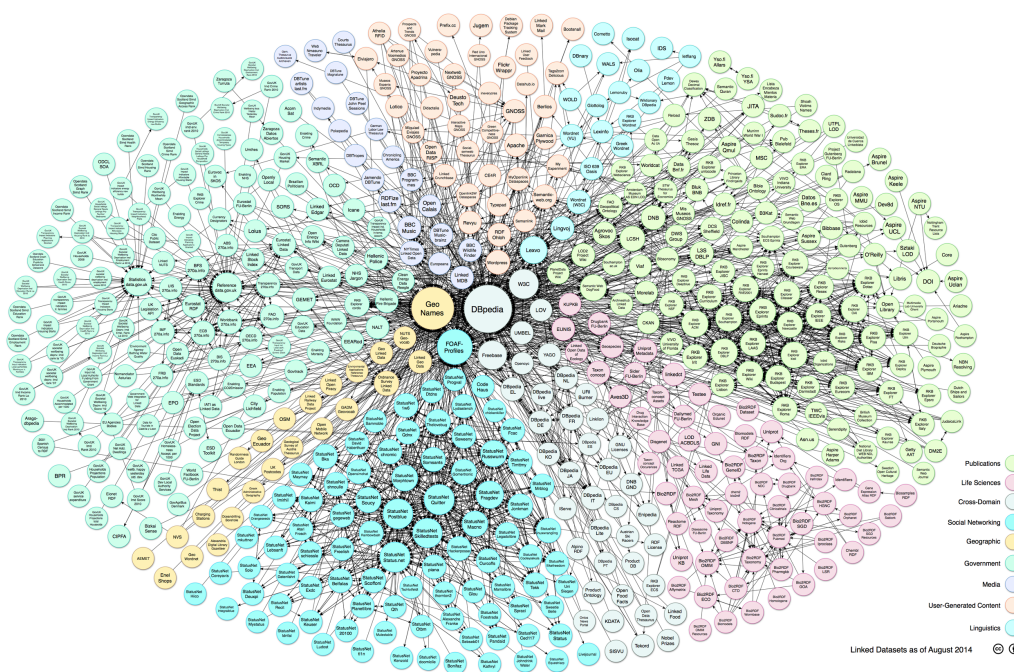
Η αξιοποίηση των τεχνολογιών του Σημαιολογικού Ιστού, των οντολογιών και των σχετικών προτύπων επιτρέπουν την ταχεία και αποδοτική συγχώνευση ετερογενών δεδομένων. Με τη χρήση των οντολογιών είναι δυνατή η ομογενοποίηση δεδομένων που προέρχονται από πολλαπλές πηγές, οι οποίες φέρουν μεγάλους όγκους (της τάξης των gigabyte ή terabyte) δεδομένων. Ως εκ τούτου, η επεξεργασία των δεδομένων αυτών θα πρέπει να πραγματοποιείται αποδοτικά, εφαρμόζοντας τεχνικές επεκτασιμότητας.

Στα πλαίσια υποστήριξης της διαλειτουργικότητας, της επεκτασιμότητας και της ευελιξίας των σύγχρονων υπολογιστικών συστημάτων, έχουν δημοσιευθεί πολυάριθμα οντολογικά μοντέλα, τα οποία καλύπτουν έννοιες από διάφορους τομείς, όπως είναι ο τομέας των Οικονομικών, της Βιοϊατρικής, της Ασφάλειας της Πληροφορίας και της Μουσικής. Ακόμη, οντολογίες που περιγράφουν έννοιες σχετικές με το χρόνο, τη γεωγραφική τοποθεσία και τις ανθρώπινες σχέσεις έχουν αναπτυχθεί κατά την τελευταία δεκαετία και έχουν ήδη κερδίσει έδαφος στον Ιστό των Δεδομένων (Web of Data). Ορισμένες από αυτές τις οντολογίες έχουν προτυποποιηθεί από

οργανισμούς που εκδίδουν σχετικά πρότυπα, όπως είναι ο W3C, ενώ άλλες έχουν καθιερωθεί ως μοντέλα αναφοράς.

Τα τελευταία χρόνια, ο Παγκόσμιος Ιστός έχει εξελιχθεί έτσι, ώστε να επιτρέπει τη διασύνδεση τόσο κειμένων όσο και δεδομένων. Η ανάπτυξη αυτή υποστηρίζεται διαρκώς μέσω βέλτιστων πρακτικών δημοσίευσης και διασύνδεσης δομημένων δεδομένων. Η πρωτοβουλία αυτή είναι γνωστή με τον όρο “Διασυνδεδεμένα Δεδομένα” (Linked Data ή Linked Open Data) [57] [58] [59]. Στα πλαίσια των Linked Data, σημασιολογικές οντότητες, όπως είναι ο άνθρωπος, οι εταιρίες, τα βιβλία, οι ταινίες και η μουσική, τα φάρμακα, οι πρωτεΐνες και τα γονίδια, η οικονομία και πολλά άλλα, διασυνδέονται μέσω κοινών εννοιών και συσχετίσεων. Η πρωτοβουλία αυτή συμβάλλει δραστικά στη διαλειτουργικότητα ετερογενών συστημάτων, επιτρέποντας στα συστήματα αυτά να επικοινωνούν αξιοποιώντας διαδεδομένα πληροφοριακά μοντέλα. Στο πλαίσιο αυτό, μία σειρά από σημασιολογικά μοντέλα αναφοράς έχουν αναπτυχθεί, δημοσιευθεί και ενταχθεί στην οικογένεια των Διασυνδεδεμένων Δεδομένων.

2.3.1 Ο ρόλος των πρότυπων οντολογιών και των Διασυνδεδεμένων Δεδομένων



Σχήμα 4: Το διάγραμμα του νέφους των Διασυνδεδεμένων Ανοιχτών Δεδομένων [2]

Συμβαδίζοντας με τις ραγδαίες εξελίξεις στο χώρο μοντελοποίησης δεδομένων και τους ταχύτατους ρυθμούς παραγωγής δεδομένων κάθε φύσης, ο οργανισμός W3C αναπτύσσει και δημοσιεύει συνεχώς οντολογικά μοντέλα και πρότυπες οντο-

λογίες, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την ανάπτυξη συστημάτων με στόχο την ενίσχυση της διαλειτουργικότητας και την εξάλειψη της ετερογένειας των δεδομένων. Στο πλαίσιο αυτό, ο W3C έχει οργανώσει την πρωτοβουλία των Διασυνδεδεμένων Ανοιχτών Δεδομένων, η οποία στοχεύει στη διάθεση πολλαπλών συνόλων δεδομένων στο Διαδίκτυο σε μορφή RDF. Η προσπάθεια αυτή περιλαμβάνει, εκτός των άλλων, τη διασύνδεση αντικειμένων που ανήκουν σε διαφορετικά σύνολα δεδομένων μέσω σαφών συσχετίσεων. Οποιοσδήποτε οργανισμός μπορεί να διαθέσει τα δεδομένα του, αφού πρώτα διασφαλίσει ότι τηρούνται οι Αρχές των Διασυνδεδεμένων Δεδομένων, σύμφωνα με τις οποίες:

- απαιτείται η χρήση URI για την ονομασία στιγμιότυπων,
- τα URI θα πρέπει να είναι προσβάσιμα μέσω των πρωτοκόλλων HTTP ή HTTPS,
- κατά την αναζήτηση ενός URI, θα πρέπει να παρέχονται χρήσιμες πληροφορίες στη γλώσσα RDF και, τέλος,
- ένα σύνολο δεδομένων θα πρέπει να περιέχει συνδέσεις με άλλα σχετικά σύνολα δεδομένων, τα οποία αποτελούν μέρος του Νέφους των Διασυνδεδεμένων Δεδομένων.

Το Σχήμα 4 [2] απεικονίζει το νέφος που σχηματίζουν τα σύνολα δεδομένων που απαρτίζουν τα Διασυνδεδεμένα Ανοιχτά Δεδομένα. Τα συστατικά στοιχεία του νέφους αυτού παρουσιάζουν διαφορετικούς χρωματισμούς με βάση το πεδίο αναφοράς στο οποίο ανήκουν. Τα πεδία αναφοράς, όπως έχουν διαμορφωθεί έως και σήμερα, αναφέρονται σε Μέσα Ενημέρωσης και Ψυχαγωγίας, σε θέματα Διακυβέρνησης, σε Δημοσιεύσεις, στις Ανθρωπιστικές Επιστήμες, σε θέματα Γεωγραφίας, σε Διατομεακά θέματα, σε Περιεχόμενο Παραγόμενο από Χρήστες και σε δεδομένα Κοινωνικών Δικτύων [60].

Η κατηγορία των Μέσων Ενημέρωσης και Ψυχαγωγίας (Media) περιλαμβάνει σύνολα δεδομένων σχετικά με ταινίες, μουσική, τηλεόραση και ραδιοφωνικά προγράμματα, όπως επίσης και με έντυπα μέσα ενημέρωσης. Τα πιο δημοφιλή από αυτά είναι τα σύνολα δεδομένων *DBTune.org* [61], μία σειρά από μουσικά σύνολα δεδομένων, το σύνολο δεδομένων των *New York Times* [62] και, τέλος, το σύνολο δεδομένων του ραδιοφωνικού και τηλεοπτικού προγράμματος του *BBC* [63]. Το μουσικό σύνολο δεδομένων *DBTune.org* αποτελείται από 1.1 εκατομμύρια τριπλέτες, ενώ διαθέτει εξωτερικές συνδέσεις με αντικείμενα των συνόλων δεδομένων *GeoNames* [64] και *Music-Brainz* [65], τα οποία επίσης αποτελούν μέρος των *Linked Data*. Τα αντικείμενα του ίδιου συνόλου δεδομένων φέρουν συσχετίσεις με όρους της Μουσικής Οντολογίας (*Music Ontology*) [66], σκοπός της οποίας είναι η παροχή ενός λεξιλογίου για τη δημοσίευση και τη διασύνδεση ενός μεγάλου εύρους δεδομένων του Παγκόσμιου Ιστού σχετικών με τη μουσική. Η Μουσική Οντολογία βασίζεται με τη σειρά της σε άλλα λεξιλόγια, όπως είναι το λεξιλόγιο *FOAF* (*Friend of a Friend*) [67], η Οντολογία των Γεγονότων (*Event Ontology*) [68], η Οντολογία Χρονοδιαγράμματος (*Timeline Ontology*) [69] και η Οντολογία Λειτουργικών Απαιτήσεων Βιβλιογραφικών Εγγραφών (*Func-*

tional Requirements for Bibliographic Records) [70]. Αντίστοιχα, η Μουσική Οντολογία αποτέλεσε βάση στην ανάπτυξη των Οντολογιών Ηχητικών Λειτουργιών (Audio Features Ontology) [71] [72] και Στούντιο (Studio Ontology) [73] [74], οι οποίες προσφέρονται για την περιγραφή αποτελεσμάτων επεξεργασίας σημάτων και την περιγραφή και το διαμοιρασμό πληροφορίας σχετικής με τη μουσική παραγωγή σε στούντιο ηχογράφησης, αντίστοιχα.

Η κατηγορία των *θεμάτων Διακυβέρνησης* (Government) αφορά σε Διασυνδεδεμένα Δεδομένα δημοσιευμένα από ομοσπονδιακές ή τοπικές κυβερνήσεις. Συνήθως, τα σύνολα δεδομένων αυτής της κατηγορίας περιλαμβάνουν μεγάλο πλήθος από στατιστικά στοιχεία. Παραδείγματα συνόλων της κατηγορίας θεμάτων Διακυβέρνησης αποτελούν το *data.gov.uk*, το σύνολο δεδομένων για κυβερνητικά, μη προσωπικά δεδομένα του Ηνωμένου Βασιλείου [75], και το *OpenDataCommunities* [76], το οποίο παρέχει, μεταξύ άλλων, στατιστικά δεδομένα σχετικά με την οικονομία, την έλλειψη στέγης και την ευημερία των κατοίκων του Ηνωμένου Βασιλείου.

Τα σύνολα δεδομένων των *Δημοσιεύσεων* (Publications) περιέχουν δεδομένα σχετικά με βιβλιοθήκες, επιστημονικές δημοσιεύσεις και συνέδρια, με τη διδακτική ύλη πανεπιστημίων και με βάσεις δεδομένων βιβλιογραφικών αναφορών. Τα πιο διαδεδομένα σύνολα της κατηγορίας είναι το σύνολο δεδομένων της Γερμανικής Εθνικής Βιβλιοθήκης [77], το σύνολο δεδομένων του Προγράμματος Ψηφιακής Βιβλιογραφίας και Βιβλιοθήκης (Digital Bibliography & Library Project – DBLP) [78] [79] του Γερμανικού Ερευνητικού Κέντρου L3S (Learning Lab Lower Saxony) και, τέλος, το σύνολο δεδομένων της Ανοιχτής Βιβλιοθήκης (Open Library) [80]. Στην ίδια κατηγορία ανήκουν αρκετά σύνολα δεδομένων διαφόρων Πανεπιστημιακών Σχολών, όπως είναι του Πανεπιστημίου του Καρόλου στην Πράγα (Charles University) και του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης (Oxford University).

Η κατηγορία των *Γεωγραφικών θεμάτων* (Geographic) αποτελείται από δεδομένα σχετικά με γεωγραφικές τοποθεσίες, γεωπολιτικά διαμερίσματα και σημεία ενδιαφέροντος. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4, στην κατηγορία αυτή ανήκει το δεύτερο σε μέγεθος σύνολο δεδομένων που αποτελεί μέρος του προγράμματος Linked Open Data, το *GeoNames* [64]. Η ιστοσελίδα αυτή παρέχει στους χρήστες της πρόσβαση σε μία γεωγραφική βάση δεδομένων, η οποία περιέχει πληροφορίες για περισσότερες από 10 εκατομμύρια γεωγραφικές τοποθεσίες. Το σύνολο δεδομένων της *GeoNames* διατίθεται σε σημασιολογική μορφή δομημένο σύμφωνα με την αντίστοιχη οντολογία [81].

Τα σύνολα δεδομένων της κατηγορίας των *Ανθρωπιστικών Επιστημών* (Life Sciences) συγκεντρώνουν πληροφορίες βιολογικού και βιοϊατρικού περιεχομένου, δεδομένα σχετικά με φάρμακα, όπως επίσης και με είδη έμβιων οργανισμών και του φυσικού τους περιβάλλοντος. Στα πλαίσια του εμπλουτισμού της κατηγορίας αυτής με νέα σύνολα δεδομένων προσανατολισμένα στις Ανθρωπιστικές Επιστήμες, έχει

συντεθεί η κοινότητα Υγείας και Ανθρωπιστικών Επιστημών (Health Care & Life Sciences – HCLS) [82], η οποία διαδραματίζει εξέχοντα ρόλο στη σύνθεση και ανάπτυξη ενός Σημασιολογικού Ιστού Ανθρωπιστικών Επιστημών (Life Sciences Semantic Web – LSSW) [83].

Η κατηγορία *Διατομεακών Θεμάτων* (Cross-domain) περιέχει γενικές βάσεις γνώσης, όπως είναι η DBPedia [79]. Η DBPedia, η οποία αποτελεί το τρέχον πιο μεγάλο σύνολο δεδομένων των Διασυνδεδεμένων Δεδομένων, είναι μία προσπάθεια εξαγωγής της πληροφορίας της Wikipedia σε δομημένη μορφή και δημοσίευσής της στον Ιστό. Η κατηγορία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς συνδέει εξειδικευμένα σε συγκεκριμένους τομείς σύνολα δεδομένων με αποτέλεσμα τη σύνθεση ενός ενιαίου χώρου δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό, αποφεύγεται η διάσπαση του Ιστού σε απομονωμένες νησίδες δεδομένων [59]. Η DBPedia κατέχει συχνά κομβικό ρόλο στο Σημασιολογικό Ιστό από τα πρώτα κιόλας στάδια του έργου των Διασυνδεδεμένων Δεδομένων λόγω του εύρους των καλυπτόμενων θεμάτων. Το πολυάριθμο πλήθος των εισερχόμενων και εξερχόμενων συνδέσεων της DBPedia παρουσιάζεται στο Σχήμα 4. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει επίσης γλωσσολογικές πηγές δεδομένων, όπως είναι η WordNet [84], μία μεγάλη εύρους λεξική βάση δεδομένων της Αγγλικής γλώσσας, και η Lexno [85] [86], μία υπηρεσία η οποία δημοσιεύει πληροφορίες σχετικές με στοιχεία της ανθρώπινης γλώσσας στο Διαδίκτυο, και, τέλος, δεδομένα σχετικά με προϊόντα.

Η κατηγορία του *Περιεχομένου παραγόμενου από το χρήστη* (User-generated) περιέχει δεδομένα διαδικτυακών πυλών, οι οποίες συλλέγουν, με τη σειρά τους, περιεχόμενο από μεγαλύτερες κοινότητες χρηστών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν δημοσιεύσεις χρηστών σε ιστολόγια, οι οποίες έχουν δημοσιευθεί από την WordPress [87] με τη μορφή Διασυνδεδεμένων Δεδομένων, δεδομένα σχετικά με προγράμματα λογισμικού ανοιχτού κώδικα, τα οποία δημοσιεύονται από την Apache [88], επιστημονικές εργασίες δημοσιευμένες από την ιστοσελίδα MyExperiment [89] και κριτικές διαθέσιμες μέσω των ιστοσελίδων GoodReads [90] και Revyu [91].

Στην κατηγορία των θεμάτων *Κοινωνικής Δικτύωσης* (Social Networking) εντάσσεται περιεχόμενο παραγόμενο από χρήστες Κοινωνικών Δικτύων. Τα δεδομένα της κατηγορίας αυτής αντιπροσωπεύουν τους προσωπικούς λογαριασμούς χρηστών, όπως επίσης και τους κοινωνικούς δεσμούς που αναπτύσσονται μεταξύ χρηστών. Η διαφορά του συνόλου δεδομένων της κατηγορίας του Περιεχομένου παραγόμενου από το χρήστη από το σύνολο δεδομένων αυτής της κατηγορίας είναι ότι το πρώτο επικεντρώνεται στο περιεχόμενο αυτό καθ'αυτό, ενώ στη δεύτερη περίπτωση ιδιαίτερη σημασία δίνεται στα προφίλ των χρηστών και στις σχέσεις που δημιουργούνται ανάμεσα στους χρήστες. Το πιο αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι αυτό του Facebook, το οποίο υιοθέτησε το Πρωτόκολλο Ανοιχτού Γράφου [92] [93] με σκοπό την έκφραση ορισμένων βασικών πληροφοριών σε σημασιολογική μορφή.

Πίνακας 2: Τα σύνολα των Διασυνδεδεμένων Δεδομένων ανά κατηγορία

Κατηγορία	Πλήθος συνόλων δεδομένων	%
Μέσα ενημέρωσης & ψυχαγωγίας	26	2,45%
Διακυβέρνηση	185	17,40%
Δημοσιεύσεις	101	9,50%
Γεωγραφικά θέματα	44	4,14%
Ανθρωπιστικές Επιστήμες	85	7,99%
Διατομεακά θέματα	48	4,52%
Περιεχόμενο παραγόμενο από το χρήστη	50	4,70%
Κοινωνική Δικτύωση	524	49,30%
Σύνολο	1063	

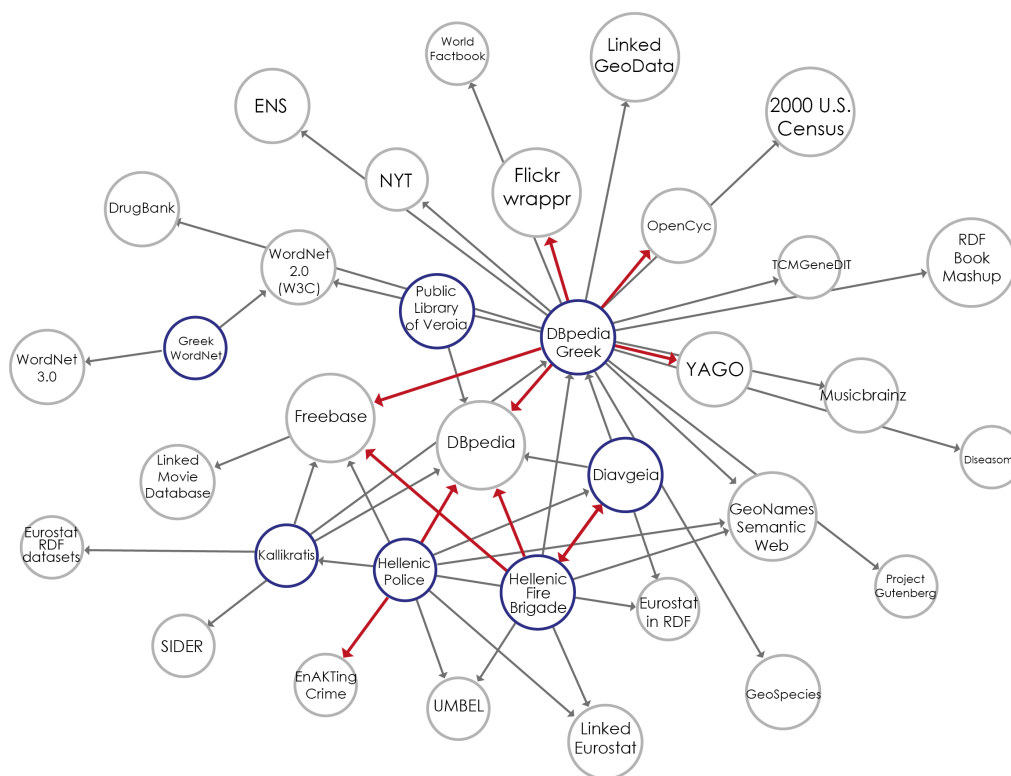
Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει τον αριθμό των συνόλων ανά κατηγορία και το αντίστοιχο ποσοστό που καταλαμβάνει κάθε κατηγορία συνόλων δεδομένων. Όπως φαίνεται, τα θέματα Κοινωνικής Δικτύωσης υπερσχύουν των υπολοίπων κατηγοριών, ενώ αρκετά αξιόλογο ποσοστό καταλαμβάνει η κατηγορία των θεμάτων Διακυβέρνησης. Τα υπάρχοντα σύνολα δεδομένων έχουν ανατεθεί στις παραπάνω κατηγορίες χειροκίνητα με βάση το περιεχόμενό τους. Παρ' όλα αυτά, έχουν ήδη γίνει τα πρώτα βήματα για το σχεδιασμό και την εφαρμογή αλγορίθμων αυτόματης κατηγοριοποίησης των συνόλων αυτών [94].

Τα Ελληνικά Διασυνδεδεμένα Δεδομένα Το Ίδρυμα Ανοιχτής Γνώσης Ελλάδος (ΙΑΓΕ) [95] έχει αναλάβει την οργάνωση και τη διάδοση του προγράμματος Διασυνδεδεμένων Ανοιχτών Δεδομένων στην Ελλάδα. Το ΙΑΓΕ παρέχει αναλυτικές οδηγίες, σύμφωνα με τις οποίες ένας οργανισμός μπορεί να διαθέσει τα δεδομένα του στο πλαίσιο των Διασυνδεδεμένων Δεδομένων, ενώ βασίζεται στον εθελοντισμό για τη λειτουργία του. Οι ελληνικοί οργανισμοί που αποτελούν μέρος των Διασυνδεδεμένων Ανοιχτών Δεδομένων έως και σήμερα είναι η Ελληνική Αστυνομία και το Ελληνικό Πυροσβεστικό Σώμα, ενώ ανοιχτά θεωρούνται τα δεδομένα που σχετίζονται με την ελληνική έκδοση της βάσης δεδομένων DBPedia⁹ και της βάσης δεδομένων WordNet¹⁰, το πρόγραμμα της Διαύγειας, η Δημόσια Βιβλιοθήκη της Βέροιας και το Νομοσχέδιο Καλλικράτης [3].

Το Σχήμα 5 απεικονίζει το διάγραμμα του νέφους των Ελληνικών Διασυνδεδεμένων Ανοιχτών Δεδομένων.

⁹<http://wiki.el.dbpedia.org/en>

¹⁰<http://wordnet.okfn.gr/>



Σχήμα 5: Το διάγραμμα του νέφους των Ελληνικών Διασυνδεδεμένων Ανοιχτών Δεδομένων [3]

2.3.2 Συστήματα μετασχηματισμού δεδομένων με τη χρήση οντολογιών

Οι πρότυπες οντολογίες και τα σύνολα δεδομένων που παρουσιάστηκαν στην Ενότητα 2.3.1 παρέχουν τα θεμέλια για την ανάπτυξη συστημάτων ενσωμάτωσης ετερογενών δεδομένων. Τα συστήματα αυτά συνήθως επιτυγχάνουν το μετασχηματισμό δεδομένων από πολλαπλές πρωτογενείς, μη σημασιολογικές μορφές (π.χ., SQL, XML, Microsoft Excel) σε μία κοινή μορφή αξιοποιώντας τη λειτουργικότητα των οντολογιών. Η σύνδεση της οντολογίας που χρησιμοποιείται στα πλαίσια του μετασχηματισμού με την αρχική μέθοδο αναπαράστασης των δεδομένων μίας εφαρμογής ή ενός συστήματος πραγματοποιείται διαμέσου *αντιστοιχίσεων* (mappings). Οι αντιστοιχίσεις αυτές αποτελούν δηλωτικούς ορισμούς, οι οποίοι περιγράφουν τη σχέση ανάμεσα στις έννοιες της οντολογίας και τις έννοιες του αρχικού σχήματος, είτε αυτό αφορά σε μία σχεσιακή βάση δεδομένων είτε σε μία απλούστερη μορφή αναπαράστασης, όπως είναι τα υπολογιστικά φύλλα του λογισμικού Microsoft Excel, κάτι που συνηθίζεται σε επιχειρήσεις μικρής κλίμακας.

Ανάμεσα στα αναρίθμητα πλεονεκτήματα που επιφέρουν οι πρότυπες οντολογίες συγκαταλέγεται και η δυνατότητα εφαρμογής τους σε πολλαπλά σενάρια ενσωμάτωσης. Παρ' όλα αυτά, δε συμβαίνει το ίδιο με τις αντιστοιχίσεις, καθώς αυτές θα πρέπει να παράγονται από την αρχή σε κάθε νέο σενάριο χρήσης τους λόγω του

διαφορετικού σχήματος της αρχικής αναπαράστασης. Το πρόβλημα αυτό καλούνται να επιλύσουν τα μοντέρνα συστήματα ενσωμάτωσης πληροφορίας που βασίζονται σε οντολογίες. Με βάση το πεδίο εφαρμογής τους και τα προβλήματα που επιθυμούν να επιλύσουν, κάθε ένα από τα παρακάτω συστήματα καθιστά δυνατή την ενσωμάτωση δεδομένων από ένα σύνολο αρχικών αναπαραστάσεων σε μία τελική μορφή, αξιοποιώντας τη δύναμη των οντολογιών.

Στα βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να φέρουν τα τρέχοντα εργαλεία ενσωμάτωσης συγκαταλέγονται:

- η φυσική διαφάνεια, στα πλαίσια της οποίας τα φυσικά χαρακτηριστικά των πραγματικών πηγών δεδομένων δεν είναι φανερά στον τελικό χρήστη,
- η αντιμετώπιση της ετερογένειας των πηγών δεδομένων,
- η επεκτασιμότητα,
- η διατήρηση της αυτονομίας των πηγών δεδομένων,
- η διατήρηση της απόδοσης μέσω προηγμένων τεχνικών εφαρμογής ερωτημάτων και, τέλος,
- η λογική διαφάνεια, εφαρμόζοντας σημασιολογικά μοντέλα ανεξάρτητα των σχημάτων των πραγματικών πηγών δεδομένων [96].

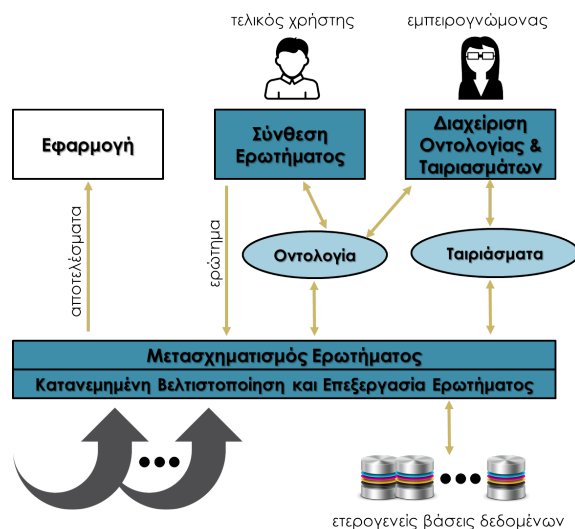
Ενώ τα περισσότερα από τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά ενσωματώνονται στα σύγχρονα αποδοτικά συστήματα, το χαρακτηριστικό της λογικής διαφάνειας συχνά δεν υποστηρίζεται [96]. Το γεγονός αυτό οδηγεί στη δημιουργία νέων αντιστοιχίσεων για κάθε περίπτωση χρήσης με αποτέλεσμα να απαιτείται η συνεχής εξατομίκευση των εργαλείων ενσωμάτωσης. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί επιλέγοντας τους κατάλληλους φορμαλισμούς για τον ορισμό ενός καθολικού οντολογικού σχήματος και των ανάλογων αντιστοιχίσεων.

Το εργαλείο KARMA¹¹ [97] [98] χρησιμοποιεί σα βάση οντολογικά μοντέλα με σκοπό την ενσωμάτωση της πληροφορίας. Υποστηρίζει τη μετατροπή δεδομένων σχεσιακών βάσεων, υπολογιστικών φύλλων, οριοθετημένων αρχείων κειμένου, αρχείων XML, JSON (JavaScript Object Notation) και KML (Keyhole Markup Language). Η διαδικασία αντιστοίχισης είναι ημιαυτοποιημένη· το εργαλείο προτείνει μία αρχική αντιστοίχιση των δεδομένων στο οντολογικό μοντέλο επιλογής του χρήστη, ενώ στη συνέχεια ο χρήστης έχει τη δυνατότητα αξιολόγησης και επεξεργασίας της πρότασης του KARMA μέσω μία εξειδικευμένης Διεπαφής Χρήστη.

Η αντιστοίχιση που προτείνεται από το KARMA είναι αποτέλεσμα διαδικασιών εκμάθησης, κατά τις οποίες το εργαλείο μαθαίνει να αναγνωρίζει τις αντιστοιχίσεις και τη σχέση τους με τις έννοιες του επιλεγμένου οντολογικού μοντέλου. Εφόσον η επεξεργασία του μοντέλου ολοκληρωθεί, τα αρχικά δεδομένα ενσωματώνονται και μετατρέπονται σε RDF με βάση το προαναφερθέν μοντέλο. Η διαδικασία της αντιστοίχισης ολοκληρώνεται σε δύο στάδια· στο πρώτο στάδιο, οι έννοιες του αρ-

¹¹<http://usc-isi-i2.github.io/karma/>

χικού σχήματος αντιστοιχίζονται σε σημασιολογικούς τύπους του επιλεγμένου σημασιολογικού μοντέλου, ενώ στο δεύτερο στάδιο, πραγματοποιείται ο ορισμός των σχέσεων μεταξύ των σημασιολογικών τύπων.



Σχήμα 6: Η αρχιτεκτονική του συστήματος Optique

Το σύστημα Optique¹² [98] [99] εξαλείφει τα προβλήματα που προκαλούνται λόγω της δυνατότητας πρόσβασης στα δεδομένα ενός συστήματος αποκλειστικά μέσω προκαθορισμένων ερωτημάτων. Στο πλαίσιο αυτό, προτείνει μεθόδους πρόσβασης σε ετερογενείς, κατανεμημένες βάσεις δεδομένων με τη βοήθεια οντολογιών. Συγκεκριμένα, ο τελικός χρήστης του συστήματος Optique σχηματίζει ερωτήματα αξιοποιώντας οντολογικά μοντέλα, τα οποία κατανοεί πλήρως. Στη συνέχεια, οι έννοιες των οντολογικών μοντέλων που αποτελούν μέρος του ερωτήματος αντιστοιχίζονται στις έννοιες των βάσεων δεδομένων των υποκείμενων συστημάτων με τη βοήθεια αντιστοιχίσεων που έχουν δημιουργηθεί από εμπειρογνώμονες.

Τα οντολογικά μοντέλα που πλαισιώνουν το σύστημα Optique είναι ανεξάρτητα των σχημάτων των υποκείμενων πηγών δεδομένων. Το σύστημα, στην αρχική του κατάσταση, συνοδεύεται από μία αρχική έκδοση των οντολογιών και των αντιστοιχίσεων, οι οποίες στη συνέχεια αναδιαμορφώνονται σύμφωνα με την ανατροφοδότηση του τελικού χρήστη. Ταυτόχρονα, νέες πηγές δεδομένων είναι δυνατό να συνδεθούν με το σύστημα. Το Σχήμα 6 απεικονίζει την αρχιτεκτονική του συστήματος.

Το εργαλείο DataOps [100] παρέχει τη δυνατότητα διαφανούς ενσωμάτωσης δεδομένων από ένα σύνολο αρχικών μορφών σε μορφή RDF. Προσφέρει λειτουργίες ενσωμάτωσης οντολογικών ή μη οντολογικών δεδομένων δομημένων σε CSV, σε υπολογιστικά φύλλα Excel, σε XML και JSON, ενώ επιτρέπει την εφαρμογή επεκτατικών μηχανισμών για την ενσωμάτωση δεδομένων οποιασδήποτε άλλης μορφής. Η

¹²<http://optique-project.eu/>

πρόσβαση στις βάσεις δεδομένων προς ενσωμάτωση μπορεί να είναι κατανεμημένη και να υλοποιείται μέσω τοπικού δικτύου, μέσω του Ιστού κάνοντας χρήση του πρωτοκόλλου HTTP ή μέσω εξατομικευμένων πρωτοκόλλων.

Το εργαλείο αυτό στηρίζεται στο σύστημα Information Workbench [101], το οποίο συλλέγει περιοδικά δεδομένα από υποκείμενα επιχειρησιακά συστήματα ή ανοιχτά δεδομένα από το Διαδίκτυο. Τα δεδομένα αυτά μετατρέπονται σε RDF, αξιοποιώντας πλούσια οντολογικά μοντέλα και, τελικά, αποθηκεύονται σε ένα κεντρικό αποθετήριο τριπλετών.

2.4 Εφαρμογή σε συστήματα διαχείρισης παραγωγής

Τα συστήματα, τα οποία έχουν ως στόχο την αντιμετώπιση ζητημάτων σχετικών με την κατανομή πόρων και τη χρονοδρομολόγηση στον τομέα της παραγωγής, όπως επίσης και τη βελτιστοποίηση παραγωγής, είναι πολυάριθμα. Κάθε ένα από αυτά ακολουθεί μία διαφορετική προσέγγιση ώστε να επιτύχει το στόχο του. Οι πιο δημοφιλείς από αυτές αναλύονται στην επόμενη ενότητα.

2.4.1 Τεχνολογίες και συστήματα διαχείρισης παραγωγής

Κλασικά συστήματα βελτιστοποίησης ανά παρτίδες Τα συστήματα ERP, όπως είναι αυτά που αναπτύσσονται από τις πιο δημοφιλείς εταιρίες επιχειρησιακού λογισμικού (SAP, IBM¹³, Oracle¹⁴), συνήθως εφαρμόζουν διαφορετικές μεθόδους προγραμματισμού με περιορισμούς ανά παρτίδες, βασισμένες σε συνδυαστικές ή στοχαστικές προσεγγίσεις.

Ο Προγραμματισμός με Περιορισμούς (Constraint Programming – CP) αναφέρεται στη διαδικασία εύρεσης λύσης σε ένα δίκτυο περιορισμών, δηλαδή σε αναθέσεις τιμών στις μεταβλητές ενός προβλήματος δεδομένου ενός ορισμένου πεδίου τιμών [102]. Εδώ και αρκετά χρόνια, ο προγραμματισμός με περιορισμούς έχει προσελκύσει την προσοχή ερευνητών λόγω της δυνατότητας επίλυσης δύσκολων προβλημάτων, όπως αυτών της χρονοδρομολόγησης (scheduling) και του προγραμματισμού (planning). Σε κάθε είδος ανθρώπινης ενέργειας, είναι δυνατό να εφαρμοσθούν περιορισμοί, επισημαίνοντας τις υπάρχουσες εξαρτήσεις στον πραγματικό κόσμο και τις αντίστοιχες μαθηματικές αφαιρέσεις με φυσικότητα και διαφάνεια. Ένας περιορισμός είναι απλά μία λογική σχέση ανάμεσα σε έναν αριθμό άγνωστων μεταβλητών, με την κάθε μία από αυτές να λαμβάνει τιμές ενός δεδομένου συνόλου. Ως εκ τούτου, ο περιορισμός μειώνει το εύρος του συνόλου τιμών που μπορούν να ανατεθούν

¹³<http://www.ibm.com>

¹⁴<http://www.oracle.com>

σε μία μεταβλητή, παρέχοντας ένα κομμάτι πληροφορίας για τις μεταβλητές ενδιαφέροντος. Οι περιορισμοί μπορούν επίσης να χαρακτηρίζονται από ετερογένεια, συνδέοντας έτσι άγνωστες μεταβλητές διαφορετικών πεδίων ορισμού. Το πιο σημαντικό στοιχείο τους είναι η δηλωτική τους φύση: οι περιορισμοί προσδιορίζουν το είδος των σχέσεων που πρέπει να ισχύουν, χωρίς να καθορίζουν την υπολογιστική διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί ώστε να εφαρμοσθούν οι σχέσεις αυτές [103]. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα προγραμματισμού με περιορισμούς αποτελεί το πρόβλημα εύρεσης υλικών και εξαρτημάτων για την κατασκευή και συναρμολόγηση ενός αεροσκάφους, έτσι ώστε αυτά να είναι συμβατά το ένα με το άλλο.

Δυστυχώς, οι μέθοδοι αυτές δεν είναι εφαρμόσιμες εάν το πλήθος των παραγελιών ή των πόρων δεν είναι εκ των προτέρων γνωστό. Επιπρόσθετα, οι διαδικασίες ακαριαίου επανυπολογισμού του χρονοδιαγράμματος και άμεσης επικοινωνίας με τους χρήστες του συστήματος είναι χρονοβόρες [104].

Μετα-ευριστικές μέθοδοι Οι ευριστικές μέθοδοι αποτελούν μία υποσχόμενη προσέγγιση σε ό,τι αφορά την ικανοποίηση απαιτήσεων πραγματικών προβλημάτων και την ταυτόχρονη επιτάχυνση της διαδικασίας εύρεσης ικανοποιητικών λύσεων. Εφαρμόζοντας τεχνικές επίλυσης και εκμάθησης προβλημάτων βασισμένες σε πρότερη εμπειρία, οι ευριστικές μέθοδοι όχι μόνο αποδεικνύονται αλάνθαστες, αλλά ταυτόχρονα στοχεύουν και στη βελτιστοποίηση της υπολογιστικής απόδοσης ή την απλότητα.

Οι ευριστικές μέθοδοι αποτελούν στρατηγικές, οι οποίες χρησιμοποιούν υπάρχοντα δεδομένα για να ελέγξουν διαδικασίες επίλυσης προβλημάτων. Οι τυπικές ευριστικές μέθοδοι βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στην τεχνητή νοημοσύνη και στην επιχειρησιακή έρευνα με σκοπό την επίλυση προβλημάτων λογισμού, σχεδιασμού, χρονοδρομολόγησης, προγραμματισμού, συμβολικού υπολογισμού και συνδυαστικής βελτιστοποίησης [105].

Οι μετα-ευριστικές μέθοδοι συγκροτούν μία κλάση προσεγγιστικών μεθόδων, οι οποίες είναι σχεδιασμένες έτσι, ώστε να αντιμετωπίζουν δύσκολα προβλήματα συνδυαστικής βελτιστοποίησης, όπου οι απλές ευριστικές τεχνικές έχουν αποδειχθεί μη αποδοτικές και μη αποτελεσματικές. Οι μετα-ευριστικές μέθοδοι παρέχουν γενικά πλαίσια, τα οποία επιτρέπουν τη δημιουργία υβριδικών λύσεων, συνδυάζοντας έννοιες από τους τομείς των κλασικών ευριστικών μεθόδων, της τεχνητής νοημοσύνης, της βιολογικής εξέλιξης, των νευρωνικών συστημάτων, και της στατιστικής μηχανικής. Αυτές οι οικογένειες προσεγγίσεων περιλαμβάνουν τους γενετικούς αλγορίθμους, τις διαδικασίες άπληστης τυχαίας προσαρμοστικής αναζήτησης, τα νευρωνικά δίκτυα, την προσομοιωμένη απόπτωση (simulated annealing), τη μέθοδο αναζήτησης ταμπού (tabu search method), τους αλγορίθμους κατωφλίου και τις υβριδικές τους μορφές.

Μία μετα-ευριστική μέθοδος είναι μία επαναληπτική διαδικασία, η οποία καθοδηγεί μία δευτερεύουσα ευριστική μέθοδο, συνδυάζοντας ευφυώς ποικίλες έννοιες αναζήτησης και εκμετάλλευσης των χώρων αναζήτησης, κάνοντας χρήση στρατηγικών εκμάθησης με σκοπό να δομήσει την πληροφορία ώστε να είναι δυνατή η ανακάλυψη αποδοτικών και οριακά βέλτιστων λύσεων [106].

Δυστυχώς, οι περισσότερες ευριστικές μέθοδοι δεν πληρούν τις προϋποθέσεις της προσαρμοστικότητας, της αποκρισιμότητας και της υποστήριξης αποφάσεων. Αντιθέτως, τα πολυπρακτορικά συστήματα καλύπτουν τις προαναφερθείσες προϋποθέσεις [104].

Πολυπρακτορικά συστήματα Η Τεχνολογία Πολυπρακτορικών Συστημάτων (Multi-Agent Technology – MAT) βασίζεται στην έννοια των πρακτόρων λογισμικού, οι οποίοι αποτελούν αυτόνομες οντότητες ικανές να:

- αντιλαμβάνονται το περιβάλλον (π.χ., το φυσικό κόσμο, ένα σύνολο από πράκτορες, το Διαδίκτυο) στο οποίο ανήκουν και να αντιδρούν έγκαιρα σε αλλαγές που συμβαίνουν σε αυτό,
- επιδεικνύουν συμπεριφορές επικεντρωμένες σε σαφώς ορισμένους στόχους και να λαμβάνουν πρωτοβουλίες κατά περίπτωση,
- αλληλεπιδρούν, όταν είναι απαραίτητο, με άλλους πράκτορες με σκοπό την επίλυση του προβλήματος που τους έχει ανατεθεί ή με σκοπό να βοηθήσουν άλλους πράκτορες με τις δραστηριότητές τους [107].

Οι πράκτορες δίνουν τη δυνατότητα ανάπτυξης μίας εφαρμογής λογισμικού με τη χρήση αυτόνομων, επικοινωνιακών οντοτήτων. Έτσι, προσφέρουν μία καινοτόμα και κατάλληλη μεθοδολογία ανάπτυξης σύνθετων συστημάτων, ιδιαίτερα όπως είναι αυτά που βρίσκουν εφαρμογή σε δυναμικά περιβάλλοντα [104] και σε ανοιχτά συστήματα, η δομή των οποίων δύναται να μεταβληθεί δυναμικά [107]. Τα χαρακτηριστικά αυτών των συστημάτων είναι ότι τα συστατικά τους στοιχεία δεν είναι γνωστά εκ των προτέρων, μπορούν να μεταβληθούν με την πάροδο του χρόνου και συχνά χαρακτηρίζονται από υψηλούς βαθμούς ετερογένειας. Αυτό σημαίνει ότι αναπτύσσονται από διαφορετικούς ανθρώπους, χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνολογίες, μεθοδολογίες και εργαλεία λογισμικού.

Η Τεχνολογία Πολυπρακτορικών Συστημάτων έγινε δημοφιλής λόγω της δυνατότητάς της να αντιμετωπίζει σύνθετα προβλήματα, εξαλείφοντας το κόστος – σε χρόνο, απόδοση ή πολυπλοκότητα – που εισήγαγαν άλλες τεχνολογίες. Έτσι, τα πολυπρακτορικά συστήματα είναι ιδιαίτερα σημαντικά για τον τομέα της διαχείρισης της παραγωγής, όπου κάθε καθυστέρηση ενδέχεται να επιφέρει επιπρόσθετο κόστος ή να προκαλέσει νέα προβλήματα, όπως τη μείωση των ποσοστών ικανοποίησης των πελατών, τη μη τήρηση χρονικών περιθωρίων, τη δημιουργία νέων κινδύνων και την επιβολή προσθίμων. Εντούτοις, υπάρχει μόνο ένα πρότυπο σχετικό με το σχεδιασμό

πολυπρακτορικών συστημάτων, το πρότυπο FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) [108].

Ολονικά πολυπρακτορικά συστήματα Τα πολυπρακτορικά συστήματα και τα ολονικά συστήματα παραγωγής (Holon Manufacturing Systems – HMSs) συγκλίνουν με σκοπό να υποστηρίξουν το σχεδιασμό πολύπλοκων, κατανεμημένων και επαναπροσδιοριζόμενων ολονικών πολυπρακτορικών συστημάτων βασισμένων στη γνώση. Τα συστήματα αυτά βασίζονται σε έννοιες σχετικές με την επιστήμη της Βιολογίας, όπως είναι η αυτο-οργάνωση και η εξέλιξη. Ως εκ τούτου, παρέχουν ισορροπία ανάμεσα στους εγωκεντρικούς πράκτορες και τις ομάδες πρακτόρων, επιτυγχάνοντας υψηλά επίπεδα απόδοσης και επεκτασιμότητας.

Οι ολονικές οντότητες (holons· από την ελληνική λέξη «όλος») χαρακτηρίζονται τόσο από αυτάρκεια όσο και από εξάρτηση από άλλες οντότητες· είναι αυτόνομες σε ό,τι αφορά τα περικλειόμενα τμήματά τους και ταυτόχρονα εξαρτώνται από άλλες οντότητες υψηλότερων επιπέδων [107]. Οι ολονικές οντότητες μπορούν να συνδυαστούν σχηματίζοντας ιεραρχίες ολονικών οντοτήτων. Τα δύο ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους είναι η αυτονομία και η συνεργασιμότητα. Η ευστάθεια των ολονικών οντοτήτων προέρχεται από την ικανότητά τους να δρουν αυτόνομα σε απρόβλεπτα περιστατικά, ενώ η δυνατότητά τους να συνεργάζονται με άλλες ολονικές οντότητες τις μεταμορφώνει σε αποδοτικά συστατικά στοιχεία μίας μεγαλύτερης οντότητας.

Μία ολαρχία (holarchy) αποτελεί ένα σύστημα ολονικών οντοτήτων, οργανωμένο σε ιεραρχική δομή, το οποίο συνεργάζεται με σκοπό την επίτευξη ορισμένων στόχων, με τις ολονικές οντότητες να συνδυάζουν τις ατομικές τους ικανότητες και γνώσεις. Οι ολονικές οντότητες μπορούν να ενσωματώνονται σε μία ολαρχία και ταυτόχρονα να διατηρούν την αυτονομία τους. Ταυτόχρονα, μπορούν να ανήκουν σε πολλαπλές ολαρχίες, ένα χαρακτηριστικό που απουσιάζει από τις κοινές ιεραρχικές δομές.

Η εφαρμογή της ολονικής προσέγγισης στον τομέα της παραγωγής υποκινήθηκε από την αδυναμία των υπάρχοντων συστημάτων παραγωγής να αντιμετωπίσουν την ταχεία εξέλιξη των προϊόντων και να διατηρήσουν ικανοποιητικά επίπεδα απόδοσης, δεδομένων μη φυσιολογικών συνθηκών εργασίας. Η έννοια των ολονικών οντοτήτων συνδέθηκε με τον τομέα της παραγωγής το 1990, ως ένα μέσο αντιμετώπισης των σχετικών προκλήσεων του 21ου αιώνα.

Οι ολονικές οντότητες ενός ολονικού συστήματος παραγωγής δρουν ως βοηθός του χειριστή του συστήματος: επιλέγουν αυτόνομα τις κατάλληλες ρυθμίσεις, δημιουργούν νέες στρατηγικές και χτίζουν τις δικές τους δομές. Εφαρμόζοντας ολονικές τακτικές σε συστήματα παραγωγής, εξασφαλίζεται σταθερότητα σε περιπτώσεις μη αναμενόμενων συμβάντων, προσαρμοστικότητα και ευελιξία σε αλλαγές, καθώς

και αποδοτική χρήση των διαθέσιμων πόρων [109].

Αν και οι παραπάνω προσεγγίσεις παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα, όλες χαρακτηρίζονται από ένα κοινό μειονέκτημα: περιορίζονται σε ένα μόνο εργαστήριο παραγωγής. Το μεγάλο πλήθος χώρων παραγωγής μίας κατασκευαστικής εταιρίας απαιτεί ενισχυμένα επίπεδα επεκτασιμότητας και απόδοσης.

2.4.2 Χρήση οντολογιών στη διαχείριση παραγωγής

Οι τεχνολογίες του Σημασιολογικού Ιστού έχουν εισέλθει σθεναρά στον τομέα της διαχείρισης παραγωγής: τεχνολογίες και συστήματα βασισμένα σε οντολογικά μοντέλα υιοθετούνται κατά κόρον από τις επιχειρήσεις του τομέα της παραγωγής με στόχο την εξάλειψη των πολυδιάστατων προβλημάτων που ανακύπτουν.

Με τον ανταγωνισμό να αυξάνεται διαρκώς, οι επιχειρήσεις βρίσκονται συνεχώς υπό πίεση. Η απαίτηση σχεδιασμού και ανάπτυξης καινοτόμων τεχνολογιών και προϊόντων γεννά την ανάγκη για ευφυή συστήματα, με τη βοήθεια των οποίων είναι δυνατή η αυτοματοποίηση μεγάλου μέρους της γραμμής παραγωγής. Με τον ορισμό ενός περιεκτικού μοντέλου έκφρασης, η γνώση που προέρχεται από τους εμπειρογνώμονες περνά στη διάθεση των μηχανών. Ταυτόχρονα, με την εφαρμογή κανόνων επαγωγικού συλλογισμού, είναι δυνατή η μείωση της ανθρώπινης παρέμβασης, γεγονός από το οποίο συνεπάγεται η μείωση του ανθρώπινου λάθους.

Ταυτόχρονα, ο ορισμός κοινών οντολογικών μοντέλων έκφρασης των εννοιών που είναι σχετικές με τον τομέα της παραγωγής, όπως είναι οι βασικοί για τον τομέα της παραγωγής όροι της διαδικασίας, του προϊόντος και του πόρου (ή του εξοπλισμού) [110] [111], διευκολύνει την επικοινωνία όλων των εμπλεκόμενων μερών σε μία γραμμή παραγωγής: από τους προμηθευτές, στους κατασκευαστές και τους τελικούς χρήστες.

Οι Martinez Lastra και Delamer [111] παρουσιάζουν μία αξιολογη μεθοδολογία σχεδιασμού οντολογιών σχετικών με τον τομέα της παραγωγής, η οποία έχει ως αποτέλεσμα μία ιεραρχία από οντολογικά μοντέλα. Στο ανώτερο επίπεδο της ιεραρχίας αυτής αναγνωρίζονται οι όροι που είναι κοινοί για το συγκεκριμένο τομέα, η Διαδικασία, το Προϊόν και ο Εξοπλισμός. Αποτυπώνοντας τις σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των προαναφερθέντων όρων, σχηματίζεται το ανώτερο οντολογικό μοντέλο στην ιεραρχία των οντολογιών παραγωγής. Στη συνέχεια, κάθε μία από τις έννοιες αυτές αναλύεται περαιτέρω και, έτσι, νέες έννοιες προστίθενται στην οντολογική ιεραρχία.

Η οντολογία της αρχιτεκτονικής ADACOR (ADaptive holonic COntrol aRchitecture for distributed manufacturing systems) [112] αποτελεί μία προσπάθεια αντιμετώπισης της ετερογένειας που χαρακτηρίζει τα μοντέλα αναπαράστασης δεδομένων των συστημάτων παραγωγής. Έχει σχεδιαστεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ορ-

γανισμού FIPA, ενώ βασίζεται ταυτόχρονα στο αρχιτεκτονικό παράδειγμα των Ολοκλήρων Συστημάτων Παραγωγής. Στόχος της οντολογίας αυτής είναι η ευέλικτη αντίδραση σε μη αναμενόμενα συμβάντα κατά τη διάρκεια μίας διαδικασίας παραγωγής. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της οντολογίας της ADACOR είναι ότι έχει σχεδιαστεί έχοντας ως βάση ένα σύνολο από αυτόνομα, συνεργατικά όλα (holons), με το κάθε ένα από αυτά να αναπαριστά ένα φυσικό πόρο (π.χ., μηχανικό εξοπλισμό και εργαλεία) ή λογικές οντότητες, όπως είναι οι παραγγελίες.

Η οντολογία MASON (MANufacturing's Semantics ONtology) [113] αποτελεί μία εναλλακτική του ανώτερου οντολογικού μοντέλου των Martinez Lastra και Delamer. Η *Οντότητα* (τεχνολογική ή διαχειριστική οντότητα, οντότητα κόστους), η *Δραστηριότητα* και ο *Πόρος* αποτελούν τις βασικές έννοιες της οντολογίας MASON. Το κύριο πλεονέκτημα μίας οντολογίας σαν και αυτή είναι ότι μπορεί να ενσωματωθεί αποτελεσματικά με άλλα οντολογικά μοντέλα του τομέα της παραγωγής, ευθυγραμμίζοντας τις κοινές έννοιες.

Αρκετές είναι οι οντολογίες παραγωγής που έχουν σχεδιαστεί στα πλαίσια συστημάτων βασισμένων σε πράκτορες λογισμικού. Κάποιες από αυτές περιορίζονται στο χώρο παραγωγής [114] [115], ενώ άλλες επεκτείνονται μοντελοποιώντας επίσης το στάδιο εφοδιασμού του χώρου παραγωγής με πρώτες ύλες και άλλα υλικά [116] [117].

Οι οντολογίες που παρουσιάστηκαν στην παρούσα ενότητα αποτελούν αξιόλογες προσπάθειες σχεδιασμού βάσεων γνώσης σχετικών με τον τομέα της παραγωγής. Παρέχουν μεθόδους έκφρασης των παραγωγικών διαδικασιών, βασισμένες σε ιεραρχικά μοντέλα οντολογιών και γενικευμένες οντολογίες. Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, παρουσιάζονται οντολογικά μοντέλα διαχείρισης παραγωγής, τα οποία έχουν σχεδιαστεί έτσι, ώστε να μπορούν να αξιοποιηθούν τόσο για τη μοντελοποίηση γενικευμένων διαδικασιών παραγωγής όσο και για την απεικόνιση εξειδικευμένων παραγωγικών διαδικασιών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η διαχείριση της παραγωγής εξαιρετικά εξειδικευμένων προϊόντων κατά τη διάρκεια της περιόδου εκκίνησης, η οποία διακόπτεται συχνά λόγω μη αναμενόμενων περιστατικών, όπως επίσης η διαχείριση της παραγωγής μικρής κλίμακας, η οποία δεν είναι ιδανική σε ό,τι αφορά την εκπαίδευση των υποκείμενων συστημάτων λόγω της μικρής της διάρκειας.

Κεφάλαιο 3

Αρχιτεκτονική ευφυούς συστήματος διαχείρισης βασισμένου σε Επιχειρησιακό Δίαυλο Υπηρεσιών

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζεται ένας ευφυής Επιχειρησιακός Δίαυλος Υπηρεσιών, ο οποίος υιοθετεί και επεκτείνει τη λειτουργικότητα ενός κοινού Επιχειρησιακού Διαύλου Υπηρεσιών. Στόχος του ευφυούς ESB είναι η ενσωμάτωση ετερογενών υπηρεσιών και συστημάτων οποιουδήποτε τομέα στα πλαίσια της συνεργασίας τους και της από κοινού επεξεργασίας των δεδομένων που παράγονται και διατηρούνται από τις υπηρεσίες και τα συστήματα αυτά. Μέσω της κατανομημένης αρχιτεκτονικής της πλατφόρμας είναι δυνατή η επικοινωνία ετερογενών υπηρεσιών με διαφανή τρόπο σε ένα δυναμικό και σύνθετο περιβάλλον, το οποίο συνδέεται άρρηκτα με καλώς ορισμένους στόχους.

3.1 Πρότυπο συστήματος

Η αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου της πλατφόρμας διαχωρίζεται νοητά σε τρία επίπεδα. Το κατώτατο επίπεδο, το επίπεδο υφιστάμενων συστημάτων σχηματίζεται από τις πηγές δεδομένων που τροφοδοτούν το σύστημα με πληροφορία. Οι πηγές αυτές αντιπροσωπεύουν εφαρμογές (διαδικτυακές, κινητών ή ενδυτών συσκευών), βάσεις γνώσης και συστήματα, τα οποία διαθέτουν την υποκείμενη πληροφορία με σκοπό την επεξεργασία της σε σύνολο. Το επίπεδο αυτό αποτελείται από ήδη υπάρχοντα συστήματα, η πληροφορία των οποίων είναι απαραίτητη για την επίτευξη ενός στόχου. Παρ' όλα αυτά, ο επαναπρογραμματισμός τους ώστε να υλοποιείται η απαι-

τούμενη λογική συνήθως είναι μη δυνατός ή μη αποδοτικός. Ως εκ τούτου, τα συστήματα αυτά αξιοποιούνται ως πηγές δεδομένων άλλων συστημάτων, τα οποία φέρουν την απαιτούμενη λογική.



Σχήμα 7: Η αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου του iESB

Το ανώτατο επίπεδο, το επίπεδο εφαρμογών και υπηρεσιών, αποτελείται από τους τελικούς χρήστες των δεδομένων, δηλαδή τα εργαλεία και τις υπηρεσίες που αξιοποιούν τα δεδομένα του συστήματος στα πλαίσια επίτευξης ενός στόχου. Τα συστατικά μέρη του επιπέδου αυτού υλοποιούν τη λογική που απουσιάζει από τα υφιστάμενα συστήματα, αξιοποιώντας τη συλλεγμένη πληροφορία στο σύνολό της. Το επίπεδο αυτό μπορεί να αποτελείται από υπηρεσίες, οι οποίες διαθέτουν τα αποτελέσματα της λειτουργίας τους σε άλλα συστήματα, και από εφαρμογές με γραφικό περιβάλλον που λειτουργούν ως εργαλεία για τους τελικούς χρήστες του συστήματος.

Η πληροφορία που βρίσκεται διάσπαρτη στα ενδεχομένως πολυάριθμα υφιστάμενα συστήματα του κατώτατου επιπέδου συχνά φέρει διαφορετική μορφή ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος. Ως εκ τούτου, η από κοινού επεξεργασία της πληροφορίας απαιτεί μία υποδομή, η οποία έχει τη δυνατότητα ομογενοποίησης των ετερογενών δεδομένων. Την ανάγκη αυτή καλύπτουν οι υπηρεσίες του μεσαίου επιπέδου, του επιπέδου εφαρμογής λογικής και διαχείρισης, το οποίο δρα σα γέφυρα ανάμεσα στα δύο ακραία επίπεδα. Στα πλαίσια της ομογενοποίησης των δεδομένων, ο iESB αξιοποιεί τη δύναμη των οντολογιών: τα ετερογενή, διάσπαρτα δεδομένα εκφράζονται σε μία διάλεκτο κοινή για όλα τα συστατικά στοιχεία της πλατφόρμας. Σε επόμενο βήμα, οι οντολογικές υπηρεσίες του iESB αναλαμβάνουν την επεξεργασία των οντολογικών πλέον δεδομένων και τον εμπλουτισμό τους μέσω της εφαρμογής σημασιολογικών κανόνων. Ταυτόχρονα, συμμετέχουν στη διάδοση και τη διαχείριση των συμβάντων που παράγονται από τις υπηρεσίες των τριών επιπέδων εκμεταλλεύόμενες τα υποκείμενα οντολογικά μοντέλα. Τέλος, στο επίπεδο αυτό συγκαταλέγονται οι διαχειριστικές υπηρεσίες της πλατφόρμας.

Η αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου του iESB απεικονίζεται στο Σχήμα 7.

3.1.1 Πρωτόκολλο επικοινωνίας υπηρεσιών

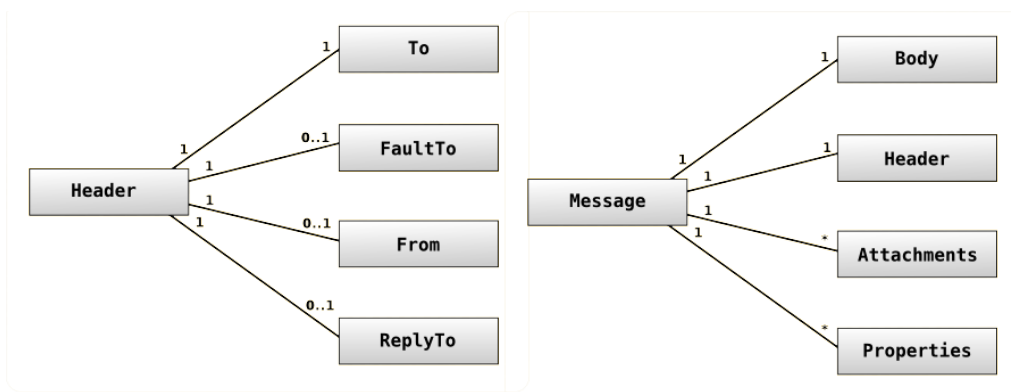
Η επικοινωνία των υπηρεσιών της πλατφόρμας iESB λαμβάνει χώρα κάνοντας χρήση ενός ειδικά διαμορφωμένου πρωτοκόλλου επικοινωνίας. Η δομή των ανταλλασσόμενων μηνυμάτων συμμορφώνεται με τις προδιαγραφές του JBossESB και του FIPA [118], με αφορμή το γεγονός ότι το iESB έχει αναπτυχθεί ακολουθώντας τις προδιαγραφές του JBossESB αλλά και ότι τα κυριότερα λειτουργικά εργαλεία της πλατφόρμας έχουν αναπτυχθεί με τη χρήση τεχνολογιών βασισμένων στους πρώτους λογισμικού ακολουθώντας το πρότυπο FIPA [108].

Ένα αίτημα αποστέλλεται από μία υπηρεσία σε μία άλλη με τη μορφή ενός μηνύματος μέσω της πλατφόρμας ESB. Αντίστοιχα, μία υπηρεσία απαντά σε ένα αίτημα που έχει λάβει από μία άλλη υπηρεσία δημιουργώντας ένα μήνυμα της ίδιας δομής με αυτή του αρχικού μηνύματος. Διατηρώντας μία κοινή δομή στα ανταλλασσόμενα μηνύματα, διασφαλίζεται η συμμόρφωση του καθορισμένου πρωτοκόλλου επικοινωνίας με τις οδηγίες των προτύπων FIPA [118] [119].

Η δομή του μηνύματος κατά το πρότυπο FIPA Σύμφωνα με το πρωτόκολλο FIPA, τα συστατικά μέρη ενός μηνύματος είναι τα εξής:

- **Performative** (Τελεστής δήλωσης): το πεδίο αυτό ορίζει το είδος του μηνύματος με βάση τους κανόνες της θεωρίας γλωσσικής πράξης (speech act theory). Η τιμή του πεδίου αυτού καθορίζεται από τον αποστολέα του μηνύματος και παρέχει πληροφορία σχετική με τις πράξεις, στις οποίες πρέπει να προβεί ο αποστολέας. Αντίστοιχα, οι τελεστές δήλωσης του μηνύματος απάντησης ενημερώνουν τον αρχικό αποστολέα εάν το αίτημα έγινε αποδεκτό ή όχι, εάν η επεξεργασία του ήταν επιτυχής ή μη επιτυχής, κ.λπ. Ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα των τιμών που μπορεί να λάβει το πεδίο αυτό:
 - αίτημα: ο πράκτορας A ζητά από τον πράκτορα B να πραγματοποιήσει μία εργασία
 - * agree (συμφωνία): ο πράκτορας B συμφωνεί να εκτελέσει την εργασία για τον πράκτορα A,
 - * refuse (άρνηση): ο πράκτορας B αρνείται να εκτελέσει την εργασία για τον πράκτορα A,
 - * inform–done (ενημέρωση επιτυχίας): ο πράκτορας B ενημερώνει τον πράκτορα A ότι η επεξεργασία του αιτήματος ήταν επιτυχής,
 - * inform–result (κοινοποίηση αποτελέσματος): ο πράκτορας B ενημερώνει τον πράκτορα A ότι η επεξεργασία του αιτήματος ήταν επιτυχής και παρέχει τα αποτελέσματα του αιτήματος,

- * failure (αποτυχία): ο πράκτορας B ενημερώνει τον πράκτορα A ότι η επεξεργασία του αιτήματος δεν ήταν επιτυχής,
- * cancel (ακύρωση): ο πράκτορας A ανακαλεί το αίτημά του.
- **Sender & Receiver** (Αποστολέας & Παραλήπτης): τα πεδία αυτά διατηρούν τα μοναδικά αναγνωριστικά του αποστολέα και του παραλήπτη του μηνύματος, αντίστοιχα.
- **Reply-To** (Απάντηση σε): η τιμή του πεδίου αυτού αναπαριστά τον παραλήπτη ενός μηνύματος απάντησης.
- **Content** (Περιεχόμενο): το περιεχόμενο περιέχει την πραγματική πληροφορία του μηνύματος.
- **Language** (Γλώσσα): το πεδίο αυτό περιγράφει τη γλώσσα που χρησιμοποιείται για την έκφραση του περιεχομένου του μηνύματος.
- **Encoding** (Κωδικοποίηση): εκφράζει την κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται στο περιεχόμενο του μηνύματος.
- **Ontology** (Οντολογία): το πεδίο αυτό ορίζει την οντολογία η οποία χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση του περιεχομένου του μηνύματος.
- **Protocol** (Πρωτόκολλο): δηλώνει το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται.
- **Conversation-id** (Αναγνωριστικό Συνομιλίας): παρέχει έναν τρόπο διαχωρισμού των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται ταυτόχρονα μεταξύ υπηρεσιών.
- **Reply-With, In-Reply-To** (Απάντηση με, Σε απάντηση): οι παράμετροι αυτές χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις κατά τις οποίες πολλαπλοί διάλογοι λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατή η αναφορά σε προγενέστερες απαντήσεις ή δράσεις.
- **Reply-By** (Απάντηση έως): το πεδίο αυτό αναπαριστά τη χρονική στιγμή μέχρι την οποία ο αποστολέας επιθυμεί να λάβει μία απάντηση από τον παραλήπτη.



Σχήμα 8: Η δομή του μηνύματος και της επικεφαλίδας αυτού κατά τις προδιαγραφές του JBossESB

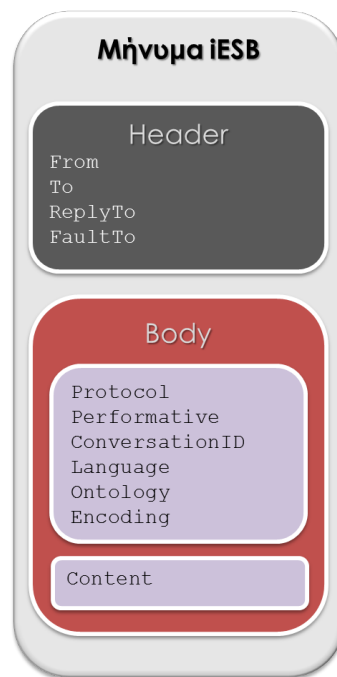
Η δομή του μηνύματος της πλατφόρμας JBossESB Το Σχήμα 8 παρουσιάζει τη δομή του μηνύματος που ανταλλάσσεται μεταξύ υπηρεσιών μίας πλατφόρμας που

βασίζεται στο JBossESB, όπως επίσης και τη δομή της επικεφαλίδας ενός τέτοιου μηνύματος [120]. Όπως φαίνεται, ένα μήνυμα JBossESB αποτελείται από τα εξής πεδία:

- **Header** (Επικεφαλίδα): αποτελείται από γενικές λειτουργικές πληροφορίες σχετικές με το μήνυμα. Η επικεφαλίδα δημιουργείται αυτόματα με τη δημιουργία ενός μηνύματος. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 8, τα περιεχόμενα της Επικεφαλίδας είναι τα ακόλουθα:
 - **To** (Προς): αναφέρεται στον προορισμό του μηνύματος.
 - **FaultTo** (Προς-Σφάλμα): προσδιορίζει τον παραλήπτη του μηνύματος σε περίπτωση ύπαρξης σφαλμάτων στο αρχικό μήνυμα.
 - **From** (Από): περιέχει το μοναδικό αναγνωριστικό του αποστολέα του μηνύματος.
 - **ReplyTo** (Απάντηση Σε): εάν αναμένεται απάντηση στο μήνυμα, το πεδίο αυτό προσδιορίζει τον παραλήπτη της αναμενόμενης απάντησης.
- **Body** (Σώμα): περιέχει τα πραγματικά περιεχόμενα του μηνύματος. Το σώμα, το οποίο καλείται επίσης «ωφέλιμο φορτίο» (payload), μπορεί να αναπαρασταθεί από διάφορους τύπους δεδομένων.
- **Attachments** (Επισυναπτόμενα Αρχεία): το πεδίο αυτό περιέχει επιπρόσθετα αρχεία που συνοδεύουν το μήνυμα.
- **Properties** (Ιδιότητες): το πεδίο των Ιδιοτήτων χρησιμοποιείται για τον ορισμό των μεταδεδομένων του μηνύματος.

Η δομή του μηνύματος της ευφυούς πλατφόρμας iESB Δεδομένου ότι ο iESB βασίζεται στην τεχνολογία JBossESB, η δομή του μηνύματος που ανταλλάσσεται μεταξύ των υπηρεσιών της προτεινόμενης ευφυούς πλατφόρμας αποτελεί προϊόν συνδυασμού της δομής του μηνύματος κατά FIPA και της δομής του μηνύματος κατά JBossESB.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 9, οι κύριες συνιστώσες του μηνύματος του iESB είναι δύο. Η *Επικεφαλίδα* (Header) αποτελείται από τα αντίστοιχα πεδία της επικεφαλίδας του μηνύματος κατά JBossESB. Μέσω της επικεφαλίδας, οι απαραίτητες πληροφορίες δρομολόγησης είναι διαθέσιμες. Το *Σώμα* (Body) του μηνύματος δομείται έτσι, ώστε να περιέχει πληροφορίες της επικεφαλίδας του μηνύματος κατά FIPA, οι οποίες δεν περιλαμβάνονται στην επικεφαλίδα του μηνύματος κατά JBossESB. Ως εκ τούτου, ορίζονται τα πεδία του *Πρωτοκόλλου* (Protocol), του *Τελεστή Δήλωσης* (Performative), του *Αναγνωριστικού Συνομιλίας* (Conversation-ID), της *Γλώσσας* (Language) και της *Οντολογίας* (Ontology). Επιπρόσθετα, το πεδίο του *Περιεχομένου* (Content) παρέχει την πραγματική πληροφορία που ανταλλάσσεται μεταξύ των υπηρεσιών της πλατφόρμας. Τέλος, η κωδικοποίηση που ισχύει εξ ορισμού, εάν δηλαδή δεν έχει οριστεί από το δημιουργό του μηνύματος, είναι αυτή του UTF-8. Διαφορετικά, κατά τη δημιουργία του αρχικού μηνύματος, θα πρέπει να γίνεται χρήση του πεδίου της *Κωδικοποίησης* (Encoding).



Σχήμα 9: Η δομή του μηνύματος του iESB

Μέθοδος περιγραφής των υπηρεσιών Η WSDL [20] χρησιμοποιείται για την περιγραφή της Διεπαφής Προγραμματισμού Εφαρμογών των υπηρεσιών του iESB, παρά το γεγονός ότι οι υπηρεσίες της πλατφόρμας αυτής αναπτύσσονται ως υπηρεσίες JBossESB και όχι ως υπηρεσίες Ιστού. Στην περιγραφή μίας υπηρεσίας του συστήματος κάνοντας χρήση της γλώσσας WSDL ορίζεται το σύνολο των λειτουργιών που είναι διαθέσιμες από την υπηρεσία αυτή. Κάθε λειτουργία συσχετίζεται με ένα όνομα (όνομα λειτουργίας), όπως επίσης και με τους κατάλληλους τύπους δεδομένων εισόδου και εξόδου. Το Σχήμα 10 παρουσιάζει τμήμα της περιγραφής της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων σε WSDL, η οποία περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια του κεφαλαίου. Στο παράδειγμα του Σχήματος 10, ορίζονται δύο τύποι δεδομένων: ο τύπος δεδομένων `GetWorkOrdersInputType` αντιπροσωπεύει την είσοδο μίας από τις λειτουργίες της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων, ενώ ο τύπος δεδομένων `GetWorkOrdersOutputType` αντιστοιχεί στην έξοδο της ίδιας λειτουργίας.

Το στοιχείο `message` του ίδιου παραδείγματος περιγράφει την πληροφορία που ανταλλάσσεται ανάμεσα σε δύο υπηρεσίες Ιστού. Σε περίπτωση υιοθέτησης της μεθοδολογίας ανταλλαγής μηνυμάτων με αιτήματα και απαντήσεις (`request/reply`), μία υπηρεσία Ιστού συνοδεύεται από δύο είδη μηνυμάτων: (α) ένα μήνυμα εισόδου, το οποίο περιγράφει τις παραμέτρους που απαιτεί η υπηρεσία για να πραγματοποιήσει μία λειτουργία και (β) ένα μήνυμα εξόδου, το οποίο περιγράφει τα δεδομένα που επιστρέφονται από την υπηρεσία. Αντίστοιχα, η Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων παρέχει δύο είδη μηνυμάτων στην περιγραφή της. Συγκεκριμένα, το μήνυμα `GetWorkOrdersRequest` διαδραματίζει το ρόλο του μηνύματος εισόδου και δέχεται σαν

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<wsdl:definitions xmlns:soap="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/soap/" xmlns:tns="http://www.example.org/OntologyService/"
  xmlns:wSDL="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" name="OntologyService"
  targetNamespace="http://www.example.org/OntologyService/">
  <wsdl:types>
    <xsd:schema targetNamespace="http://www.example.org/OntologyService/">
      <xsd:element name="GetWorkOrdersInputType">
        <xsd:complexType>
          <xsd:sequence>
            <xsd:element name="fuselageId" type="xsd:string"/>
            <xsd:element name="stationId" type="xsd:string"/>
          </xsd:sequence>
        </xsd:complexType>
      </xsd:element>
      <xsd:element name="GetWorkOrdersOutputType">
        <xsd:complexType>
          <xsd:sequence>
            <xsd:element name="out" type="xsd:string"/>
          </xsd:sequence>
        </xsd:complexType>
      </xsd:element>
    </xsd:schema>
  </wsdl:types>
  <wsdl:message name="GetWorkOrdersRequest">
    <wsdl:part element="tns:GetWorkOrdersInputType" name="parameters"/>
  </wsdl:message>
  <wsdl:message name="GetWorkOrdersResponse">
    <wsdl:part element="tns:GetWorkOrdersOutputType" name="parameters"/>
  </wsdl:message>
  <wsdl:portType name="OntologyService">
    <wsdl:operation name="GetWorkOrders">
      <wsdl:input message="tns:GetWorkOrdersRequest"/>
      <wsdl:output message="tns:GetWorkOrdersResponse"/>
    </wsdl:operation>
  </wsdl:portType>
</wsdl:definitions>
```

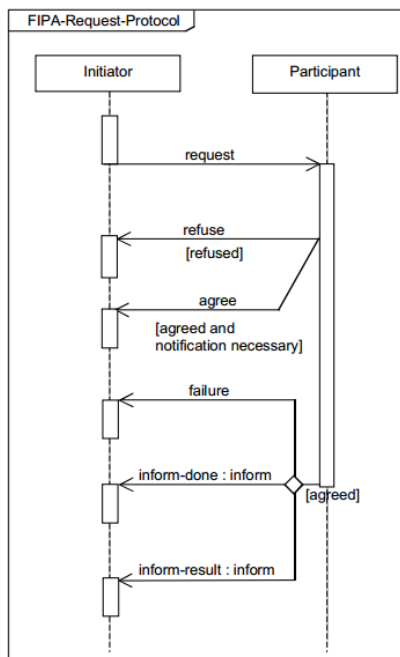
Σχήμα 10: Η WSDL περιγραφή της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων

είσοδο μία παράμετρο του τύπου `GetWorkOrdersInputType`, ενώ το μήνυμα `GetWorkOrdersResponse` αντιστοιχεί σε ένα μήνυμα εξόδου και επιστρέφει μία τιμή του τύπου `GetWorkOrdersOutputType`. Οι παράμετροι και οι επιστρεφόμενοι τύποι δεδομένων ενός μηνύματος ορίζονται στο στοιχείο `part` της περιγραφής WSDL. Τέλος, ορίζεται η λειτουργία `GetWorkOrders`, η οποία συνενώνει τα προαναφερθέντα μηνύματα στα πλαίσια της ανταλλαγής μηνυμάτων με αιτήματα και απαντήσεις.

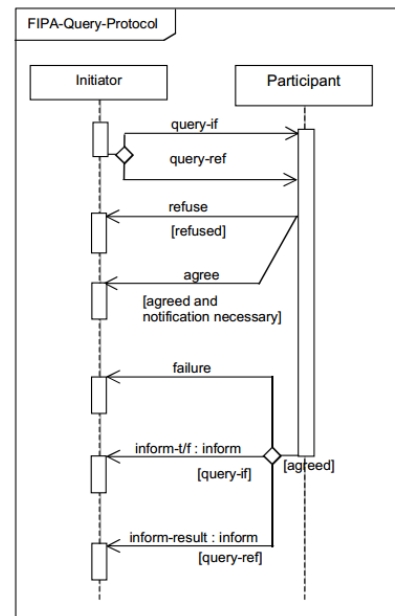
3.1.2 Πρωτόκολλα διαπραγμάτευσης

Τα πρωτόκολλα διαπραγμάτευσης χρησιμοποιούνται για την προτυποποίηση των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στις υπηρεσίες του iESB. Συγκεκριμένα, τα πρωτόκολλα αυτά απλοποιούν την αντιμετώπιση πολύπλοκων διαπραγματεύσεων ανάμεσα σε εργαλεία και υπηρεσίες, ιδιαίτερα παρουσία ασύγχρονων μηνυμάτων. Επιπλέον, επιτρέπουν την πραγματοποίηση πολλαπλών παράλληλων συνομιλιών μεταξύ υπηρεσιών και εργαλείων. Στην προτεινόμενη πλατφόρμα, οι υπηρεσίες και τα εργαλεία ανταλλάσσουν μηνύματα μεταξύ τους με τη μορφή αιτημάτων και απαντήσεων. Έτσι, η εκκίνηση μίας συνομιλίας πραγματοποιείται με την αποστολή ενός αιτήματος για την ανάκτηση δεδομένων ή για μία εργασία από μία υπηρεσία ή ένα εργαλείο. Στη συνέχεια, αναμένεται μία απάντηση στο προαναφερθέν αίτημα ή μία ενημέρωση ότι το αίτημα αυτό δεν έγινε δεκτό.

Η καθορισμένη δομή μηνύματος επιτρέπει την επικοινωνία υπηρεσιών με τη μορφή αιτημάτων/απαντήσεων, όπως ορίζουν τα πρωτόκολλα Αιτημάτων Αλληλε-



Σχήμα 11: Το πρωτόκολλο Αιτημάτων Αλληλεπίδρασης FIPA [4]



Σχήμα 12: Το πρωτόκολλο Ερωτημάτων Αλληλεπίδρασης FIPA [5]

πίδρασης FIPA (FIPA Request Interaction Protocol) [4] και Ερωτημάτων Αλληλεπίδρασης FIPA (FIPA Query Interaction Protocol) [5]. Τα πρωτόκολλα αυτά παρέχουν μία καλώς ορισμένη ακολουθία μηνυμάτων μεταξύ ενός αιτούντα και ενός αποδέκτη με βάση τη θεωρία γλωσσικής πράξης.

Το Σχήμα 11 παρουσιάζει ένα παράδειγμα του πρωτοκόλλου Αιτημάτων Αλληλεπίδρασης, όπου ένας πράκτορας στέλνει ένα αίτημα σε έναν άλλο πράκτορα. Ο τελευταίος πρέπει να απαντήσει στον πράκτορα που εκκίνησε την επικοινωνία με μία ειδοποίηση σχετική με την απόφασή του να αποδεχτεί ή να απορρίψει το αίτημα. Εν συνεχεία, ο παραλήπτης του αιτήματος πρέπει να στείλει ένα μήνυμα στον αποστολέα, ενημερώνοντάς τον για τα αποτελέσματα της ενέργειας που πραγματοποίησε.

Στο Σχήμα 12, απεικονίζεται ένα παράδειγμα του πρωτοκόλλου Ερωτημάτων Αλληλεπίδρασης, όπου ένας πράκτορας ζητά από έναν άλλο πράκτορα να πραγματοποιήσει μία ενέργεια ενημέρωσης (`inform`), χρησιμοποιώντας έναν από τους δύο σχετικούς τελεστές δήλωσης `query-if` ή `query--ref`. Ο τελεστής δήλωσης `query--if` χρησιμοποιείται όταν ένα πράκτορας επιθυμεί να πραγματοποιήσει ένα αίτημα ώστε να ενημερωθεί εάν μία πρόταση είναι αληθής ή ψευδής, ενώ ο τελεστής δήλωσης `query--ref` χρησιμοποιείται όταν ένας πράκτορας επιθυμεί να στείλει ένα αίτημα για να λάβει συγκεκριμένα αντικείμενα από έναν άλλο πράκτορα. Ο πράκτορας-παραλήπτης λαμβάνει και επεξεργάζεται το αίτημα και αποφασίζει εάν επιθυμεί να το αποδεχτεί ή να το απορρίψει. Στη συνέχεια, ενημερώνει τον πράκτορα-αποστολέα

για την απόφασή του.

Αντίστοιχα, ένα εργαλείο ή μία υπηρεσία της προτεινόμενης ευφυούς πλατφόρμας μπορεί να αλληλεπιδράσει με ένα άλλο τμήμα της πλατφόρμας αυτής, στέλνοντας ένα αρχικό αίτημα για τις λειτουργίες που προσφέρει, οι οποίες δηλώνονται στην περιγραφή του σε WSDL. Ο παραλήπτης του μηνύματος πρέπει να απαντήσει στον αποστολέα, παρέχοντας την περιγραφή των υπηρεσιών του σε WSDL. Στη συνέχεια, η υπηρεσία ή το εργαλείο, το οποίο εκκίνησε τη συνομιλία, πρέπει να διαμορφώσει το αίτημά του με βάση την WSDL που έλαβε και να το στείλει στον παραλήπτη. Τέλος, ο παραλήπτης πρέπει να ενημερώσει τον αποστολέα για τα αποτελέσματα της επεξεργασίας του αιτήματος. Αν το αίτημα απέτυχε ή δεν έγινε δεκτό, ο παραλήπτης του μηνύματος πρέπει να στείλει στον αποστολέα ένα μήνυμα αποτυχίας ή απόρριψης, αντίστοιχα.

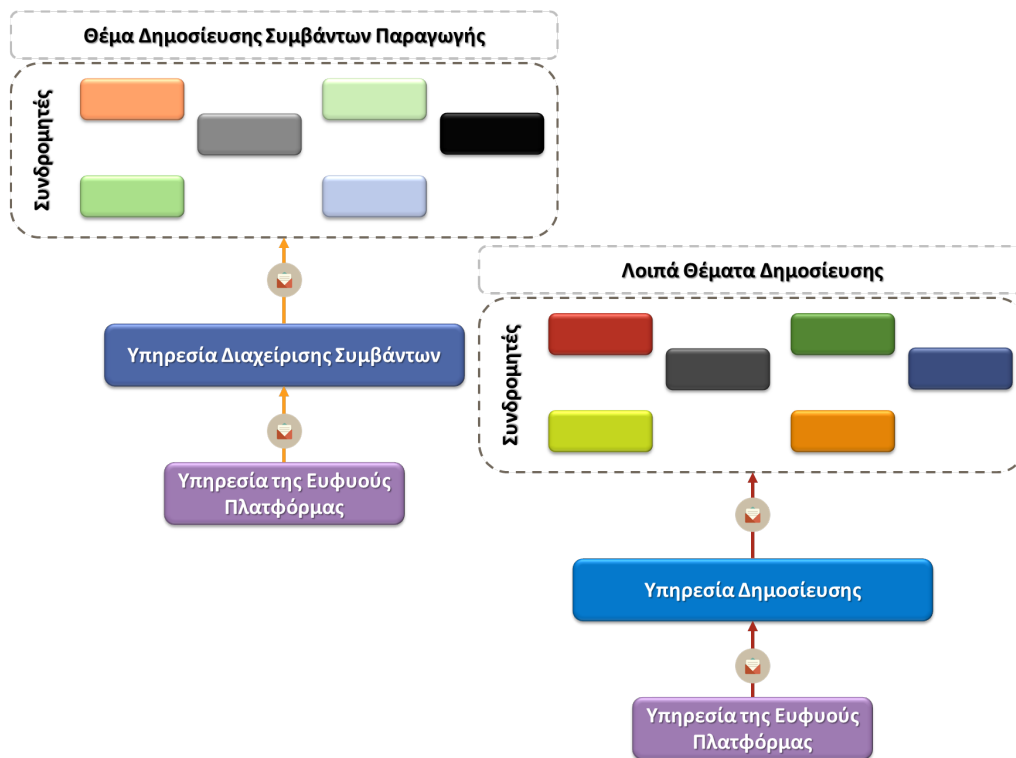
Πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε εργαλείο και κάθε υπηρεσία της ευφυούς πλατφόρμας μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε μορφή επικοινωνίας για εσωτερικές συνομιλίες. Σε ό,τι αφορά, όμως, συνομιλίες με άλλα εργαλεία ή άλλες υπηρεσίες, πρέπει να ακολουθεί τα καθορισμένα πρωτόκολλα και την προαναφερθείσα δομή μηνύματος.

3.1.3 Επικοινωνία βασισμένη σε Δημοσίευση/Συνδρομή

Η προτεινόμενη ευφυής πλατφόρμα παρέχει τα απαραίτητα μέσα επικοινωνίας με το μηχανισμό Δημοσίευσης/Συνδρομής. Με τον τρόπο αυτό, ένα μήνυμα μπορεί να διανεμηθεί από μία υπηρεσία (Εκδίδουσα Οντότητα – Publisher) σε ένα σύνολο υπηρεσιών (Συνδρομητές – Subscribers). Ο μηχανισμός Δημοσίευσης/Συνδρομής της πλατφόρμας έχει αναπτυχθεί με βάση τις προδιαγραφές των Θεμάτων (Topics) Υπηρεσίας Μηνυμάτων της Java (Java Messaging Service – JMS) [121].

Με σκοπό την απλούστευσή της, η διαδικασία δημοσίευσης πραγματοποιείται μέσω δύο συγκεκριμένων υπηρεσιών της πλατφόρμας και εξαρτάται κάθε φορά από το είδος της πληροφορίας που φέρει το μήνυμα. Συγκεκριμένα, η Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων Παραγωγής (Events Manager Service) αναλαμβάνει τη δημοσίευση μηνυμάτων που περιγράφουν αναμενόμενα ή μη αναμενόμενα συμβάντα, τα οποία παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια μίας διαδικασίας παραγωγής. Για αυτόν τον σκοπό, διατίθεται ένα αφοσιωμένο θέμα, το Θέμα Δημοσίευσης Συμβάντων Παραγωγής, το οποίο μπορεί να παρακολουθεί κάθε ενδιαφερόμενη οντότητα ώστε να λαμβάνει και να επεξεργάζεται τη σχετική πληροφορία. Σε κάθε άλλη περίπτωση, τα μηνύματα δημοσιεύονται στο κατάλληλο θέμα μέσω της Υπηρεσίας Δημοσίευσης.

Στην περίπτωση σημείωσης ενός συμβάντος παραγωγής, η Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων πρέπει να επεξεργαστεί το μήνυμα που έχει λάβει, να ελέγξει ότι τα στιγμιότυπα των οντοτήτων που εμπλέκονται στο συμβάν είναι υπαρκτά και όχι



Σχήμα 13: Ο μηχανισμός Δημοσίευσης/Συνδρομής της πλατφόρμας iESB

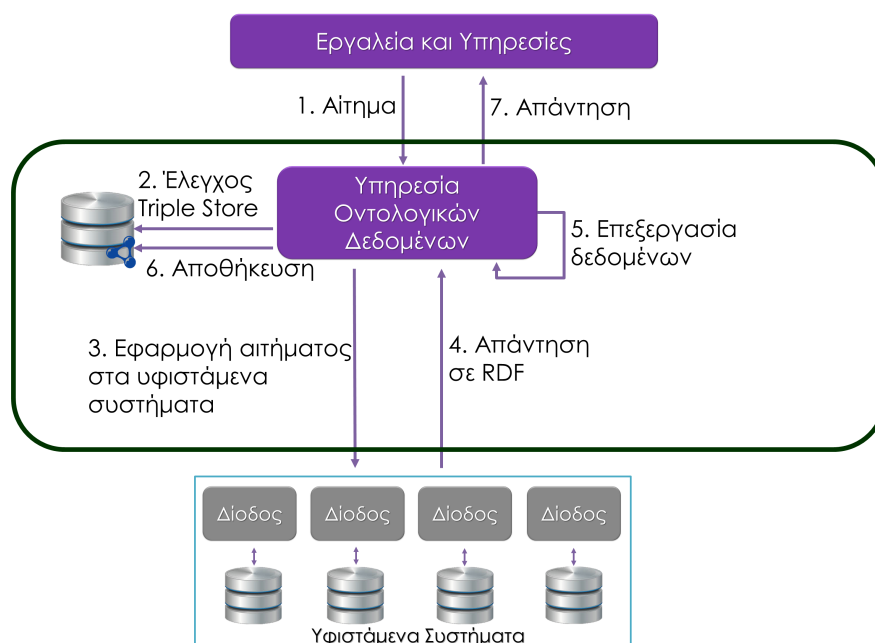
παρωχημένα και να διαπιστώσει, σε συνεργασία με την Υπηρεσία Ασφάλειας, εάν ο αποστολέας του μηνύματος έχει τα απαραίτητα δικαιώματα δημοσίευσης του συγκεκριμένου τύπου συμβάντος. Εκτός αυτού, η υπηρεσία αυτή ενδέχεται να κληθεί να εφαρμόσει τη δική της εσωτερική λογική λαμβάνοντας σαν δεδομένο την πληροφορία που έχει λάβει, ώστε να δημιουργήσει και να δημοσιεύσει νέα συμβάντα σχετικά με αυτό ή με αυτά που περιέχονταν στο αρχικό μήνυμα. Τέλος, η Υπηρεσία Δημοσίευσης Συμβάντων Παραγωγής θα πρέπει να αποθηκεύσει το ληφθέν συμβάν στο Αποθετήριο Τριπλετών, σε περίπτωση μελλοντικής ανάγκης αναφοράς σε αυτό. Ο μηχανισμός Δημοσίευσης/Συνδρομής παρουσιάζεται στο Σχήμα 13.

3.2 Σημασιολογικές υπηρεσίες για την ενσωμάτωση πηγών δεδομένων

Η ευφυΐα, κατά κύριο λόγο, βασίζεται στη γνώση: η γνώση, στα σύγχρονα υπολογιστικά συστήματα, αναπαρίσταται με τη μορφή οντολογιών. Τα εργαλεία της ευφυούς πλατφόρμας iESB αξιοποιούν τη γνώση αυτή ώστε να επιτύχουν, μεμονωμένα ή συνεργατικά, το στόχο που έχει τεθεί στα πλαίσια της πλατφόρμας. Με τον τρόπο αυτό, οι τελικοί χρήστες των εργαλείων και, κατ' επέκταση, του iESB, αποκτούν πρόσβαση στη βάση γνώσης με διαφανή τρόπο. Η βάση γνώσης του iESB διατηρείται

από την Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων. Η γνώση αυτή καθαυτή αναπαρίσταται σε μορφή RDF και αποθηκεύεται σε ένα Αποθετήριο Τριπλετών άμεσα διαχειρίσιμο από την Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων και από την Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων. Ανάλογα με τις ανάγκες του στόχου που έχει τεθεί και του εκάστοτε πεδίου εφαρμογής της πλατφόρμας, τα δεδομένα μπορούν να οργανώνονται γύρω από μία κεντρική έννοια. Με αυτόν τον τρόπο, το Αποθετήριο Τριπλετών εξελίσσεται σε Αποθετηρίων Τετράδων.

Η Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων αποτελεί μία υπηρεσία του iESB η οποία ευθύνεται για την πρόσβαση των λοιπών υπηρεσιών και των εργαλείων της πλατφόρμας στα οντολογικά δεδομένα. Διατηρεί τα σχήματα των οντολογιών που έχουν αναπτυχθεί στα πλαίσια της πλατφόρμας, αλλά και τα δεδομένα που διαμορφώνονται με βάση τις οντολογίες αυτές. Τα εργαλεία και οι υπηρεσίες της πλατφόρμας εφαρμόζουν ερωτήματα στη βάση γνώσης της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων είτε αξιοποιώντας το προσφερόμενο API (Application Programming Interface) είτε εκφράζοντας το αίτημά τους με τη μορφή ενός ερωτήματος SPARQL. Για λόγους αποδοτικότητας, το API της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων διαμορφώνεται με βάση τις ανάγκες του πεδίου εφαρμογής. Ταυτόχρονα, η πρόσβαση στην πληροφορία, είτε για λόγους ανάγνωσης είτε για λόγους εγγραφής, είναι επίσης δυνατή μέσω ερωτημάτων SPARQL επιτρέποντας έτσι στα εργαλεία και στις υπηρεσίες της ευφυούς πλατφόρμας να διατυπώσουν πιο σύνθετα ερωτήματα.



Σχήμα 14: Η αλληλεπίδραση της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων με τις υπηρεσίες και τα εργαλεία του iESB στο πλαίσιο ενός αιτήματος ανάγνωσης

Στα πλαίσια ενός αιτήματος ανάκτησης δεδομένων, η Υπηρεσία Οντολογι-

κών Δεδομένων ελέγχει αρχικά το Αποθετήριο Τριπλετών ώστε να εξακριβώσει τη διαθεσιμότητα της απαιτούμενης πληροφορίας. Εάν η εφαρμογή του αντίστοιχου ερωτήματος οδηγήσει στην ανάκτηση οντολογικών δεδομένων, τότε η επικοινωνία με τα υφιστάμενα συστήματα του κατώτατου επιπέδου αποφεύγεται. Σε αντίθετη περίπτωση, η Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων πρέπει να επικοινωνήσει με τις υπηρεσίες του επιπέδου των υφιστάμενων συστημάτων ώστε να λάβει πρόσβαση στη ζητούμενη πληροφορία. Στη συνέχεια και για να είναι δυνατή η συλλογική επεξεργασία των δεδομένων, η ανακτηθείσα πληροφορία πρέπει να ομογενοποιηθεί μέσω της αναπαράστασής της σε οντολογική μορφή. Τα ανακύπτοντα οντολογικά δεδομένα αποθηκεύονται στο Αποθετήριο Τριπλετών για μελλοντική χρήση. Τελικά, η υπηρεσία δημιουργεί το κατάλληλο μήνυμα απάντησης και το επιστρέφει στο εργαλείο ή την υπηρεσία που πραγματοποίησε το αίτημα. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 14. Αντίστοιχα, όταν η Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων δέχεται ένα αίτημα αποθήκευσης δεδομένων, ενεργοποιεί τους κατάλληλους μηχανισμούς επεξεργασίας του οντολογικού περιεχομένου του αιτήματος αυτού με βάση το είδος του. Η επεξεργασία των δεδομένων συχνά περιλαμβάνει την παραγωγή νέων δεδομένων και ενδέχεται να οδηγήσει στη δημιουργία νέων συμβάντων παραγωγής.

Η Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων εξυπηρετεί τα εργαλεία και τις υπηρεσίες του iESB στα πλαίσια επεξεργασίας και δημοσίευσης συμβάντων παραγωγής. Έτσι, η υπηρεσία αυτή δέχεται αιτήματα δημοσίευσης συμβάντων παραγωγής, αφενός από τα εργαλεία της πλατφόρμας και αφετέρου από την Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων. Η Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων αντιδρά σε κάθε τέτοιο συμβάν με διαφορετικό τρόπο. Ο τρόπος αυτός καθορίζεται από το σημασιολογικό τύπο του συμβάντος, ο οποίος δηλώνεται στην οντολογία Συμβάντων που έχει οριστεί για ένα συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογής του συστήματος.

Κάθε συμβάν που καταφθάνει στην Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων, αφού υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία, αποθηκεύεται στο Αποθετήριο Τριπλετών για μελλοντική χρήση. Ταυτόχρονα, δημοσιεύεται στο κατάλληλο θέμα (topic), το οποίο ανακτάται μέσω ενός ευρετηρίου. Το ευρετήριο αυτό διατηρείται από την Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων και περιέχει αντιστοιχίσεις τύπων συμβάντων και θεμάτων δημοσίευσης. Μέσω του θέματος αυτού, κάθε εγγεγραμμένη υπηρεσία μπορεί να ενημερωθεί για τα σχετικά συμβάντα, να εξάγει τη σημασιολογική περιγραφή τους και να τα επεξεργαστεί περαιτέρω ώστε να εξάγει τα δικά της συμπεράσματα.

Συγκεφαλαιώνοντας, η Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων αποτελεί το σημείο πρόσβασης των υπηρεσιών και των εργαλείων του iESB στα οντολογικά δεδομένα. Αποτελεί μέσο διασφάλισης της ομοιογένειας των δεδομένων και διαφανούς πρόσβασης στο σύνολο αυτών. Ταυτόχρονα, η Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων διασφαλίζει την έγκαιρη διάδοση των συμβάντων παραγωγής, καθιστώντας δυνατή την άμεση αντίδραση σε αυτά. Με τον τρόπο αυτό, η επέκταση των συμβάντων αυτών σε άλλες διαδικασίες παραγωγής αποφεύγεται, διατηρώντας το επίπεδο της παρα-

γωγής στο βέλτιστο δυνατό. Η αξιοποίηση ενός Αποθετηρίου Τριπλετών, το οποίο διατηρεί τόσο τα σχήματα των οντολογιών όσο και τα αντίστοιχα δεδομένα όχι σε πρωτογενή αλλά σε σημασιολογικά εμπλουτισμένη μορφή, αποτελεί ένα σπουδαίο πλεονέκτημα για τις υπηρεσίες και τα εργαλεία της ευφυούς πλατφόρμας και παρέχει τα θεμέλια ανάπτυξης και εφαρμογής μηχανισμών επαγωγικού συλλογισμού.

Κεφάλαιο 4

Εφαρμογή αρχιτεκτονικής σε συνεργατικά περιβάλλοντα διαχείρισης παραγωγής

Οι τρέχουσες τάσεις στον κατασκευαστικό τομέα υποδηλώνουν ότι η ανάπτυξη ευφύων συστημάτων διαχείρισης πόρων και παραγωγής, τα οποία επιτρέπουν στις εταιρίες να συνεργάζονται χωρίς να αντιμετωπίζουν κοινά προβλήματα ενσωμάτωσης, γίνεται όλο και πιο δημοφιλής. Λόγω της υποκείμενης ευφυΐας τους, τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν δυνατότητες άμεσης προσαρμογής σε νέες και πιθανώς μη αναμενόμενες καταστάσεις, εκμεταλλευόμενα τη διαθέσιμη πληροφορία σε πραγματικό χρόνο, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα την τήρηση μέτρων για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της απόδοσης του συστήματος. Η απουσία τέτοιων μέτρων μπορεί να οδηγήσει σε προσωρινή αναστολή της παραγωγής και στον επαναπρογραμματισμό του χρονοδιαγράμματος παραγωγής με σκοπό τη διατήρηση της απόδοσης του συστήματος στα επιθυμητά επίπεδα. Τα συστήματα διαχείρισης παραγωγής που φέρουν χαρακτηριστικά ευφυΐας επιτρέπουν τη δυναμική επίλυση των μη αναμενόμενων συμβάντων κατά τη διάρκεια της παραγωγής, τα οποία αποτελούν συνήθως αίτια μείωσης της απόδοσης.

Ταυτόχρονα, η άμεση προσαρμογή σε απρόβλεπτα περιστατικά – σε φυσικές καταστροφές, όπως οι σεισμοί και οι εκρήξεις ηφαιστειών, ή σε καταστροφές που οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα, όπως τα ατυχήματα σε χημικά ή πυρηνικά εργοστάσια – είναι αναγκαία. Συνδυάζοντας την ανάγκη αυτή με τις ταχύτατες αλλαγές στο περιβάλλον παραγωγής, οι οποίες οφείλονται στις ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις, όπως αυτές που επιφέρουν οι τεχνολογίες της τρισδιάστατης εκτύπωσης και της μαζικά εξατομικευμένης παραγωγής, οδηγούμαστε στην ανάγκη για συστήματα, τα οποία δύνανται να προσαρμοστούν άμεσα και να αναδιαμορφωθούν ώστε να συνάδουν με τις τρέχουσες τάσεις.

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται η εφαρμογή του iESB σε συνεργατικά περιβάλλοντα διαχείρισης παραγωγής. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις σημασιολογικές υπηρεσίες της πλατφόρμας, οι οποίες εξασφαλίζουν στις λοιπές υπηρεσίες του iESB τα απαραίτητα μέσα ώστε, η συνεργασία τους στα πλαίσια της παραγωγής προϊόντων να είναι αποδοτική.

4.1 Χαρακτηριστικά περιβάλλοντος εφαρμογής της αρχιτεκτονικής του ευφυούς συστήματος διαχείρισης

Η ευφυής πλατφόρμα iESB [122] [123] [124] [125] αναπτύχθηκε με βάση τις ανάγκες δύο διαφορετικών περιβαλλόντων παραγωγής. Το πρώτο περιβάλλον αφορά στην παραγωγή αεροσκαφών, εκπροσωπώντας την περίοδο εκκίνησης της παραγωγής ιδιαίτερα εξειδικευμένων προϊόντων, ενώ το δεύτερο περιβάλλον, το οποίο μοντελοποιεί την παραγωγή σε μικρή κλίμακα, σχετίζεται με την παραγωγή προϊόντων εξοπλισμού καμπίνας αεροπλάνου. Ακολουθώντας, περιγράφονται συνοπτικά τα δύο συνεργατικά περιβάλλοντα εφαρμογής της πλατφόρμας, ενώ στο Κεφάλαιο 5 παρατίθενται τα αποτελέσματα πιλοτικής χρήσης του iESB από την πλευρά των ευφυών υπηρεσιών του, όπως επίσης και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αυτών.

4.1.1 Η περίοδος εκκίνησης της παραγωγής

Οι ταχείς κύκλοι ζωής των προϊόντων σε συνδυασμό με το υψηλό κόστος ανάπτυξης αναγκάζουν τις εταιρίες παραγωγής να εφαρμόσουν μειώσεις τόσο στο χρόνο ανάπτυξης ενός προϊόντος, όσο και στο χρόνο που απαιτείται για την επίτευξη πλήρους αξιοποίησης της παραγωγικής ικανότητας. Η περίοδος αυτή, από την ολοκλήρωση της ανάπτυξης ενός προϊόντος μέχρι την επίτευξη της παραγωγής του σε πλήρη όγκο καλείται *περίοδος εκκίνησης της παραγωγής* (production ramp-up).

Η περίοδος εκκίνησης της παραγωγής φέρει δύο αλληλοσυγκρουόμενα χαρακτηριστικά: τη χαμηλή χωρητικότητα παραγωγής και τα υψηλά επίπεδα ζήτησης. Αφενός, το πλήθος των παραγόμενων προϊόντων είναι περιορισμένο λόγω του χαμηλού ρυθμού και της χαμηλής απόδοσης της παραγωγής. Οι διαδικασίες παραγωγής βρίσκονται σε αρκετά πρώιμο στάδιο με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό να αφομοιώνονται πλήρως. Ως εκ τούτου, αρκετά από τα προϊόντα των αρχικών παρτίδων δε συμβαδίζουν με το σχεδιασμό τους, ενώ ο τρόπος λειτουργίας τους δεν είναι σωστός. Με την πάροδο του χρόνου, η εξοικείωση με τις διαδικασίες παραγωγής και το χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό εξομαλύνουν τις αντιξοότητες οδηγώντας στην αύξηση της απόδοσης και της αξιοποίησης του παραγωγικού δυναμικού. Αφετέρου, η ζήτηση για το προϊόν αυξάνεται κατακόρυφα λόγω της καινοτόμου φύσης του [126].

4.1.2 Η παραγωγή μικρής κλίμακας

Η συνεχής αύξηση των εξατομικευμένων απαιτήσεων των πελατών ποικίλων τομέων παραγωγής έχει οδηγήσει στην ευρεία υιοθέτηση του μοντέλου παραγωγής σε μικρή κλίμακα. Κατά τη δεκαετία του 1980, μία σειρά παραγωγής περιελάμβανε την κατασκευή το πολύ δέκα όμοιων πλοίων. Στη σημερινή εποχή, το αντίστοιχο μέγεθος της παραγόμενης παρτίδας αγγίζει τα τέσσερα μόλις πλοία, ενώ αναμένεται να μειωθεί περαιτέρω κατά τα επόμενα χρόνια. Έτσι, προβλέπεται ότι το γεγονός αυτό όχι μόνο θα καταστήσει το σχεδιασμό μεμονωμένων πλοίων – ή άλλων εξαιρετικά εξειδικευμένων προϊόντων – πιο απαιτητικό αλλά θα επηρεάσει επίσης το στρατηγικό σχεδιασμό και τον επιχειρησιακό χρονοπρογραμματισμό της παραγωγής. Στην παραγωγή μικρής κλίμακας, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου το μέγεθος της παραγωγής είναι μικρότερο ή ίσο με τέσσερις μονάδες ανά σειρά παραγωγής, οι προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπισθούν από τις άμεσα ενδιαφερόμενες εταιρίες αφορούν στην έγκαιρη κατανόηση των υφιστάμενων κινδύνων, στην ταχεία αντιμετώπιση μη αναμενόμενων καταστάσεων, στον εμπλουτισμό της υποκείμενης βάσης γνώσης στα πλαίσια της λήψης αποφάσεων και στην επιτάχυνση της διαδικασίας της μάθησης.

Στο πλαίσιο αυτό, η παραγωγή μικρής κλίμακας θεωρείται συχνά ότι παρουσιάζει ιδιαίτερες ομοιότητες με την εκκίνηση της παραγωγής ενός προϊόντος. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η κατασκευή αεροσκαφών χαρακτηρίζεται συχνά από εξαιρετικά εξατομικευμένα προϊόντα, τα οποία παράγονται σε παρτίδες μικρού μεγέθους. Παρά το γεγονός ότι δύο προϊόντα μπορεί να ανήκουν στον ίδιο τύπο αεροσκαφών, κάθε ένα από αυτά είναι μοναδικό σε ό,τι αφορά τη διαμόρφωσή. Εκτός από τις παραλλαγές που μπορεί να παρουσιάζουν τα αεροσκάφη της ίδιας οικογένειας¹⁵, κάθε αεροσκάφος εξατομικεύεται περαιτέρω σύμφωνα με τις επιθυμίες των αεροπορικών εταιριών. Ως εκ τούτου, η ανάγκη εξατομικεύσης των αεροσκαφών οδηγεί στο χαρακτηρισμό της κατασκευής αεροσκαφών ως παραγωγής μικρής κλίμακας [1].

Η πολυπλοκότητα ενός αεροσκάφους, σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ζήτηση καινοτόμων τεχνολογιών σχεδιασμού και κατασκευής αεροσκαφών έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της ωριμότητας του σχεδιασμού του προϊόντος και την έλλειψη γνώσης κατά την εκκίνηση της παραγωγής. Βασική απαίτηση για την επίλυση μίας τέτοιας κατάστασης είναι η δυνατότητα ταχέως επαναπρογραμματισμού και άμεσης αναδιαμόρφωσης. Ο συνδυασμός πολυπρακτορικού λογισμικού και λογισμικού που επικεντρώνεται στα δίκτυα μπορεί να διαμορφώσει ένα ενιαίο περιβάλλον επεξεργασίας δεδομένων, αποσκοπώντας στον πλήρη έλεγχο της παραγωγής και των κατασκευαστικών διαδικασιών.

¹⁵Τα αεροσκάφη Airbus A318 των 107 θέσεων και Airbus A321 των 185 θέσεων ανήκουν στην ίδια οικογένεια αεροσκαφών Airbus A320 [1].

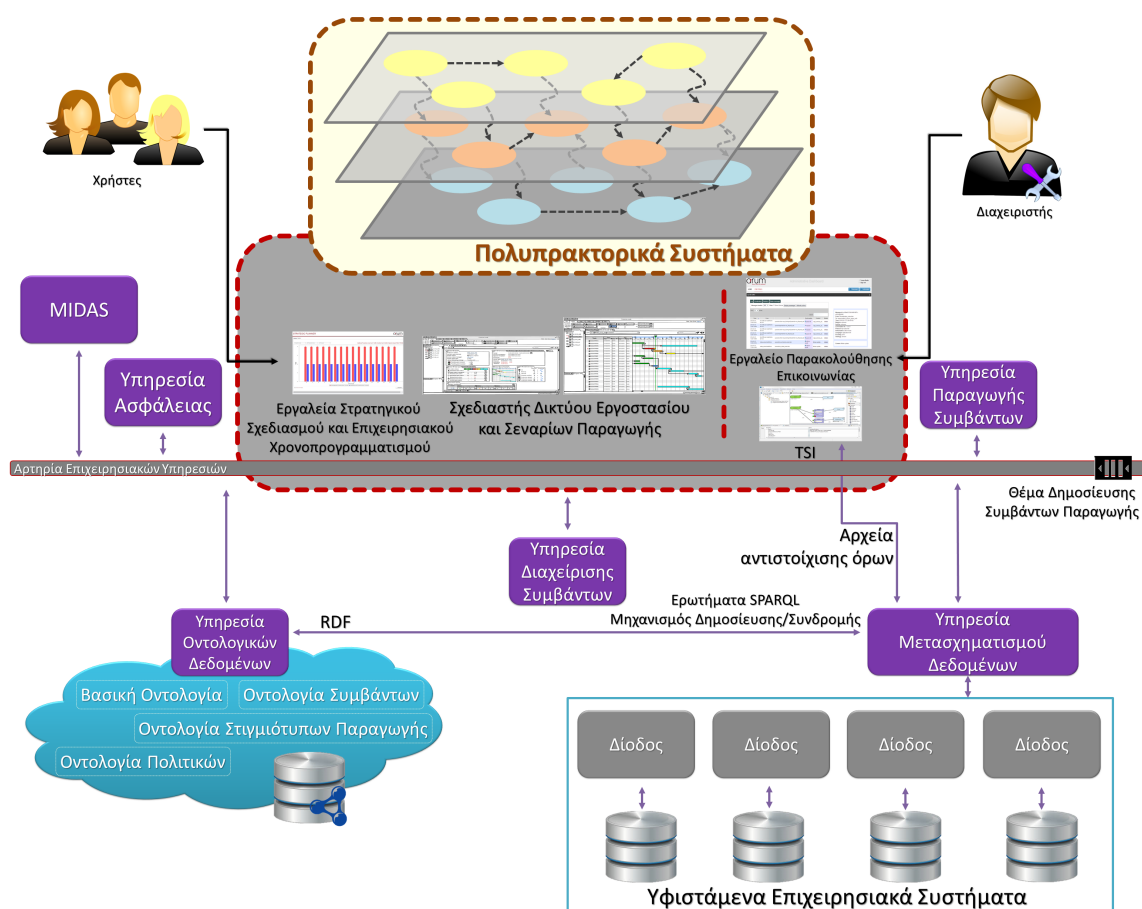
4.2 Αρχιτεκτονική του συστήματος διαχείρισης παραγωγής

Η ενότητα αυτή παρουσιάζει την εφαρμογή της ανωτέρω ευφυούς πλατφόρμας διαχείρισης στο συνεργατικό περιβάλλον της παραγωγής. Στο πλαίσιο αυτό, ο στόχος της πλατφόρμας iESB είναι η παροχή των απαραίτητων μέσων διαχείρισης της παραγωγής έχοντας ως επίκεντρο την περίοδο εκκίνησης της παραγωγής και την παραγωγή σε παρτίδες μικρού μεγέθους. Το προτεινόμενο σύστημα υπερνικά τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν τα κοινά συστήματα ERP και MES, όταν αυτά εφαρμόζονται σε δυναμικά και εξαιρετικά πολύπλοκα περιβάλλοντα, χαρακτηριζόμενα από συχνές αιτίες διακοπής της παραγωγής, εξασφαλίζοντας ότι:

- η δυνατότητα λήψης αποφάσεων παρέχεται σε αρκετά επίπεδα του τμήματος σχεδιασμού και ελέγχου της παραγωγής μίας κατασκευαστικής εταιρίας. Με τον τρόπο αυτό, μειώνονται τα ποσοστά χειρωνακτικής εισαγωγής δεδομένων στο σύστημα, οδηγώντας σε μικρότερους χρόνους σχεδιασμού,
- τα εργαλεία και οι υπηρεσίες της προτεινόμενης πλατφόρμας όχι μόνο παρέχουν δυνατότητες σχεδιασμού και χρονοπρογραμματισμού των διαδικασιών παραγωγής, αλλά επιτρέπουν επίσης τον εκ νέου χρονοπρογραμματισμό άμεσα, όπως απαιτείται σε περιπτώσεις μη αναμενόμενων διαταράξεων κατά τη διάρκεια των διαδικασιών παραγωγής,
- ένα ειδικά διαμορφωμένο κανάλι επικοινωνίας διασφαλίζει τη διευκόλυνση των διαπραγματεύσεων μεταξύ πολυπρακτορικών εργαλείων και, ως εκ τούτου, υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο,
- τα δεδομένα που ανακτώνται από διάσπαρτες, ετερογενείς πηγές δεδομένων είναι δυνατό να μετασχηματιστούν με διαφανή τρόπο ώστε η αναπαράστασή τους να ακολουθεί ένα κοινό σχήμα, το οποίο να προσφέρει δυνατότητες εφαρμογής κανόνων επαγωγικού συλλογισμού και τεχνικών εξόρυξης δεδομένων στο σύνολο των δεδομένων παραγωγής,
- η επικοινωνία ανάμεσα σε στιγμιότυπα της πλατφόρμας που τρέχουν σε διαφορετικές τοποθεσίες το ένα με το άλλο (όπως είναι η περίπτωση πολλαπλών εργοστασίων της ίδιας κατασκευαστικής εταιρίας) καλύπτει τις απαιτήσεις της γεωγραφικά κατανεμημένης παραγωγής.
- η υιοθέτηση του μοντέλου ESB ως μέσο επικοινωνίας ενισχύει τη δυνατότητα κλιμάκωσης της πλατφόρμας, διευκολύνοντας την ενσωμάτωση ετερογενών υπηρεσιών, αισθητήρων και εξωτερικών συστημάτων.

Από τη μέχρι τώρα ανάλυση, είναι προφανής η ανάγκη για λύσεις που χαρακτηρίζονται από υψηλά επίπεδα προσαρμοστικότητας και ανταποκρισιμότητας σε δυναμικά περιβάλλοντα, εφαρμόζοντας αποδοτικές τεχνικές συντονισμού διαδικασιών λήψης αποφάσεων που περιλαμβάνουν πολλαπλούς χρήστες με αντικρουόμενα ενδιαφέροντα. Σε αυτό το πλαίσιο, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική στοχεύει στο σχεδιασμό των απαραίτητων μέσων λήψης αποφάσεων στα πλαίσια του στρατηγι-

κού σχεδιασμού (strategic planning) και του και επιχειρησιακού χρονοπρογραμματισμού (operational scheduling). Ως εκ τούτου, δίνεται έμφαση σε εργαλεία χρονοπρογραμματισμού, τα οποία έχουν τη δυνατότητα λεπτομερούς επεξεργασίας των γενικών σχεδίων που παράγονται κατά τη φάση του στρατηγικού σχεδιασμού. Ο απώτερος στόχος είναι η επίτευξη αποδοτικών επιπέδων χειρισμού μη αναμενόμενων συμβάντων σε πραγματικό χρόνο, όπως είναι η αύξηση του όγκου μίας παραγγελίας, η άφιξη παραγγελιών υψηλής προτεραιότητας, ασθένειες εργαζομένων και επισκευές μεγάλης κλίμακας.



Σχήμα 15: Η αρχιτεκτονική της πλατφόρμας iESB: η εφαρμογή της σε συνεργατικά περιβάλλοντα διαχείρισης παραγωγής

Βασισμένη στις απαιτήσεις των χρηστών της και του πεδίου εφαρμογής της, όπως επίσης και των υποκείμενων αρχών του αρχιτεκτονικού προτύπου SOA, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική είναι στενά συνδεδεμένη με τη δυνατότητα πρόβλεψης μη αναμενόμενων περιστατικών κατά τη φάση του προσχεδιασμού των παραγωγικών διαδικασιών και τον έλεγχο των διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο σε εξαιρετικά δυναμικά περιβάλλοντα κατά την εκκίνηση της παραγωγής. Το Σχήμα 15 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική του προτεινόμενου συστήματος και των συστατικών στοιχείων, εργαλείων και υπηρεσιών, τα οποία συγκροτούν την προτεινόμενη ευφυή πλατφόρ-

μα διαχείρισης παραγωγής. Οι απεικονιζόμενες διασυνδέσεις ανάμεσα στις συνιστώσες του συστήματος διευκολύνουν την κατανόηση των δυνατοτήτων του συστήματος, όπως επίσης και των πλεονεκτημάτων που προσφέρονται από το ευφυές αυτό σύστημα.

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να σημειωθεί ότι ορισμένα από τα εργαλεία και τις υπηρεσίες του συστήματος iESB αποτελούν προϊόν Ευρωπαϊκών εταιριών και Πανεπιστημίων, τα οποία συμμετείχαν στο χρηματοδοτούμενο από την Ευρωπαϊκή Ένωση έργο ARUM (Adaptive Production Management)¹⁶. Συγκεκριμένα, τα εργαλεία Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού και Παρακολούθησης Επικοινωνίας και ο Σχεδιαστής Δικτύου Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής αναπτύχθηκαν από την Τσεχική εταιρία Certicon a.s., ενώ το Εργαλείο Στρατηγικού Σχεδιασμού και το MIDAS αποτελούν προϊόν της Πολυτεχνικής Σχολής της Bragança της Πορτογαλίας (Instituto Politécnico de Bragança) και της εταιρίας Almende BV, αντίστοιχα.

4.2.1 Τα εργαλεία και ο στόχος τους

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 15, ο iESB παρέχει μία κοινή υποδομή, όπου ετερογενή εργαλεία, όπως τα εργαλεία Στρατηγικού Σχεδιασμού, Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού, Σχεδιασμού Δικτύου Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής και η Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων, διαλειτουργούν με σκοπό την επίτευξη ενός κοινού στόχου: το σχεδιασμό, το χρονοπρογραμματισμό και την παρακολούθηση της διαδικασίας παραγωγής. Για την επίτευξη αυτού του στόχου τα προαναφερθέντα εργαλεία δε χρειάζονται απλά δεδομένα, αλλά γνώση. Ιδιαίτερα στην περίπτωση των εργαλείων Στρατηγικού Σχεδιασμού και Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού, τα οποία υλοποιούνται ως πολυπρακτορικά συστήματα, ο καθορισμός μίας εξειδικευμένης δομής γνώσης εισάγει σημασιολογική σαφήνεια, εξαλείφοντας πιθανότητες παρερμηνείας των υφιστάμενων εννοιών. Ως εκ τούτου, τα γνωσιακά δεδομένα της πλατφόρμας μοντελοποιούνται με τη μορφή οντολογιών.

Το *Εργαλείο Στρατηγικού Σχεδιασμού* (Strategic Planner) [127] στοχεύει στη βέλτιστη κατανομή πόρων, στο σχεδιασμό της παραγωγής σε στρατηγικό επίπεδο και στη λήψη αποφάσεων σχετικών με τη μελλοντική αύξηση των τιμών των Βασικών Δεικτών Απόδοσης (Key Performance Indicators - KPIs) κατά την περίοδο εκκίνησης. Η πολυπλοκότητα της διαδικασίας του σχεδιασμού της παραγωγής σε επιχειρήσεις μεγάλης κλίμακας οδηγεί στην εφαρμογή μεθόδων και εργαλείων κατανεμημένης επίλυσης προβλημάτων. Σε τέτοιες επιχειρήσεις, όπου ο αριθμός των εργασιών που πρέπει να σχεδιαστούν καθημερινά αγγίζει το ένα εκατομμύριο, ο μόνος τρόπος επίλυσης τέτοιων σύνθετων προβλημάτων είναι η αποσύνθεση του πολύπλοκου προβλήματος σε μικρότερα υποπροβλήματα. Στη συνέχεια, κάθε υποπρόβλημα

¹⁶<http://arum-project.eu/>

αντιμετωπίζεται αυτόνομα, ενώ οι τελικές αποφάσεις εναρμονίζονται και οι υπάρχουσες συγκρούσεις επιλύονται μέσω διαπραγματεύσεων.

Ο πρωταρχικός στόχος του εργαλείου Στρατηγικού Σχεδιασμού είναι η παροχή ενός μακροπρόθεσμου σχεδίου σε υψηλό επίπεδο για έναν αριθμό παραγγελιών. Για την παραγωγή ενός αποδοτικού σχεδίου, το εργαλείο αυτό πρέπει να λάβει υπόψη πληροφορία που αφορά, μεταξύ άλλων, τον αριθμό των εργαζομένων και την ειδικότητά τους και τις ημερομηνίες κατά τις οποίες οι εργαζόμενοι είναι διαθέσιμοι. Ο δεύτερος στόχος του εργαλείου Στρατηγικού Σχεδιασμού είναι η ανίχνευση της ανάγκης για υπερωρίες, όπως επίσης και η έκταση αυτών, καθώς και η ρύθμιση άλλων βαθμών ελευθερίας με βάση την προτεραιότητα κάθε παραγγελίας, τα οικονομικά περιθώρια της επιχείρησης, κ.ά.

Το *Εργαλείο Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού* (Operational Scheduler) είναι υπεύθυνο για το βραχυπρόθεσμο σχεδιασμό της παραγωγής και την επίλυση των καθημερινών προβλημάτων. Ο κύριος στόχος του εργαλείου αυτού είναι ο υπολογισμός του ημερήσιου προγράμματος και η ανάθεση των απαραίτητων εργασιών στους κατάλληλους υπαλλήλους. Στα πλαίσια του ορθού υπολογισμού του προγράμματος εργασιών και του έγκαιρου και αποδοτικού επανυπολογισμού του σε περιπτώσεις μη αναμενόμενων συμβάντων, το εργαλείο Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού θα πρέπει να λαμβάνει ανατροφοδότηση σχετική με την πρόοδο των εργασιών από τους υπαλλήλους και να υποστηρίζει την άμεση μεταβολή του καθορισμένου προγράμματος.

Σημαντική είναι επίσης η δυνατότητα δημιουργίας μη πραγματικών σεναρίων με τη βοήθεια του εργαλείου Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού. Με τον τρόπο αυτό, η επιχείρηση μπορεί να προσομοιώσει μη αναμενόμενες καταστάσεις ώστε να είναι ενήμερη για τους τρόπους με τους οποίους οι καταστάσεις αυτές θα μπορούσαν να επηρεάσουν τις διαδικασίες παραγωγής.

Ο *Σχεδιαστής Δικτύου Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής* (Factory Network and Scenario Designer – FND/SD) αποτελεί την κύρια Διεπαφή Χρήστη του συστήματος για τη διαχείριση της παραγωγής. Η λειτουργία του είναι διττή. Αρχικά, προτού κάποιο από τα προαναφερθέντα εργαλεία ξεκινήσει την εργασία που του έχει ανατεθεί, ο Σχεδιαστής Δικτύου Εργοστασίου αναλαμβάνει τη δημιουργία, το φόρτωμα ή την επεξεργασία ενός μοντέλου του δικτύου του εργοστασίου, το οποίο περιλαμβάνει τις εξαρτήσεις ανάμεσα στις εμπλεκόμενες οντότητες, όπως είναι οι στόχοι που έχουν τεθεί, οι ρόλοι που χρειάζονται για την επίτευξη των στόχων αυτών, οι απαραίτητοι πόροι κ.ά. Τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου παρέχονται από τον Κατάλογο των Υλικών (Bill of Materials - BOM) και των Πόρων (Bill of Resources - BOR), από τον Πίνακα των Δεξιοτήτων (Skills Matrix) και από τη Δομή Ανάλυσης Εργασιών (Work-Breakdown Structure - WBS). Στη συνέχεια, ο Σχεδιαστής Σεναρίων Παραγωγής χρησιμοποιεί το προαναφερθέν μοντέλο με σκοπό τη δημιουργία βέλτι-

Events				
Event List:				
Type	Date	Time	Reported by	Subjects
! NC	9/19/2014	17:26	Lewis Hamilton	Equipment, MSN_016, ST_89
⊙ SCHEDULE	10/11/2014	16:40	Sebastian Vettel	wo_4325, ST_90
⊙ SCHEDULE	2/3/2014	12:22	Sebastian Vettel	wo_4325, ST_90
♀ INFO	11/10/2014	16:40	Nico Rosberg	MSN_015, ST_89
✓ DONE	9/19/2014	17:26	Ross Brawn	Clearing, ST_89
✓ DONE	5/23/2014	08:30	Ross Brawn	Clearing, ST_89
✓ DONE	2/3/2014	12:22	Ross Brawn	Clearing, ST_89
STOPPED	23/05/2014	08:30	Kimi Raikkonen	wo_1938, ST_90
⊙ SCHEDULE	2/3/2014	12:22	Sebastian Vettel	wo_4325, ST_90
⊙ START	9/19/2014	17:26	Nico Hulkenberg	wo_2345, ST_90
STOPPED	23/05/2014	08:30	Kimi Raikkonen	wo_1938, ST_90
⊙ START	9/19/2014	17:26	Nico Hulkenberg	wo_2345, ST_90
⊙ START	9/19/2014	17:26	Nico Hulkenberg	wo_2345, ST_90

Σχήμα 16: Ο Σχεδιαστής Δικτύου Εργοστασίου & Σεναρίων Παραγωγής: Εμφάνιση της λίστας των περιστατικών

στων σχεδίων και χρονοπρογραμμάτων παραγωγής, καθώς επίσης και προβλέψεων πιθανών αποτυχιών. Επιπρόσθετα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των εργασιών σε εξέλιξη και να λάβει δράσεις για την αντιμετώπιση μη αναμενόμενων περιστατικών. Σε αυτό το πλαίσιο, το εργαλείο αυτό δίνει πρόσβαση σε μία λίστα με τα αναμενόμενα και μη αναμενόμενα περιστατικά που έχουν συμβεί κατά τη διάρκεια μίας διαδικασίας ή σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του εργοστασίου (Σχήμα 16).

4.2.2 Πηγές και δίοδοι δεδομένων

Η Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων (Ontology Service) και το εργαλείο MIDAS αποτελούν τις γνωσιακές βάσεις του συστήματος. Η Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων είναι ο κύριος πάροχος οντολογικών δεδομένων, καθώς διατηρεί το σχήμα των οντολογιών (τη Βασική Οντολογία - Core Ontology, την Οντολογία Στιγμιότυπων Παραγωγής - Scene Ontology, την Οντολογία Συμβάντων - Events Ontology και την Οντολογία Πολιτικών - Policy Model Ontology) του συστήματος και ταυτόχρονα χειρίζεται δεδομένα σχετικά με την παραγωγή, τα οποία αποθηκεύονται στο Αποθετήριο Τριπλετών.

Το MIDAS είναι ένα πολυπρακτορικό εργαλείο αντιμετώπισης μη αναμενόμενων συμβάντων που προκύπτουν κατά τη διάρκεια χρονοπρογραμματισμένων διαδικασιών. Το εργαλείο αυτό επεξεργάζεται στατιστικά δεδομένα και εφαρμόζει τεχνι-

κές εξόρυξης σε δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από αισθητήρες αλλά και σε ιστορικά δεδομένα ή σε δεδομένα που προέρχονται από Διεπαφές Χρήστη άλλων εργαλείων. Η πληροφορία που εξάγεται από το MIDAS μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια βελτίωσης των αποτελεσμάτων του Εργαλείου Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού και να αξιοποιηθεί επίσης με σκοπό να αποκτηθεί καλύτερη και σε βάθος κατανόηση των πιθανών αιτίων των μη αναμενόμενων συμβάντων.

Τα Υφιστάμενα Επιχειρησιακά Συστήματα (Legacy Systems) είναι η κύρια πηγή δεδομένων του συστήματος. Τα δεδομένα που προέρχονται από τα Υφιστάμενα Επιχειρησιακά Συστήματα διατηρούνται συνήθως σε ιδιόκτητες βάσεις δεδομένων μοντελοποιημένα σε μη σημασιολογικές μορφές. Για το λόγο αυτό, διατηρούνται αρχεία ειδικής δομής, τα οποία αντιστοιχίζουν τους όρους των σχημάτων των βάσεων δεδομένων των Υφιστάμενων Επιχειρησιακών Συστημάτων με τους σημασιολογικούς όρους των οντολογικών σχημάτων του iESB. Τα αρχεία αυτά χρησιμοποιούνται σε κάθε επικοινωνία ανάμεσα στην Υπηρεσία Μετασχηματισμού Δεδομένων και στην Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων, δηλαδή κάθε φορά που πρέπει να αποθηκευθούν νέα οντολογικά δεδομένα στα Υφιστάμενα Επιχειρησιακά Συστήματα ή κάθε φορά που πρέπει να ανακτηθούν δεδομένα από αυτά. Σε κάθε περίπτωση, τα ανακτηθέντα δεδομένα αποθηκεύονται στο Αποθετήριο Τριπλετών και είναι εφεξής άμεσα διαχειρίσιμα μόνο από την Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων [109] και από την Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων.

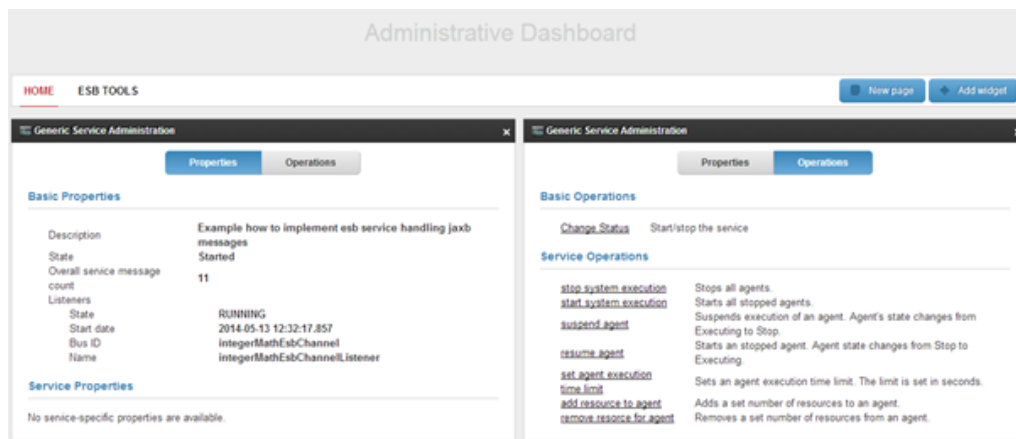
Τα Υφιστάμενα Επιχειρησιακά Συστήματα ενδέχεται να αποτελούνται από απλά ηλεκτρονικά αρχεία κειμένου (π.χ., αρχεία Comma-Separated Value – CSV, Microsoft Word ή Excel), κοινές σχεσιακές βάσεις δεδομένων έως και εξαιρετικά πολύπλοκα συστήματα. Οι Δίοδοι του iESB είναι υπεύθυνες για την παροχή της απαραίτητης υποδομής επικοινωνίας των συστημάτων αυτών με τις συνιστώσες του iESB. Για κάθε Υφιστάμενο Επιχειρησιακό Σύστημα αναπτύσσεται μία εξειδικευμένη Δίοδος, η οποία προσαρμόζεται στις απαιτήσεις του εν λόγω συστήματος. Στα πλαίσια ανταλλαγής δεδομένων, οι Δίοδοι επικοινωνούν άμεσα μόνο με την Υπηρεσία Μετασχηματισμού Δεδομένων.

Τη δεύτερη πηγή δεδομένων του συστήματος αποτελούν τα ίδια τα εργαλεία και οι υπηρεσίες της πλατφόρμας, τα οποία παράγουν δεδομένα σχετικά με τις λειτουργίες τους. Για παράδειγμα, τα αποτελέσματα του χρονοπρογραμματισμού, τα οποία παράγει το εργαλείο Επιχειρησιακού Προγραμματισμού, εκφράζονται σε οντολογική μορφή δομημένα με βάση τα κατάλληλα οντολογικά αντικείμενα. Στη συνέχεια, αποστέλλονται στην Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων με σκοπό την αποθήκευσή τους και την εφαρμογή τεχνικών επαγωγικού συλλογισμού.

Η τρίτη και τελευταία πηγή δεδομένων είναι το Θέμα Δημοσίευσης Συμβάντων Παραγωγής (Production Events Topic), το οποίο αποτελεί μέρος του μηχανισμού Δημοσίευσης/Συνδρομής της πλατφόρμας. Στο Θέμα Δημοσίευσης Συμβάντων Παρα-

γωγής δημοσιεύονται δεδομένα σχετικά με αναμενόμενα ή μη αναμενόμενα συμβάντα που προκύπτουν κατά τη διάρκεια των διαδικασιών παραγωγής, όπως είναι η ολοκλήρωση μίας εργασίας, η μη συμμόρφωση ενός προϊόντος ή τμήματος αυτού κ.ά. Η δημοσίευση δεδομένων αυτού του είδους πραγματοποιείται από τα εργαλεία και τις υπηρεσίες του ευφυούς συστήματος μέσω της Υπηρεσίας Διαχείρισης Συμβάντων. Έτσι, κάθε ενδιαφερόμενο τμήμα της πλατφόρμας μπορεί να ενημερωθεί σχετικά με το συμβάν και να το επεξεργαστεί βάσει δικών του κανόνων. Ταυτόχρονα, η Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων ανακτά κάθε τέτοιο συμβάν, ώστε να το αποθηκεύσει στο Αποθετήριο Τριπλετών για εξαγωγή γνώσης και για μελλοντική αναφορά.

4.2.3 Διαχειριστικές υπηρεσίες και ασφάλεια



Σχήμα 17: Ο Πίνακας Διαχείρισης της πλατφόρμας iESB

Οι τεχνικές υπηρεσίες της πλατφόρμας έχουν ως στόχο τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας της, παρέχοντας στο διαχειριστή του συστήματος τα απαραίτητα εφόδια. Συγκεκριμένα, η Υπηρεσία Διαχείρισης (Administration Service) παρέχει δυνατότητες ελέγχου και διαχείρισης της πλατφόρμας iESB και των υπηρεσιών της. Μέσω της παρεχόμενης Διεπαφής Χρήστη, τον Πίνακα Διαχείρισης (Administration Dashboard), ο διαχειριστής του συστήματος μπορεί να παρακολουθεί την τρέχουσα κατάσταση των υπηρεσιών του συστήματος και να εκδώσει βασικά αιτήματα, όπως είναι η εκκίνηση ή ο τερματισμός της υπηρεσίας, προς αυτές. Ένα στιγμιότυπο του Πίνακα Διαχείρισης φαίνεται στο Σχήμα 17.

Το Εργαλείο Παρακολούθησης Επικοινωνίας (Sniffer) [6] παρέχει λειτουργίες παρακολούθησης των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται μεταξύ υπηρεσιών της πλατφόρμας iESB. Το εργαλείο αυτό συνοδεύεται από μία Διεπαφή Χρήστη, τμήμα του Πίνακα Διαχείρισης, η οποία παρουσιάζει όλα τα μηνύματα που έχουν παραχθεί στο πλαίσιο της επικοινωνίας των υπηρεσιών (Σχήμα 18), όπως επίσης και απεικονίσεις της ροής των μηνυμάτων. Το Εργαλείο Παρακολούθησης Επικοινωνίας είναι ακόμη ένα μέσο εξασφάλισης της ομαλής λειτουργίας της πλατφόρμας, επιτρέποντας στο

διαχειριστή του συστήματος να διαβεβαιώνει την επιτυχή επικοινωνία των υπηρεσιών.

Time	From	To	Performative	Content	Details
2014-03-28 10:58:52:377	GreenListener#GreenServiceESB	queue/Blue_Request_esb	◀ refuse	Response: Negat...	details
2014-03-28 10:58:52:300	RedListener#RedServiceESB	queue/Blue_Request_esb	◀ agree	Response: Sure ...	details
2014-03-28 10:58:52:167	BlueListener#BlueServiceESB	queue/Green_Request_esb	▶ request	Make me happy, ...	details
2014-03-28 10:58:52:008	BlueListener#BlueServiceESB	queue/Red_Request_esb	▶ request	Do me a favour,...	details
2014-03-28 10:58:46:669	GreenListener#GreenServiceESB	queue/Blue_Request_esb	◀ refuse	Response: Negat...	details
2014-03-28 10:58:46:573	RedListener#RedServiceESB	queue/Blue_Request_esb	◀ agree	Response: Sure ...	details
2014-03-28 10:58:46:449	BlueListener#BlueServiceESB	queue/Green_Request_esb	▶ request	Make me happy, ...	details
2014-03-28 10:58:46:412	BlueListener#BlueServiceESB	queue/Red_Request_esb	▶ request	Do me a favour,...	details
2014-03-28 10:58:42:033	RedListener#RedServiceESB	queue/Blue_Request_esb	◀ agree	Response: Sure ...	details
2014-03-28 10:58:41:928	GreenListener#GreenServiceESB	queue/Blue_Request_esb	◀ refuse	Response: Negat...	details
2014-03-28 10:58:41:633	BlueListener#BlueServiceESB	queue/Green_Request_esb	▶ request	Make me happy, ...	details

Σχήμα 18: Η Διεπαφή Χρήστη του Εργαλείου Παρακολούθησης Επικοινωνίας: Στιγμιότυπο των μηνυμάτων που έχουν παραχθεί από τις υπηρεσίες του συστήματος [6].

Η ενσωμάτωση υπηρεσιών και εργαλείων, τα οποία ακολουθούν διαφορετικές στρατηγικές και έχουν υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνολογίες, οδηγεί συχνά σε κενά στην ασφάλεια του συστήματος. Τα κενά αυτά καλείται να καλύψει η Υπηρεσία Ασφάλειας (Security Service) της ευφυούς πλατφόρμας και να διασφαλίσει ότι:

- τα ευαίσθητα εταιρικά δεδομένα παραμένουν προστατευμένα από εσωτερικές και εξωτερικές απειλές,
- οι πόροι του συστήματος, τόσο τα δεδομένα όσο και οι υπηρεσίες, είναι διαθέσιμα ανά πάσα χρονική στιγμή στις εξουσιοδοτημένες οντότητες, ακεραία και αμετάβλητα, προστατεύοντας, έτσι, τις βασικές αρχές της Ασφάλειας: την Εμπιστευτικότητα, τη Διαθεσιμότητα και την Ακεραιότητα των προαναφερθέντων πόρων.

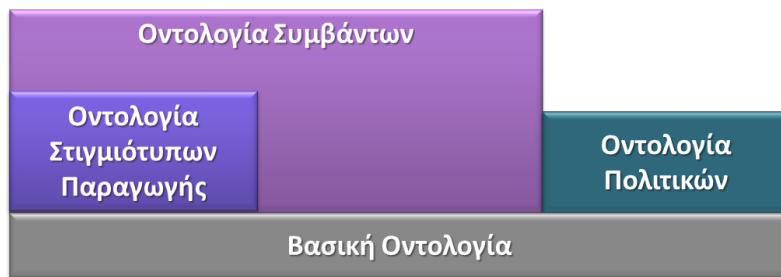
Η Υπηρεσία Ασφάλειας εφαρμόζει τεχνικές αυθεντικοποίησης των χρηστών και των υπηρεσιών του συστήματος και εξουσιοδοτεί τις αυθεντικοποιημένες οντότητες ώστε να έχουν πρόσβαση στους διαθέσιμους πόρους, υιοθετώντας δημοσιευμένα πρότυπα. Ο έλεγχος πρόσβασης υλοποιείται με τη χρήση πολιτικών, οι οποίες εισάγονται από το διαχειριστή του συστήματος κάνοντας χρήση της αντίστοιχης Διεπαφής Χρήστη (Σχήμα 17). Η υπηρεσία αυτή ακολουθεί το μοντέλο Ελέγχου Πρόσβασης βάσει Ιδιοτήτων (Attribute-Based Access Control – ABAC) [128], ενώ οι πολιτικές πρόσβασης εκφράζονται με τη χρήση οντολογιών.

4.3 Οντολογίες προτυποποίησης δεδομένων παραγωγής

Τα δεδομένα που απαιτούνται από τα εργαλεία και τις υπηρεσίες της πλατφόρμας για τη βελτίωση των διαδικασιών παραγωγής και την έγκαιρη αντιμετώπιση μη αναμενόμενων συμβάντων είναι συνήθως διασκορπισμένα σε ετερογενείς πηγές δεδομένων, οι οποίες διατηρούνται και διαχειρίζονται από εταιρίες. Για την επίτευξη των στόχων τους, οι υπηρεσίες του συστήματος απαιτούν την επεξεργασία των ετερογενών αυτών δεδομένων συνδυαστικά. Ως εκ τούτου, η ετερογένεια των δεδομένων και η κατανεμημένη φύση τους γεννούν την ανάγκη μηχανισμών, οι οποίοι παρέχουν διαφανή πρόσβαση στην πληροφορία. Στα πλαίσια της ευφυούς αυτής πλατφόρμας, η ομοιογένεια των δεδομένων παραγωγής επιτυγχάνεται με τη χρήση οντολογιών και με την εκμετάλλευση των λειτουργιών της ευφυούς Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων.

Η ευφυΐα, κατά κύριο λόγο, τροφοδοτείται από τη γνώση· στην επιστήμη των υπολογιστών, μία από τις πιο κοινές μεθόδους αναπαράστασης γνώσης είναι οι οντολογίες. Τα εργαλεία της πλατφόρμας, όπως το εργαλείο Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού και το εργαλείο Στρατηγικού Σχεδιασμού, εκμεταλλεύονται τη γνώση αυτή για να βελτιώσουν την απόδοση των διαδικασιών παραγωγής, ενώ άλλα εργαλεία, όπως είναι ο Σχεδιαστής Δικτύων Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής, παρέχουν, μεταξύ άλλων, γραφικές αφαιρέσεις ορισμένων εννοιών της αποκτηθείσας γνώσης. Κατά συνέπεια, ο τελικός χρήστης επεξεργάζεται και αξιοποιεί τη γνώση αυτή με διαφανή τρόπο.

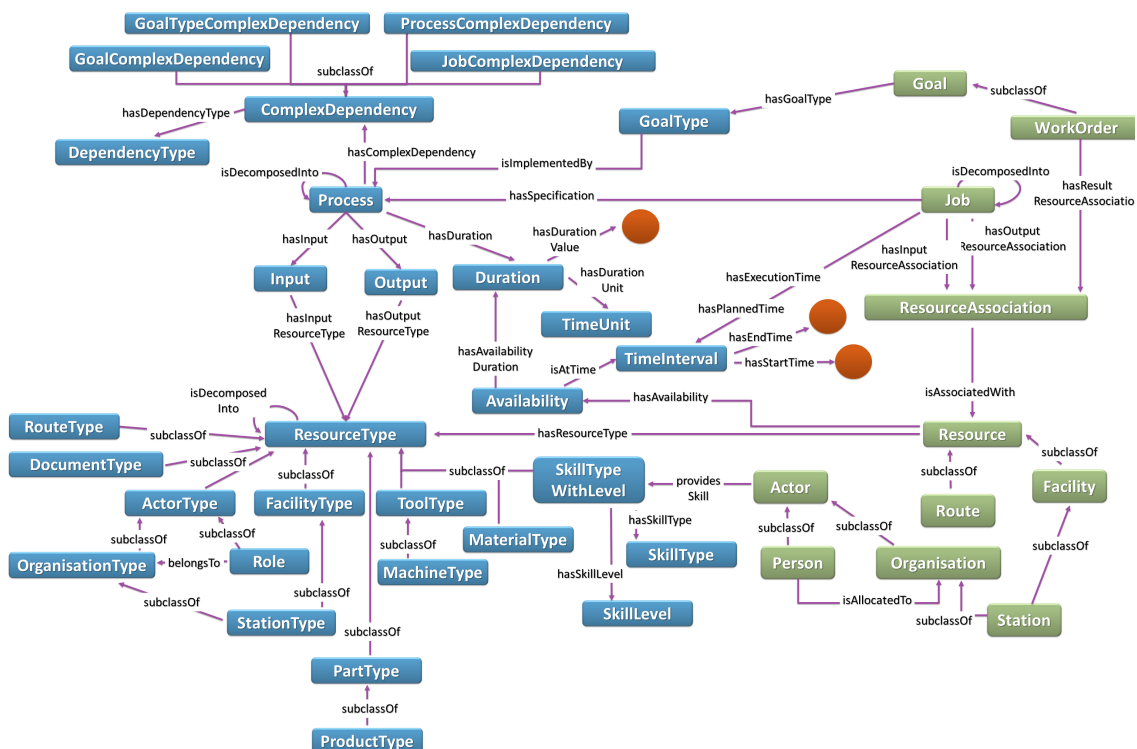
Τα δεδομένα της πλατφόρμας μοντελοποιούνται σύμφωνα με το σχήμα τεσσάρων οντολογιών, με την κάθε μία να ορίζει έννοιες σχετικές με την παραγωγή. Η **Βασική οντολογία** [129] παρέχει τη σημασιολογική περιγραφή των κύριων εννοιών του τομέα της παραγωγής, όπως είναι οι *Διαδικασίες* (Processes) και οι *Πόροι* (Resources). Η **οντολογία Στιγμιότυπων Παραγωγής** μοντελοποιεί στιγμιότυπα της τρέχουσας κατάστασης της παραγωγής. Η **οντολογία Συμβάντων** [123] [130] ορίζει έννοιες σχετικές με τα συμβάντα που ενδέχεται να προκύψουν σε ένα σύστημα παραγωγής, είτε είναι αναμενόμενα, όπως είναι η εκκίνηση ή ο τερματισμός μίας εργασίας, είτε μη αναμενόμενα, όπως είναι η έλλειψη ενός πόρου ή η μη συμμόρφωση ενός προϊόντος στις προδιαγραφές του. Τέλος, η **οντολογία Πολιτικών** προσδιορίζει κανόνες ελέγχου πρόσβασης, διασφαλίζοντας την ασφάλεια της πλατφόρμας σε ό,τι αφορά την εσωτερική επικοινωνία και την πρόσβαση στις υπηρεσίες της. Οι οντολογίες Στιγμιότυπων Παραγωγής, Συμβάντων και Πολιτικών δρουν σαν συμπληρωματικές οντολογίες στη Βασική Οντολογία, με την κάθε μία από αυτές να εκπληρώνει έναν καλώς ορισμένο σκοπό. Ταυτόχρονα, η Οντολογία Συμβάντων επεκτείνει επίσης την Οντολογία Στιγμιότυπων. Η ιεραρχία που σχηματίζουν οι τέσσερις αυτές οντολογίες φαίνεται στο Σχήμα 19. Οι οντολογίες της πλατφόρμας παρουσιάζονται αναλυτικά ακολούθως.



Σχήμα 19: Η ιεραρχία των οντολογιών της πλατφόρμας iESB

4.3.1 Η Βασική οντολογία

Η Βασική οντολογία μοντελοποιεί γνώση σχετική με τον τομέα της παραγωγής, ενθυλακώνοντάς τη σε μία μορφή τέτοια, ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή κανόνων συλλογισμού από πράκτορες λογισμικού. Ουσιαστικά, η οντολογία αυτή δρα σαν το βασικό συστατικό της επικοινωνίας των πρακτόρων λογισμικού του συστήματος και αποτελεί προαπαιτούμενο σε ό,τι αφορά το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ευφυών, πολυπρακτορικών συστημάτων, σκοπός των οποίων είναι η βελτίωση της παραγωγής μικρής κλίμακας και της παραγωγής κατά τη φάση της εκκίνησης.



Σχήμα 20: Η Βασική οντολογία

Ο τρόπος σχεδιασμού της Βασικής οντολογίας είναι εμπνευσμένος από τη Θεωρία Συγχρονισμού (Coordination Theory) [131], η οποία μελετά τη διαδικασία διαχεί-

ρισης εξαρτήσεων που χαρακτηρίζουν κάποιες ενέργειες. Η Θεωρία Συγχρονισμού ασχολείται με το χαρακτηρισμό των υπαρχόντων ειδών εξαρτήσεων, και, κατ' επέκταση, με την αναγνώριση των διαδικασιών συγχρονισμού που απαιτούνται για τη διαχείρισή τους. Η προτεινόμενη ευφυής πλατφόρμα παρουσιάζει εξαρτήσεις διαμοιραζόμενων πόρων, χρονικές εξαρτήσεις και εξαρτήσεις ανάμεσα σε στόχους.

Η Βασική οντολογία παρουσιάζεται στο Σχήμα 20. Οι οντολογικές κλάσεις που απεικονίζονται με μπλε χρώμα αντιστοιχούν σε αφηρημένες έννοιες, όπως είναι η κατηγορία στην οποία ανήκει ένας πόρος (ResourceType), ή η προδιαγραφή μίας διαδικασίας παραγωγής (Process), ενώ αυτές που απεικονίζονται με πράσινο χρώμα αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες έννοιες, όπως είναι ένας πόρος (Resource) ή μία προγραμματισμένη εργασία παραγωγής (Job). Οι κλάσεις του Αφηρημένου Επιπέδου προσφέρουν τη σημασιολογική περιγραφή των αντίστοιχων κλάσεων του Σαφούς Επιπέδου.

Οι οντολογικές κλάσεις που συγκροτούν τη Βασική οντολογία αποτελούν βασικές έννοιες της διαδικασίας παραγωγής. Συγκεκριμένα, στην οντολογία αυτή ορίζονται έννοιες όπως η Διαδικασία (Process) και η Εργασία (Job), η οποία καθορίζεται σημασιολογικά από την πρώτη· οι Είσοδοι (Input) και οι Εξοδοι (Output) μίας διαδικασίας, οι οποίες συνδέονται με Κατηγορίες Πόρων (ResourceType). Οι Κατηγορίες Πόρων αναλύονται σε υποκατηγορίες, όπως η Κατηγορία Οργανισμών (OrganisationType), η Κατηγορία Συμμετεχόντων (ActorType), η Κατηγορία Ρόλων (RoleType), η Κατηγορία Προϊόντων και Υποπροϊόντων (ProductType και PartType), η Κατηγορία Εργαλείων και Μηχανημάτων (ToolType και MachineType), η Κατηγορία Υλικών (MaterialType) και η Κατηγορία Δεξιοτήτων (SkillTypeWithLevel). Στο Σαφές Επίπεδο έχουν οριστεί οι αντίστοιχες κλάσεις ως υποκλάσεις της έννοιας των Πόρων (Resource), αναπαριστώντας έννοιες που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα, υπαρκτά αντικείμενα. Ένα στιγμιότυπο της κλάσης των Πόρων συνδέεται με μία από τις προαναφερθείσες κατηγορίες, με τη σύνδεση αυτή να ορίζει το σημασιολογικό τύπο του πόρου αυτού. Επιπρόσθετα, για κάθε Πόρο, ορίζεται ένα σύνολο από στιγμιότυπα Διαθεσιμότητας (Availability), τα οποία αφορούν σε διαφορετικά Χρονικά Διαστήματα (TimeInterval). Τέλος, ένας Πόρος είναι δυνατό να ανατεθεί σε μία Εργασία μέσω της κλάσης Συσχέτισης Πόρων (ResourceAssociation), η οποία αποτελεί αποτέλεσμα μίας Εντολής Εργασίας (WorkOrder) ή ενός Στόχου (Goal).

Μία Διαδικασία συνοδεύεται επίσης από μία Διάρκεια (Duration) και, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της, υλοποιεί μία Κατηγορία Στόχων (GoalType). Στη Βασική οντολογία, αποτυπώνονται επίσης κάποιες κατηγορίες εξαρτήσεων, οι οποίες παρουσιάζονται ανάμεσα σε δύο Διαδικασίες. Για παράδειγμα, η Εξάρτηση Διαδικασιών (ProcessComplexDependency) δηλώνει ότι μία διαδικασία δεν μπορεί να εκκινήσει εάν δεν έχει ολοκληρωθεί μία άλλη διαδικασία. Εναλλακτικά, μία διαδικασία θα πρέπει να πραγματοποιηθεί ταυτόχρονα με μία άλλη διαδικασία. Αντίστοιχα, ορίζεται και η Εξάρτηση Εργασιών (JobComplexDependency), όπως επίσης και η Εξάρ-

τηση Στόχων (GoalComplexDependency) και η Εξάρτηση Κατηγοριών Στόχων (GoalTypeComplexDependency). Κάθε στιγμιότυπο των παραπάνω κλάσεων συνδέεται με ένα στιγμιότυπο της κλάσης Είδος Εξάρτησης (DependencyType). Τα στιγμιότυπα της κλάσης Εξάρτησης Διαδικασιών μπορούν να λάβουν τιμές από το παρακάτω σύνολο:

- Εξάρτηση Εκκίνησης – Τερματισμού (Start–End Dependency): μία διαδικασία δεν μπορεί να εκκινήσει πριν ολοκληρωθεί μία άλλη διαδικασία,
- Εξάρτηση Τερματισμού – Εκκίνησης (End–Start Dependency): μία διαδικασία πρέπει να ολοκληρωθεί αφού ξεκινήσει μία άλλη διαδικασία,
- Εξάρτηση Εκκίνησης – Εκκίνησης (Start–Start Dependency): μία διαδικασία επιτρέπεται να εκκινήσει αφού έχει εκκινήσει μία άλλη διαδικασία,
- Εξάρτηση Τερματισμού – Τερματισμού (End–End Dependency): μία διαδικασία πρέπει να ολοκληρωθεί αφού ολοκληρωθεί μία άλλη διαδικασία.

Με όμοιο τρόπο συνδέονται τα στιγμιότυπα των λοιπών εξαρτήσεων με τα αντίστοιχα είδη εξαρτήσεων, όπως αυτά ορίζονται από το παραπάνω σύνολο.

Έχοντας αναλύσει τις έννοιες που καλύπτει η Βασική Οντολογία, μπορούμε να ορίσουμε και τις συμπληρωματικές ως προς αυτή οντολογίες ξεκινώντας από την Οντολογία Στιγμιότυπων Παραγωγής.

4.3.2 Η οντολογία Στιγμιότυπων Παραγωγής

Η Βασική οντολογία παρέχει ένα μοντέλο υψηλού επιπέδου των διαδικασιών παραγωγής ορίζοντας γενικές έννοιες, όπως τα υλικά, οι εργασίες και δεξιότητες, όπως επίσης τις σχέσεις μεταξύ αυτών των εννοιών με σκοπό την αποτύπωση απαιτήσεων και αλληλεξαρτήσεων. Η οντολογία Στιγμιότυπων Παραγωγής έχει σχεδιαστεί ώστε να μοντελοποιεί την τρέχουσα κατάσταση της γραμμής παραγωγής και της ροής των απαιτούμενων εργασιών. Ως εκ τούτου, ένα στιγμιότυπο είναι ένας περιέκτης πληροφορίας σχετικής με την τρέχουσα κατάσταση κάθε γραμμής παραγωγής και κάθε υποσταθμού ενός εργοστασίου σε σχέση με τα παραγόμενα προϊόντα, με τις εργασίες που βρίσκονται υπό εκτέλεση, με την πρόοδο των εργατών, με τον αριθμό των αποθεμάτων, με τα μη αναμενόμενα συμβάντα που έχουν επηρεάσει τη γραμμή παραγωγής, κ.τ.λ.

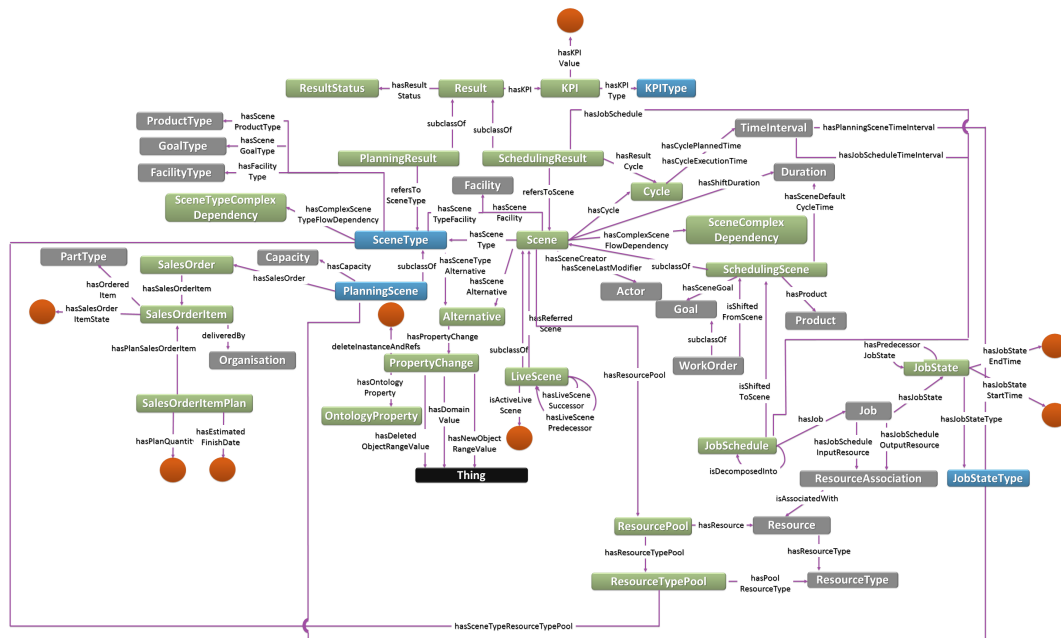
Οι ιδιαίτερες ανάγκες κάθε εργαλείου της ευφυούς πλατφόρμας οδήγησαν στον ορισμό τεσσάρων ειδών στιγμιότυπων. Το Στιγμιότυπο Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού (SchedulingScene) σχεδιάστηκε για την περίπτωση του Εργαλείου Επιχειρησιακού Προγραμματισμού. Διατηρεί πληροφορία σχετική με τις εργασίες που απαιτούνται για την επίτευξη ενός Στόχου (Goal), όπως είναι η παραγωγή ενός Υποπροϊόντος (Product/Part), σε ένα συγκεκριμένο Σταθμό (Facility) του εργοστασίου παραγωγής. Κάθε σταθμός συνδέεται με μία Ομάδα Πόρων (ResourcePool), στην οποία κατανέμονται εργάτες, υλικά και εργαλεία. Μία Ομάδα Πόρων διατίθεται σε

έναν ή περισσότερους σταθμούς παραγωγής ώστε να είναι δυνατή η εκτέλεση των απαραίτητων εργασιών. Ένα Στιγμιότυπο Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού συνδέεται επίσης με ένα αντικείμενο *Αποτελέσματος Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού* (SchedulingResult). Κάθε τέτοιο αντικείμενο συνδέεται με έναν αριθμό αντικειμένων *Χρονοπρογράμματος Εργασιών* (JobSchedule), τα οποία κατανέμουν τις απαιτούμενες εργασίες στο χρόνο αναθέτοντας σε αυτές τους απαραίτητους πόρους με βάση τη διαθεσιμότητά τους. Σε κάθε περίπτωση, λαμβάνονται υπόψη πιθανές αλληλεξαρτήσεις ανάμεσα στις οντότητες των Στιγμιότυπων και των Εργασιών.

Το Στιγμιότυπο Κατηγοριών (SceneType) παρέχει τα απαραίτητα μέσα για το γενικό σχεδιασμό της παραγωγής ενός προϊόντος συγκεκριμένου τύπου. Το στιγμιότυπο αυτό δίνει τη δυνατότητα ορισμού ενός σχεδίου παραγωγής σε υψηλό επίπεδο μοντελοποιώντας όλες τις πιθανές διαδικασίες παραγωγής και τις παραμέτρους τους. Απώτερος στόχος είναι η προδιαγραφή του πλήρους συνόλου των λειτουργιών που υποστηρίζει ένα προϊόν. Ένα Στιγμιότυπο Κατηγοριών χρησιμοποιείται ως βάση για την παραγωγή του αντίστοιχου προϊόντος και η χρήση του είναι πολύτιμη σε περιπτώσεις άφιξης εξαιρετικά εξειδικευμένων προϊόντων. Το Στιγμιότυπο Κατηγοριών αναθέτει τις προαναφερθείσες διαδικασίες παραγωγής σε συγκεκριμένα είδη σταθμών (FacilityTypes), τα οποία πληρούν τις καθορισμένες προϋποθέσεις. Έτσι, όταν πραγματοποιηθεί μία τέτοια παραγγελία, το αντίστοιχο Στιγμιότυπο Κατηγοριών χρησιμοποιείται ώστε να σχεδιαστεί το Στιγμιότυπο Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού επιλέγοντας μόνο τις διαδικασίες που είναι απαραίτητες ώστε να υποστηρίζονται οι λειτουργίες που επιθυμεί ο εκάστοτε πελάτης. Για κάθε μία από τις επιλεγμένες διαδικασίες, δημιουργούνται οι αντίστοιχες εργασίες και εντολές εργασίας και ανατίθενται σε συγκεκριμένους σταθμούς εργασίας της κατηγορίας που ορίζει το Στιγμιότυπο Κατηγοριών. Το Στιγμιότυπο Κατηγοριών χρησιμοποιείται, επίσης, στα πλαίσια του Στρατηγικού Σχεδιασμού δίνοντας υπόσταση σε ένα Στιγμιότυπο Στρατηγικού Σχεδιασμού (PlanningScene), το οποίο κληρονομεί τις ιδιότητες του πρώτου. Ένα Στιγμιότυπο Στρατηγικού Σχεδιασμού έχει εμπλουτιστεί με επιπρόσθετες ιδιότητες, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των παραγγελιών δεδομένου αριθμού προϊόντων σε δεδομένο χρονικό διάστημα (SalesOrders), της χωρητικότητας του εργοστασίου σε δεδομένο χρονικό διάστημα (Capacity) και των διαθέσιμων κατηγοριών πόρων, όπως επίσης και των αντίστοιχων διαθέσιμων πόρων και του κόστους τους. Το Αποτέλεσμα Στρατηγικού Σχεδιασμού (PlanningResult), το οποίο αποτελεί τμήμα του Στιγμιότυπου Στρατηγικού Σχεδιασμού, αντικατοπτρίζει το πλήθος των προϊόντων που μπορεί να παραγάγει ένα εργοστάσιο σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Η έννοια του *Τρέχοντος Στιγμιότυπου* (LiveScene) αντιπροσωπεύει την τρέχουσα κατάσταση της παραγωγής από την πλευρά του επιχειρησιακού χρονοπρογραμματισμού. Το Τρέχον Στιγμιότυπο αποτυπώνει τη διαδικασία παραγωγής πολλαπλών προϊόντων ταυτόχρονα σε διαφορετικούς σταθμούς. Έτσι, αποτελείται από

δείκτες προς τα Στιγμιότυπα Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού συγκεκριμένων προϊόντων και περιέχει πληροφορία σχετική με το χρόνο κύκλου (cycle time), δηλαδή το χρόνο παραμονής ενός υποπροϊόντος σε ένα συγκεκριμένο σταθμό με σκοπό την επεξεργασία του.



Σχήμα 21: Η οντολογία Στιγμιότυπων Παραγωγής

Τα δεδομένα εισόδου για το Εργαλείο Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού αποτελούνται από μία αλυσίδα Τρεχόντων Στιγμιότυπων. Το μήκος της αλυσίδας αυτής καθορίζεται με βάση το μέγεθος της ανάγκης για ένα μακροπρόθεσμο πρόγραμμα παραγωγής. Η οντολογία Στιγμιότυπων Παραγωγής παρουσιάζεται στο Σχήμα 21.

4.3.3 Η οντολογία Συμβάντων Παραγωγής

Η οντολογία της πλατφόρμας που μοντελοποιεί τα συμβάντα, θετικού ή αρνητικού αντίκτυπου, τα οποία είναι δυνατό να παρατηρηθούν κατά τη διάρκεια της παραγωγής, ονομάζεται οντολογία Συμβάντων Παραγωγής. Τα συμβάντα αυτά μπορεί να είναι αναμενόμενα, όπως είναι η εκκίνηση ή ο τερματισμός μία εργασίας, η άφιξη μίας παραγγελίας υλικών ή η απουσία ενός εργαζομένου λόγω προγραμματισμένης άδειας. Υπάρχουν, όμως, και μη αναμενόμενα συμβάντα, όπως είναι η κατάσταση μη συμμόρφωσης (non conformity) ενός υποπροϊόντος με το σχεδιασμό του, η καθυστέρηση μίας παραγγελίας υλικών και η ασθένεια ενός εργαζομένου. Τα τελευταία, αν δεν αντιμετωπισθούν έγκαιρα, μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλες αναταραχές στη διαδικασία παραγωγής, προκαλώντας την καθυστέρηση της παράδοσης της παραγγελίας στον πελάτη, την επιβολή προσθίμων, κ.ά.

σης Μη Συμμόρφωσης (NCSolution). Η αλληλουχία των συμβάντων, όπως αυτά έχουν σημειωθεί, διατηρείται με τη βοήθεια ενός αντικειμένου του τύπου Περιγραφής Μη Συμμόρφωσης (NCDescriptor). Μέσω του αντικειμένου αυτού παρέχεται πρόσβαση στην τρέχουσα κατάσταση του Συμβάντος Μη Συμμόρφωσης, στο ιστορικό των σχετικών συμβάντων και σε άλλες βοηθητικές πληροφορίες.

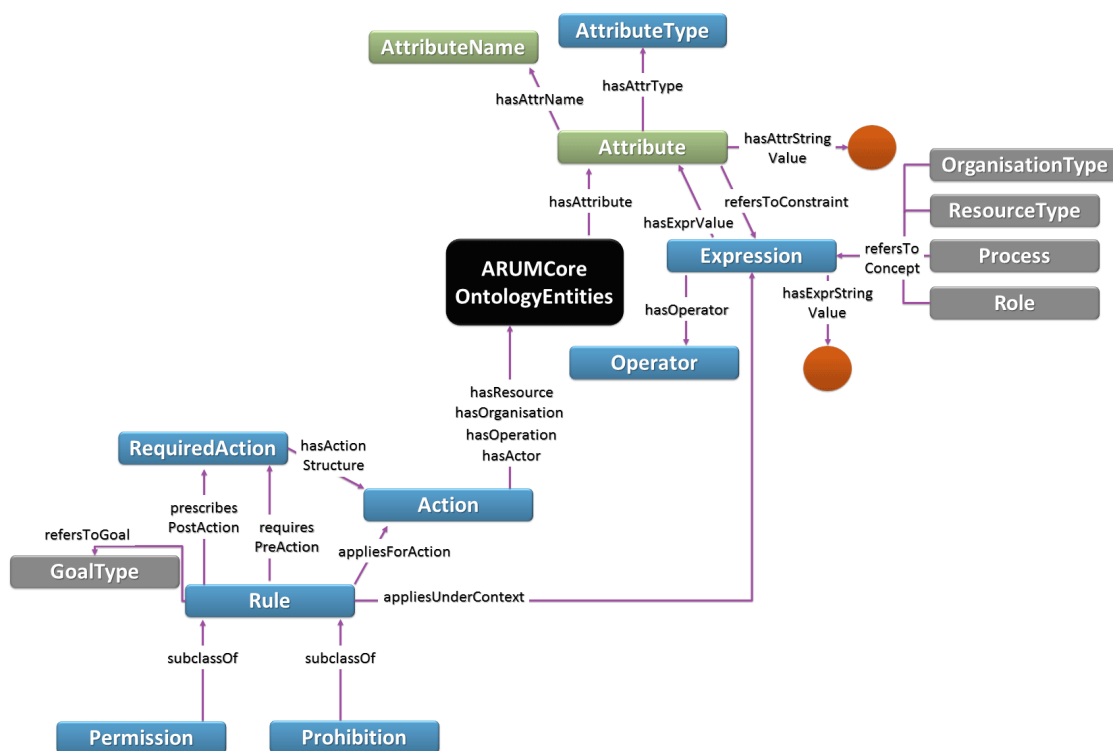
Τα Συμβάντα Εντολών Εργασίας (WorkOrderEvent) σχετίζονται με τις Εντολές Εργασίας που εκδίδονται σε μία εταιρία παραγωγής με σκοπό τον καθορισμό των εργασιών που πρέπει να εκτελεσθούν ώστε να παραχθούν τα προϊόντα που ορίζονται στην παραγγελία ενός πελάτη. Το υποκείμενο ενός συμβάντος αυτού του τύπου πρέπει να συνδέεται με ένα στιγμιότυπο της κλάσης της Εντολής Εργασίας, ενώ το αντικείμενο μοντελοποιείται μέσω της κλάσης των Στιγμιότυπων. Εξειδικεύσεις αυτής της κατηγορίας συμβάντων είναι η Νέα Εντολή Εργασίας (NewWorkOrder) και η Παρωχημένη Εντολή Εργασίας (RemovedWorkOrder).

Τα Συμβάντα Στιγμιότυπων (SceneEvent) αφορούν σε μεταβολές που είναι δυνατό να σημειωθούν σε σχέση με ένα Στιγμιότυπο. Το υποκείμενο ενός τέτοιου συμβάντος είναι υποχρεωτικά ένα Στιγμιότυπο, ενώ ο τύπος του αντικειμένου εναλλάσσεται με βάση την εξειδίκευση του συμβάντος. Οι υποκλάσεις που έχουν οριστεί μοντελοποιούν καταστάσεις Νέου Χρονοπρογράμματος (NewScheduleAvailable) με αντικείμενο ένα Αποτέλεσμα Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού, Εφαρμογής Χρονοπρογράμματος (NewScheduleApplied) με αντικείμενο του ίδιου τύπου, Ενημέρωση του Χρόνου Κύκλου του Τρέχοντος Στιγμιότυπου (LiveSceneCycleUpdated) με αντικείμενο του τύπου Χρονικού Διαστήματος και, τέλος, Ενημέρωση του Προεπιλεγμένου Χρόνου Κύκλου (DefaultCycleTimeUpdated) με αντικείμενο του τύπου της Διάρκειας.

Τέλος, τα Συμβάντα Κατηγοριών Πόρων (ResourceTypeEvent) μοντελοποιούν καταστάσεις σχετικές με μία κατηγορία πόρων. Ως εκ τούτου, το υποκείμενο ενός Συμβάντος Κατηγορίας Πόρων ανήκει στην κλάση της Κατηγορίας Πόρων. Οι εξειδικεύσεις ενός τέτοιου συμβάντος αφορούν στις περιπτώσεις Αύξησης (IncreasedInventory) ή Μείωσης (DecreasedInventory) της Διαθέσιμης Ποσότητας μία Κατηγορίας Πόρων ή της Έλλειψης Πόρων (MissingResourceType) μίας Κατηγορίας.

4.3.4 Η οντολογία Πολιτικών

Η οντολογία Πολιτικών, η οποία απεικονίζεται στο Σχήμα 24, χρησιμοποιείται στα πλαίσια ορισμού κανόνων ελέγχου πρόσβασης στα πλαίσια εφαρμογής του μοντέλου ελέγχου πρόσβασης με επίγνωση ιδιωτικότητας [133]. Οι κανόνες αυτοί χρησιμοποιούνται από την Υπηρεσία Ασφάλειας κατά την άφιξη αιτημάτων πρόσβασης σε πόρους (υπηρεσίες ή δεδομένα) του συστήματος από τις υπηρεσίες του iESB. Οι κανόνες ελέγχου πρόσβασης στους πόρους της ευφυούς πλατφόρμας ορί-



Σχήμα 24: Η οντολογία Πολιτικών

ζονται με βάση τα χαρακτηριστικά των εμπλεκόμενων οντοτήτων, τις παραμέτρους πλαισίου, όπως είναι ο χρόνος ή ο χώρος, ή βάσει πιθανών συμβάντων ή προαπαιτούμενων ή επακόλουθων δράσεων, όπως είναι η διατήρηση αρχείων καταγραφής. Ως εκ τούτου, ένας κανόνας ελέγχου πρόσβασης μοντελοποιείται μέσω της κλάσης των *Κανόνων* (Rule) ή μέσω των εξειδικεύσεών της, την *Έγκριση* (Permission) και την *Απαγόρευση* (Prohibition). Χαρακτηρίζεται από μία *Κατάσταση* (State), η οποία ορίζει εάν ο κανόνας βρίσκεται σε ισχύ. Κάθε τέτοιος κανόνας ισχύει για μία *Δράση* (Action), η οποία επιτρέπει ή απαγορεύει σε ένα *Συμμετέχοντα* (Actor), δηλαδή αιτούντα πρόσβασης, να πραγματοποιήσει μία *Πράξη* (Operation), όπως είναι η προβολή, η επεξεργασία ή η εκτέλεση, πάνω σε έναν *Πόρο* (Resource). Οι προαναφερθείσες έννοιες του Συμμετέχοντα, της Πράξης και του Πόρου μοντελοποιούνται με τη χρήση εννοιών της Βασικής οντολογίας. Το πλαίσιο υπό το οποίο εφαρμόζεται ένας κανόνας, όπως είναι οι εργάσιμες ώρες ή πιθανά συμβάντα παραγωγής, μοντελοποιείται μέσω της κλάσης των *Εκφράσεων* (Expression). Η κλάση αυτή συνδέεται με μία από τις έννοιες *Κατηγορίας Πόρων*, *Διαδικασίας*, *Ρόλου* ή *Κατηγορίας Οργανισμών* της Βασικής Οντολογίας και μπορεί να περιέχει κάποιον *Τελεστή* (Operator) και μία τιμή. Τέλος, ο στόχος ενός κανόνα παρέχεται μέσω της κλάσης *Κατηγορίας Στόχων* της Βασικής Οντολογίας.

Στα στιγμιότυπα των κλάσεων της Βασικής οντολογίας ανατίθενται *Χαρακτηριστικά* (Attributes), με βάση τα οποία πραγματοποιείται ο έλεγχος πρόσβασης.

Τα είδη και τα ονόματα των χαρακτηριστικών των Συμμετεχόντων και των Πόρων μοντελοποιούνται μέσω των κλάσεων *Κατηγορία Χαρακτηριστικών* (AttributeType) και *Όνομα Χαρακτηριστικών* (AttributeName), ενώ οι πιθανές τιμές των στιγμιότυπών τους δίνονται μέσω του αντίστοιχου τύπου δεδομένων (hasAttrValue). Χαρακτηριστικά που είναι δυνατό να ανατεθούν σε ένα Συμμετέχοντα αφορούν συνήθως στο ρόλο του, τους οργανισμούς που μπορεί να ανήκει ή το σταθμό στον οποίο εργάζεται. Αντίστοιχα, το είδος ενός πόρου (π.χ., ηλεκτρονικό αρχείο, υπηρεσία, έγγραφο) ή ο οργανισμός στον οποίο ανήκει είναι πιθανά χαρακτηριστικά ενός Πόρου.

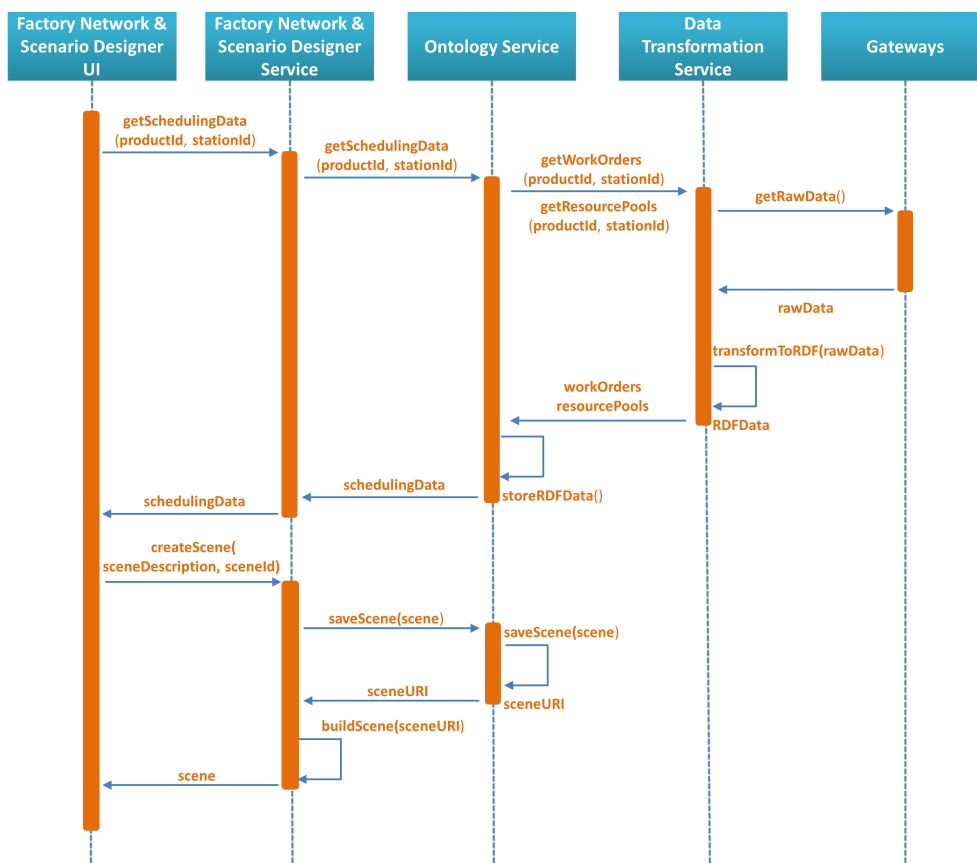
Σε ορισμένες περιπτώσεις, η εφαρμογή ενός κανόνα ενδέχεται να απαιτεί την προήγηση μίας πράξης ή τη διαδοχή του από μία πράξη. Η απαίτηση αυτή μοντελοποιείται μέσω της έννοιας της *Απαιτούμενης Πράξης* (RequiredAction). Παράδειγμα μίας απαιτούμενης επακόλουθης πράξης είναι η καταγραφή της πρόσβασης στον πόρο.

4.4 Ευφυείς υπηρεσίες και δομές διαχείρισης σημασιολογικών δεδομένων παραγωγής

Οι οντολογίες που έχουν αναπτυχθεί στα πλαίσια της ομαλής και αποδοτικής λειτουργίας της πλατφόρμας διαχείρισης παραγωγής αποτελούν τα θεμέλια της ευφυΐας της. Οι οντολογικές υπηρεσίες του iESB αξιοποιούν τα υποκείμενα οντολογικά μοντέλα διατηρώντας και εμπλουτίζοντας τη βάση γνώσης της πλατφόρμας. Οι υπηρεσίες αυτές αποτελούν επεκτάσεις των υπηρεσιών του επιπέδου Εφαρμογής Λογικής και Διαχείρισης της πλατφόρμας, όπως αυτό ορίζεται από την αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου του iESB. Οι ευφυείς υπηρεσίες της πλατφόρμας διαχείρισης παραγωγής που βασίζονται στις οντολογίες είναι η *Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων* και η *Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων*. Όπως ορίζεται από την αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3, η πρώτη υπηρεσία είναι υπεύθυνη για τη διατήρηση και τη διαχείριση των οντολογικών δεδομένων της πλατφόρμας, ενώ η δεύτερη υπηρεσία διαχειρίζεται τα συμβάντα που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια των διαδικασιών παραγωγής.

Η Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων διατηρεί ένα Αποθετήριο Τριπλετών, όπου αποθηκεύονται δεδομένα σχετικά με τις διαδικασίες παραγωγής και με τις λειτουργίες των εργαλείων του iESB. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από τα Υφιστάμενα Επιχειρησιακά Συστήματα, η πρόσβαση στα οποία είναι δυνατή μέσω των Διόδων, από τα εργαλεία και τις υπηρεσίες του iESB και από το Θέμα Δημοσίευσης Συμβάντων Παραγωγής. Ανάλογα με τη γνώση που μοντελοποιούν, τα δεδομένα συντάσσονται σύμφωνα με τη δομή που ορίζει κάποια από τις οντολογίες της πλατφόρμας. Η πρόσβαση στα οντολογικά δεδομένα, είτε για σκοπούς ανάγνωσης είτε για σκοπούς εγγραφής, πραγματοποιείται κάνοντας χρήση του API της Υπηρεσίας Οντο-

λογικών Δεδομένων. Χάριν ευκολίας, το API αυτό προσφέρει προδιαγεγραμμένες λειτουργίες εφαρμογής ερωτημάτων ή αποθήκευσης δεδομένων έτσι ώστε να αποφεύγεται η συγγραφή πολύπλοκων ερωτημάτων SPARQL από τους χρήστες της υπηρεσίας. Οι προσφερόμενες αυτές λειτουργίες αντιπροσωπεύουν συχνά ερωτήματα που εφαρμόζονται κυρίως από τα εργαλεία Στρατηγικού Σχεδιασμού και Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού και από το Σχεδιαστή Δικτύου Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής.



Σχήμα 25: Διάγραμμα ακολουθίας για το σενάριο ανάκτησης δεδομένων από τα Υφιστάμενα Επιχειρησιακά Συστήματα

Ο Σχεδιαστής Δικτύου Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής επικοινωνεί συχνά με την Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων κατά τη διαδικασία δημιουργίας νέων σεναρίων. Κατά τη διαδικασία αυτή, το εργαλείο αυτό δημιουργεί και αποθηκεύει νέα σεναρία με τη μορφή αντικειμένων του τύπου του Στιγμιότυπου της οντολογίας Στιγμιότυπων Παραγωγής. Για κάθε σενάριο, παρέχονται λειτουργίες δημιουργίας, αποθήκευσης και διαγραφής, ενώ ταυτόχρονα είναι δυνατή η δημιουργία εναλλακτικών σεναρίων και η ανάκτηση των εντολών εργασίας που σχετίζονται με αυτό, όπως επίσης και των ομάδων πόρων και των βασικών ιδιοτήτων του. Ταυτόχρονα, επιτρέπεται η συσχέτιση των αποτελεσμάτων της διαδικασίας χρονοπρογραμ-

ματισμού (SchedulingResult) ή της διαδικασίας σχεδιασμού (PlanningResult) με ένα σενάριο. Σε ό,τι αφορά το εργαλείο Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού, τα συνήθη αιτήματά του περιλαμβάνουν την ανάκτηση των εντολών εργασίας (WorkOrders) για τη συναρμολόγηση ενός προϊόντος σε ένα συγκεκριμένο σταθμό εργασίας και την ανάκτηση και, έπειτα, την εφαρμογή των διαθέσιμων σεναρίων.

Στο Σχήμα 25 παρουσιάζεται η διαδικασία ανάκτησης δεδομένων από τα Υφιστάμενα Επιχειρησιακά Συστήματα. Η ακολουθία των ενεργειών ξεκινά με μία αίτηση ανάκτησης δεδομένων από τη Διεπαφή Χρήστη του Σχεδιαστή Δικτύου Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής, η οποία καταφθάνει στην Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων πηρεσίας Σχεδιαστή Δικτύου Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής. Τα ζητούμενα δεδομένα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε επόμενη φάση για τη δημιουργία ενός νέου σεναρίου. Έτσι, το αρχικό αίτημα ανάκτησης δεδομένων σχετικών με το χρονοπρογραμματισμό ενός δεδομένου προϊόντος σε ένα δεδομένο σταθμό εργασίας (getSchedulingData) τίθεται υπό επεξεργασία από την Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων, με αποτέλεσμα να διασπαστεί σε δύο επιμέρους αιτήματα. Τα αιτήματα αυτά απευθύνονται στα Υφιστάμενα Επιχειρησιακά Συστήματα μέσω της Υπηρεσίας Μετασχηματισμού Δεδομένων και των κατάλληλων Διόδων. Έτσι, η Υπηρεσία Μετασχηματισμού Δεδομένων λαμβάνει ένα αίτημα ανάκτησης δεδομένων σχετικών με τις Εντολές Εργασίας και ένα αίτημα σχετικό με τις Ομάδες Πόρων που συνδέονται με το προαναφερθέν προϊόν και τον προαναφερθέντα σταθμό εργασίας. Η επικοινωνία της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων με την Υπηρεσία Μετασχηματισμού Δεδομένων δεν πραγματοποιείται μέσω της πλατφόρμας iESB αλλά με τη βοήθεια ενός API βασισμένου στις υπηρεσίες Ιστού. Τα δύο επιμέρους αιτήματα που προωθούνται στην Υπηρεσία Μετασχηματισμού Δεδομένων έχουν τη μορφή ερωτημάτων SPARQL.

Στη συνέχεια, η Υπηρεσία Μετασχηματισμού Δεδομένων αναλύει τα ερωτήματα SPARQL, τα διασπά κατάλληλα και προωθεί τα ανακύπτοντα τμήματα στις αντίστοιχες Διόδους. Η απάντηση που φθάνει στην υπηρεσία από κάθε Δίοδο βρίσκεται σε πρωτογενή, μη επεξεργασμένη μορφή. Έτσι, η Υπηρεσία Μετασχηματισμού Δεδομένων πρέπει να εκφράσει τα ληφθέντα δεδομένα σε οντολογική μορφή, να συγχωνεύσει τα τμήματα της απάντησης και να την προωθήσει πίσω στην Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων. Η τελευταία αποθηκεύει την απάντηση στο Αποθετήριο Τριπλετών και στη συνέχεια τη στέλνει στην Υπηρεσία Σχεδιαστή Δικτύου Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής, η οποία με τη σειρά της την προωθεί στη Διεπαφή Χρήστη.

Έχοντας λάβει τα απαιτούμενα δεδομένα χρονοπρογραμματισμού, η Διεπαφή Χρήστη δημιουργεί ένα νέο αίτημα για το σχεδιασμό ενός νέου σεναρίου. Το αίτημα αυτό που φθάνει τελικά στην Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων περιλαμβάνει την ανάθεση ενός μοναδικού URI στο νέο σενάριο και την αποθήκευσή του στο Αποθετήριο Τριπλετών. Αφού ολοκληρωθεί η επεξεργασία του αιτήματος από την

Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων, αποστέλλεται στη Διεπαφή Χρήστη το URI που ανατέθηκε στο νέο σενάριο για μελλοντική χρήση. Έτσι, το νέο αυτό σενάριο μπορεί εφεξής να χρησιμοποιηθεί ως συγκεντρωτής δεδομένων εισόδου για το Εργαλείο Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού.

Αναφορικά με τα εργαλεία της πλατφόρμας που δε διαθέτουν άμεση πρόσβαση σε αυτή λόγω του γεγονότος ότι δεν έχουν υλοποιηθεί με τη μορφή υπηρεσιών JBossESB, όπως είναι οι εφαρμογές κινητής συσκευής των υπαλλήλων ενός εργοστασίου, η πρόσβαση στα οντολογικά δεδομένα δίνεται σε αυτές μέσω της υπηρεσίας REST του iESB. Συγκεκριμένα, ο ρόλος της υπηρεσίας αυτής είναι να λαμβάνει τα αιτήματα εφαρμογών αυτού του είδους, να τα μετατρέπει σε μορφή κατανοητή από υπηρεσίες JBossESB και να τα προωθεί στην Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων. Τέλος, με αντίστοιχο τρόπο εξυπηρετούνται ήδη υπάρχουσες εφαρμογές και υπάρχοντα συστήματα που επιθυμούν να συνεργαστούν με την πλατφόρμα iESB.

Η Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων δέχεται πιθανά συμβάντα, τα οποία έχουν σημειωθεί κυρίως μέσω της Διεπαφής Χρήστη του Σχεδιαστή Δικτύου Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής. Τα συμβάντα αυτά συντάσσονται με βάση την οντολογία Συμβάντων και αποστέλλονται στην Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων ώστε να ελεγχθούν σε ό,τι αφορά την ακρίβειά τους. Στο πλαίσιο αυτό, η υπηρεσία διαπιστώνει την ύπαρξη των περιλαμβανόμενων στιγμιότυπων και τη δυνατότητα ύπαρξης των σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ τους. Εάν ο έλεγχος φέρει θετικά αποτελέσματα, η Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων προχωρά με τη σύσταση του μηνύματος που περιέχει το συμβάν και, στη συνέχεια, με τη δημοσίευσή του στο Θέμα Δημοσίευσης Συμβάντων Παραγωγής. Επιπλέον, η Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων στέλνει στην υπηρεσία που σημείωσε το συμβάν ένα ενημερωτικό μήνυμα επιβεβαίωσης ή άρνησης δημοσίευσης του ληφθέντος συμβάντος, όπως άλλωστε ορίζεται και από το πρωτόκολλο επικοινωνίας του iESB. Οι ανάγκες των εργαλείων και των υπηρεσιών του iESB οδήγησαν στη δημιουργία ενός μοναδικού θέματος παραγωγής: επομένως, η αναζήτηση σε κάποιο ευρετήριο αντιστοιχίσεων θεμάτων δημοσίευσης με είδη συμβάντων, όπως ακριβώς ορίζει η αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου της πλατφόρμας, δεν είναι απαραίτητη.

Επιπρόσθετα, μέρος του API της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων αποτελεί μία βιβλιοθήκη λογισμικού, η οποία επιτρέπει την αναπαράσταση γνώσης εκφρασμένης σε RDF μέσω αντικειμένων Java. Συγκεκριμένα, η βιβλιοθήκη αυτή δέχεται ως είσοδο δεδομένα σε μορφή RDF και παράγει ως έξοδο αντικείμενα Java ειδικά σχεδιασμένα ώστε να μοντελοποιούν κάθε έννοια των τεσσάρων οντολογιών, όπως επίσης και τις σχέσεις που αναπτύσσονται ανάμεσα στις καθορισμένες έννοιες. Έτσι, οι χρήστες της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων αποφεύγουν τη χρήση οντολογικών βιβλιοθηκών και περιορίζονται στη διαχείριση αντικειμένων Java.

Κεφάλαιο 5

Αξιολόγηση σε πραγματικό περιβάλλον παραγωγής: Αεροναυτικά προϊόντα

Όπως σημειώθηκε και στο Κεφάλαιο 4, η ευφυής, συνεργατική πλατφόρμα διαχείρισης παραγωγής iESB αναπτύχθηκε και αξιολογήθηκε με βάση δύο σενάρια διαχείρισης παραγωγής. Το πρώτο σενάριο αντιπροσωπεύει την παραγωγή πολύπλοκων προϊόντων με έμφαση στην περίοδο εκκίνησης της παραγωγής. Αντικείμενο της εν λόγω περίπτωσης χρήσης αποτελεί η περίοδος εκκίνησης της παραγωγής μίας διεθνούς εταιρίας κατασκευής αεροσκαφών. Το δεύτερο σενάριο χρήσης πραγματεύεται τη διαχείριση της παραγωγής προϊόντων εξοπλισμού καμπίνας αεροσκάφους. Το σενάριο αυτό μοντελοποιεί την παραγωγή σε μικρή κλίμακα και προσφέρεται από μία Ευρωπαϊκή εταιρία παραγωγής εξοπλισμού καμπίνας αεροσκάφους. Αν και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ανταποκρίνονται σε πραγματικές περιπτώσεις, στη συνέχεια της περιγραφής της αξιολόγησης και παρουσίασης των αποτελεσμάτων, δε θα γίνει καμία συγκεκριμένη αναφορά σε εταιρίες, τύπους προϊόντων ή εξαρτημάτων, μια και τέτοιες αναφορές δε συμβάλλουν καθόλου στην αξιολόγηση.

Η περίοδος εκκίνησης ταυτίζεται με τη διαδικασία αύξησης του ρυθμού παραγωγής: ξεκινά από την πρώτη μόλις παρτίδα προϊόντος και στοχεύει στην παραγωγή πλήρους ρυθμού. Η περίοδος αυτή συχνά απαντάται κατά την εισαγωγή ενός νέου προϊόντος, ενώ η ταχύτητά της καθορίζει κατά ένα μεγάλο ποσοστό την επιτυχία του προϊόντος από οικονομική άποψη. Εν τούτοις, η περίοδος εκκίνησης χαρακτηρίζεται από μεγάλο αριθμό προκλήσεων, καθώς τα απαιτούμενα εργαλεία, όπως επίσης και οι τεχνολογίες και διαδικασίες παραγωγής πρέπει να εγκαθίστανται έγκαιρα και να πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές [134]. Οι πιο συνήθεις αιτίες διακοπής της διαδικασίας παραγωγής [135] αφορούν:

- στο σχεδιασμό του προϊόντος και το πλήθος των μεταβολών που πρέπει να γί-

νουν πάνω σε αυτό,

- στη διαθεσιμότητα και την ποιότητα των πρώτων υλών και των λοιπών εξαρτημάτων,
- στα επίπεδα εξοικείωσης και την απόδοση του διαθέσιμου εργατικού δυναμικού.

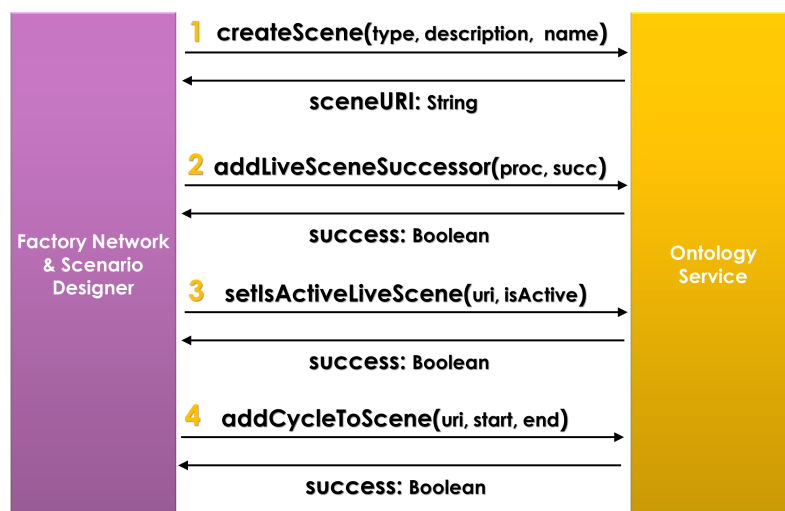
Από την άλλη πλευρά, η παραγωγή μικρής κλίμακας αντιμετωπίζει παρόμοια θέματα με τα προαναφερθέντα, δεδομένου ότι κάθε προϊόν φέρει κάποια νέα χαρακτηριστικά λόγω του μεγάλου βαθμού εξατομίκευσης. Επιπρόσθετες δυσχέρειες ανακύπτουν όταν πρέπει να χρησιμοποιηθεί η χωρητικότητα της μονάδας παραγωγής σε όλη την έκτασή της λόγω περιορισμένων χρονικών περιθωρίων [136]. Τέλος, το μικρό μέγεθος της παρτίδας παραγωγής σε μία τέτοια περίπτωση αυξάνει την πολυπλοκότητα των εργαλείων στρατηγικού σχεδιασμού και δημιουργεί προκλήσεις στη διαδικασία λήψης αποφάσεων διευρύνοντας τους σχετικούς βαθμούς ελευθερίας [137].

Οι δύο προαναφερθείσες περιπτώσεις χρήσης έχουν επιλεχθεί λόγω των ομοιοτήτων που παρουσιάζουν. Συγκεκριμένα, τόσο το σενάριο εκκίνησης της παραγωγής όσο και αυτό της παραγωγής μικρής κλίμακας χαρακτηρίζονται από συχνές διακοπές λόγω της μικρής διάρκειας της παραγωγής, η οποία μειώνει τα επίπεδα γνώσης και εξοικείωσης με τις εμπλεκόμενες διαδικασίες παραγωγής.

Στο παρόν κεφάλαιο, παρατίθεται μία αναλυτική περιγραφή βασικών λειτουργιών του iESB προσανατολισμένη στη χρήση των ευφυών υπηρεσιών του συστήματος. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο ικανοποιούνται ορισμένα από τα πιο συχνά ερωτήματα των εργαλείων του συστήματος προς την Υπηρεσία Σηματολογικών Δεδομένων αλλά και η ανταπόκριση της Υπηρεσίας Διαχείρισης Συμβάντων κατά τη σημείωση μη αναμενόμενων συμβάντων συγκεκριμένων κατηγοριών. Στο πλαίσιο αυτό, προβάλλεται η υποστασιοποίηση των εννοιών των οντολογιών της πλατφόρμας σύμφωνα με τις ανάγκες του αιτήματος υπό εφαρμογή. Τέλος, παρατίθενται οι χρόνοι εκτέλεσης δύο χαρακτηριστικών παραδειγμάτων χρήσης των ανωτέρων ευφυών υπηρεσιών στο πλαίσιο αξιολόγησής τους.

5.1 Παράδειγμα χρήσης της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων

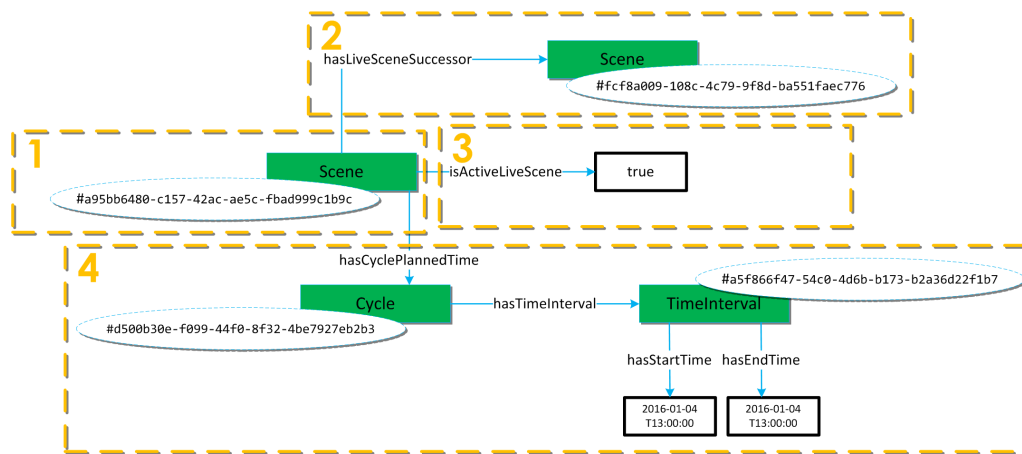
Ένας από τους κυριότερους χρήστες της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων είναι ο Σχεδιαστής Δικτύου Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής. Στα πλαίσια σχεδιασμού ενός σεναρίου παραγωγής, το εργαλείο αυτό επικοινωνεί επαναλαμβανόμενα με την πρώτη με σκοπό να αιτηθεί τη δημιουργία νέων δεδομένων, τη σύνδεση αυτών με ήδη υπάρχοντα δεδομένα ή την ανάκτηση δεδομένων του Αποθετη-



Σχήμα 26: Η αλληλεπίδραση του Εργαλείου Σχεδιασμού Δικτύου Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής και της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων στα πλαίσια της δημιουργίας Στιγμιότυπων

ρίου Τριπλετών.

Το πρώτο βήμα μίας αλυσίδας επικοινωνίας του Σχεδιαστή με την Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων σχετίζεται με τη δημιουργία ενός νέου σεναρίου δίνοντας υπόσταση στην έννοια του Στιγμιότυπου της οντολογίας Στιγμιότυπων Παραγωγής. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 26, το πρώτο αίτημα του εργαλείου FND/SD (`createScene`) αφορά στη δημιουργία ενός στιγμιότυπου και συνοδεύεται από τον τύπο του, την περιγραφή του και το όνομα αναφοράς του. Από την πλευρά της, η Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων δημιουργεί ένα νέο στιγμιότυπο, του αναθέτει ένα μοναδικό αναγνωριστικό, θέτει στις κατάλληλες ιδιότητες τις τιμές που έλαβε από το προαναφερθέν αίτημα και, τέλος, το αποθηκεύει στο Αποθετήριο Τριπλετών. Στη συνέχεια, απαντά στον FND/SD, επιστρέφοντας το μοναδικό αναγνωριστικό (URI) που ανατέθηκε στο στιγμιότυπο που δημιουργήθηκε προηγουμένως. Το αίτημα που ακολουθεί (`addLiveSceneSuccessor`) αφορά στη σύνδεση δύο διαδοχικών στιγμιότυπων. Η ευφυής υπηρεσία διαχείρισης οντολογικών δεδομένων, λαμβάνοντας το αίτημα, εξετάζει την ύπαρξη των δύο αυτών στιγμιότυπων· εάν ο έλεγχος φέρει θετικά αποτελέσματα, τότε η πρώτη συνδέει τα δύο στιγμιότυπα μέσω της οντολογικής ιδιότητας αντικειμένων `hasLiveSceneSuccessor`. Το επόμενο βήμα του παραδείγματος επικοινωνίας (`setIsActiveLiveScene`) αφορά στο χαρακτηρισμό ενός στιγμιότυπου ως *τρέχον*. Εάν η τιμή της αντίστοιχης μεταβλητής είναι *αληθής*, τότε το εν λόγω στιγμιότυπο χαρακτηρίζεται ως *τρέχον* από την Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων μέσω της οντολογικής ιδιότητας δεδομένων `isActiveLiveScene`. Στο τελευταίο βήμα (`addCycleToScene`), ο FNDSD ζητά από την οντολογική υπηρεσία να συσχετίσει το εν λόγω στιγμιότυπο με ένα αντικείμενο *Χρόνου Κύκλου*. Το αίτημα αυτό, εκτός από το μοναδικό αναγνωριστικό του στιγμιότυπου, φέρει επίσης και το χρόνο έναρξης και



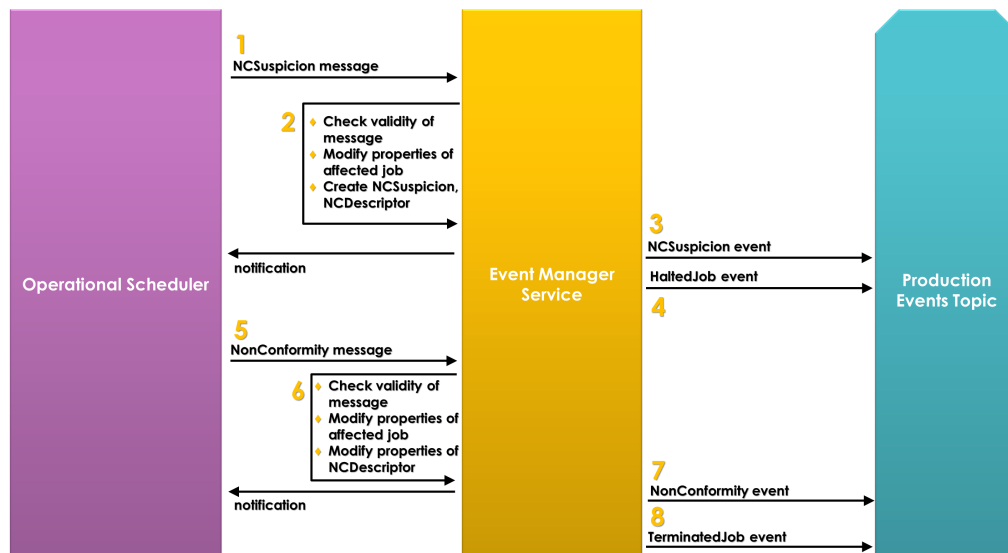
Σχήμα 27: Τα αντικείμενα της οντολογίας Στιγμιότυπων Παραγωγής που δημιουργούνται κατά την επικοινωνία του Σχεδιαστή Δικτύου Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής και της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων στα πλαίσια της δημιουργίας Στιγμιότυπων

το χρόνο λήξης του χρόνου κύκλου. Στο πλαίσιο ενός αιτήματος αυτού του τύπου, η Υπηρεσία Σηματολογικών Δεδομένων πρέπει να δημιουργήσει ένα οντολογικό αντικείμενο χρόνου κύκλου και να το συνδέσει με ένα επίσης νέο οντολογικό αντικείμενο Χρονικού Διαστήματος. Στο τελευταίο θα αναθέσει τις τιμές έναρξης και λήξης που συνόδευαν το αρχικό αίτημα. Το Σχήμα 27 απεικονίζει τα οντολογικά αντικείμενα που δημιουργήθηκαν και τις σχέσεις που αναπτύχθηκαν μεταξύ αυτών κατά τη διάρκεια του ανωτέρω παραδείγματος.

5.2 Παράδειγμα χρήσης της Υπηρεσίας Διαχείρισης Συμβάντων

Στο Σχήμα 28, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα επικοινωνίας του Εργαλείου Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού με την Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων. Το εν λόγω παράδειγμα περιγράφει την ακολουθία των πράξεων που λαμβάνουν χώρα και από τις δύο πλευρές στα πλαίσια συμβάντων σχετικών με τη Μη Συμμόρφωση ενός προϊόντος. Συγκεκριμένα, το παράδειγμα εξετάζει, αρχικά, την άφιξη ενός αιτήματος για τη δημοσίευση ενός μηνύματος *Πιθανότητας Μη Συμμόρφωσης* στην Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων. Η λήψη ενός τέτοιου μηνύματος οδηγεί την τελευταία να εξετάσει την εγκυρότητα των περιεχομένων του και, εφόσον ο έλεγχος είναι επιτυχής, να προχωρήσει στη δημοσίευση του συμβάντος στο Θέμα Δημοσίευσης Συμβάντων Παραγωγής. Ταυτόχρονα με τη δημοσίευση του συμβάντος Πιθανότητας Μη Συμμόρφωσης αποστέλλεται μία ειδοποίηση επιτυχούς επεξεργασίας του αρχικά ληφθέντος μηνύματος, ενώ δημιουργείται ένα επιπρόσθετο συμβάν από την Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων, το οποίο ανήκει στην κατηγορία συμβάντων

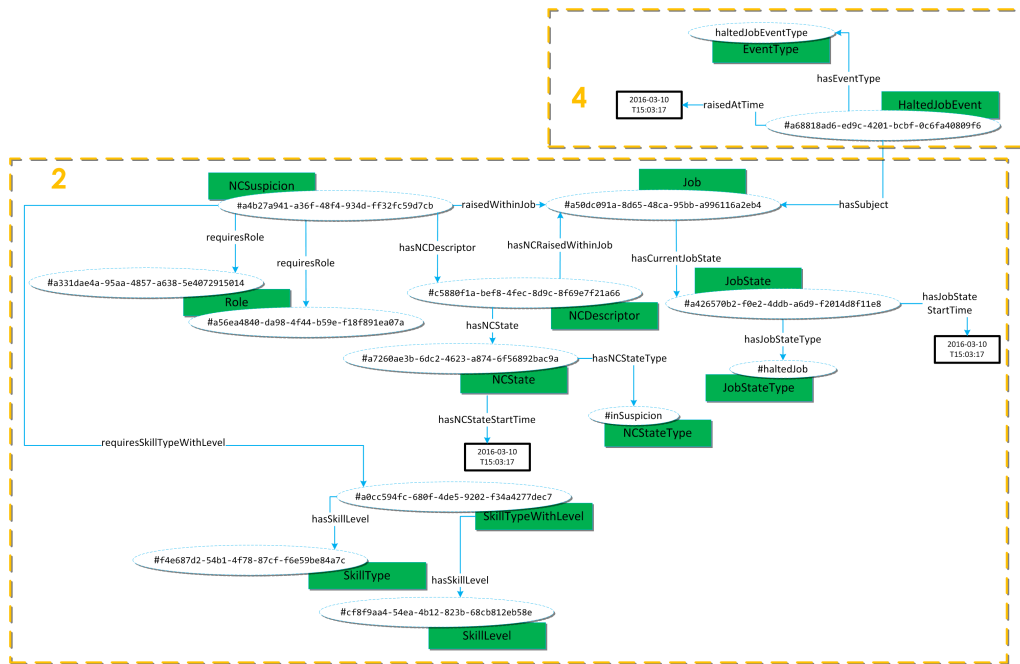
Παύσης Εργασίας. Το συμβάν αυτό αφορά στην εργασία την οποία επηρεάζει άμεσα το προηγούμενο συμβάν Πιθανότητας Μη Συμμόρφωσης, προκαλώντας την προσωρινή διακοπή της.



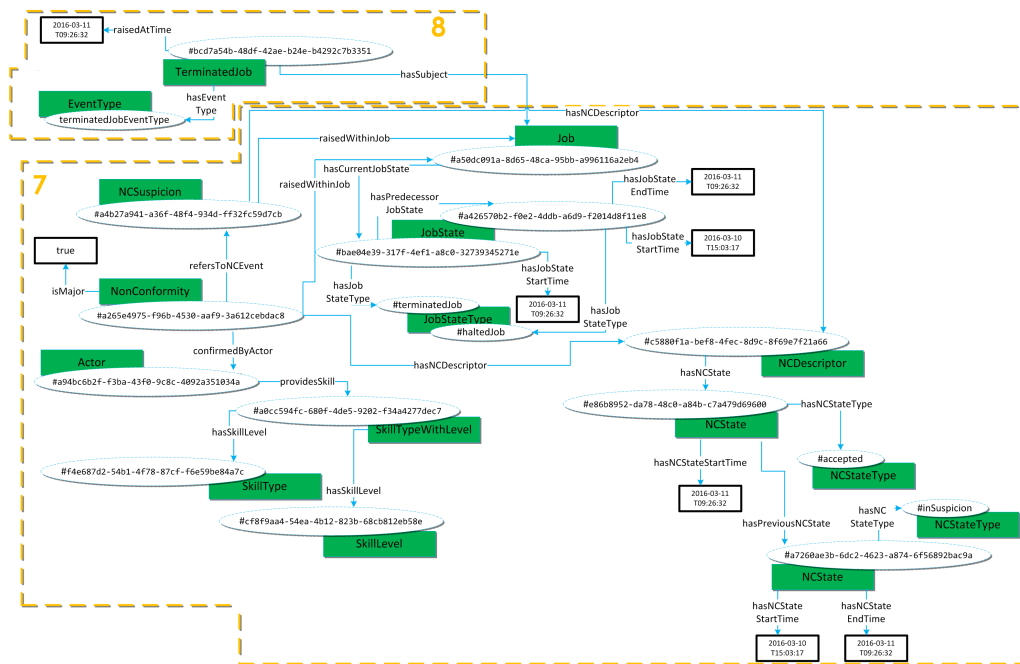
Σχήμα 28: Τα αντικείμενα της οντολογίας Στιγμιότυπων Παραγωγής που δημιουργούνται κατά την επικοινωνία του Σχεδιαστή Δικτύου Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής και της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων στα πλαίσια της δημιουργίας Στιγμιότυπων

Στο δεύτερο μέρος του παραδείγματος, το Εργαλείο Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού ζητά τη δημοσίευση ενός συμβάντος *Μη Συμμόρφωσης*, προωθώντας το κατάλληλο μήνυμα στην Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων. Ένα τέτοιο συμβάν ακολουθεί συνήθως ένα συμβάν Πιθανότητας Μη Συμμόρφωσης, όταν οι απαραίτητες διαδικασίες ελέγχου λόγω του τελευταίου επιβεβαιώνουν την πιθανότητα μη συμμόρφωσης. Όπως και προηγουμένως, η Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων εφαρμόζει τις κατάλληλες τεχνικές ελέγχου και, εάν τα αποτελέσματα είναι θετικά, προχωρά με τη δημοσίευση του συμβάντος Μη Συμμόρφωσης. Σε μία τέτοια περίπτωση, η εργασία που βρίσκεται ήδη σε κατάσταση παύσης τερματίζεται. Έτσι, η εσωτερική λογική της Υπηρεσίας Διαχείρισης Συμβάντων ωθεί την τελευταία να δημοσιεύσει ένα ακόμη συμβάν στο Θέμα Δημοσίευσης Συμβάντων, αυτό της κατηγορίας συμβάντων *Τερματισμού Εργασίας*. Τέλος, το κατάλληλο μήνυμα ειδοποίησης αποστέλλεται στο Εργαλείο Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού, ώστε να είναι ενήμερο σχετικά με την εξέλιξη του αιτήματός του.

Τα Σχήματα 29 και 30 παρέχουν μία γραφική αναπαράσταση του πρώτου και του δεύτερου σκέλους του ανωτέρω παραδείγματος, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα, παρουσιάζουν τον τρόπο με τον οποίο δημιουργούνται στιγμιότυπα των κατάλληλων εννοιών των οντολογιών της πλατφόρμας. Τα απεικονιζόμενα στιγμιότυπα προέρχονται τόσο από το σχηματισμό ενός συμβάντος στα πλαίσια της σημασιολογικής



Σχήμα 29: Τα αντικείμενα της οντολογίας Στιγμιότυπων Παραγωγής που δημιουργούνται στο πλαίσιο ενός συμβάντος Πιθανότητας Μη Συμμόρφωσης



Σχήμα 30: Τα αντικείμενα της οντολογίας Στιγμιότυπων Παραγωγής που δημιουργούνται στο πλαίσιο ενός συμβάντος Μη συμμόρφωσης

περιγραφής του, όσο και από την επεξεργασία του σύμφωνα με τη λογική της ευφυούς υπηρεσίας διαχείρισης συμβάντων.

5.3 Αξιολόγηση συστήματος

Στα πλαίσια επίδειξης της απόδοσης του συστήματος, αναπτύχθηκαν και εκτελέστηκαν δύο παραδείγματα επικοινωνίας με τις ευφυείς υπηρεσίες του συστήματος, όπως αυτά παρουσιάστηκαν παραπάνω. Τα παραδείγματα εκτελέστηκαν σε προσωπικό υπολογιστή με επεξεργαστή Intel Core i5 2.80 GHz, μνήμη RAM 8 GB, λειτουργικό σύστημα Microsoft Windows 7 Professional και Java Runtime Environment v.1.7. Επίσης, οι παρουσιαζόμενες υπηρεσίες αναπτύχθηκαν ως υπηρεσίες του διαύλου JBossESB της έκδοσης v.4.12, ο οποίος εγκαταστάθηκε στον εξυπηρετητή εφαρμογών JBoss v.6.1. Κάθε ένα από τα παραδείγματα εκτελέστηκε δέκα φορές. Οι χρόνοι εκτέλεσης που παρουσιάζονται ακολούθως αποτελούν το μέσο όρο των επιμέρους χρόνων εκτέλεσης.

Το πρώτο εκ των δύο παραδειγμάτων αποτελεί αναπαράσταση της επικοινωνίας του Σχεδιαστή Δικτύου Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής με την Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων. Σε αυτό το πλαίσιο, δημιουργήθηκαν πέντε αντικείμενα της οντολογικής έννοιας του *Τρέχοντος Στιγμιότυπου*, σε καθένα από τα οποία ανατέθηκε, εκτός της κατηγορίας του, μία περιγραφή και ένα όνομα. Στη συνέχεια, τα αντικείμενα αυτά συνδέθηκαν μεταξύ τους μέσω της ιδιότητας της διαδοχής με το δεύτερο τρέχον στιγμιότυπο να διαδέχεται το πρώτο στιγμιότυπο, το τρίτο να διαδέχεται το δεύτερο κ.ο.κ. Αφού δημιουργήθηκαν τα προαναφερθέντα στιγμιότυπα, ένα από αυτά έπρεπε να καθοριστεί ως ενεργό τρέχον στιγμιότυπο. Έτσι, στην κατάλληλη ιδιότητα του πρώτου τρέχοντος στιγμιότυπου ανατέθηκε η τιμή *αληθής*, ενώ στην αντίστοιχη ιδιότητα των επόμενων στιγμιότυπων ανατέθηκε η τιμή *ψευδής*. Τέλος, κάθε στιγμιότυπο συνδέθηκε με μία περίοδο ισχύος, καθορίζοντας το χρόνο κύκλου του.

Ο Πίνακας 3 απεικονίζει τους χρόνους εκτέλεσης του πρώτου παραδείγματος. Ανάλογα με την πολυπλοκότητά της και το μέγεθος του περιεχομένου του μηνύματος που αποστέλλεται από το Σχεδιαστή Δικτύου Εργοστασίου και Σεναρίων Παραγωγής, κάθε μία από τις απεικονιζόμενες λειτουργίες παρουσιάζει διαφορετικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, η λειτουργία δημιουργίας στιγμιότυπου *CreateScene*, η οποία περιλαμβάνει τη δημιουργία και προσθήκη στο Αποθετήριο Τριπλετών τεσσάρων δηλώσεων RDF, απαιτεί περίπου 163 ms. Το μήνυμα που ανταλλάχθηκε στα πλαίσια αυτής της λειτουργίας είχε ωφέλιμο μέγεθος ίσο με 152 bytes. Η δεύτερη λειτουργία της ανάθεσης διαδεχόμενου στιγμιότυπου (*AddSuccessor*) εκτελείται κατά μέσο όρο σε 134 ms, ενώ το αντίστοιχο ωφέλιμο μέγεθος του μηνύματος ισούται με 102 bytes. Αντίστοιχα, ο καθορισμός ενός στιγμιότυπου ως ενεργό ή μη απαιτεί περίπου 140 ms με το μέγεθος του περιεχομένου του μηνύματος να είναι ίσο με 92 bytes, ενώ, τέλος, η ανάθεση ενός αντικειμένου Κύκλου σε ένα στιγμιότυπο διαρκεί περίπου 186 ms. Στην τελευταία περίπτωση, το περιεχόμενο του μηνύματος καταλαμβάνει 156 bytes. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί ότι οι παραπάνω χρόνοι αφορούν

Πίνακας 3: Οι χρόνοι εκτέλεσης (σε msec) τεσσάρων λειτουργιών της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων κάνοντας χρήση του Αποθετηρίου Τριπλετών

Επανάληψη \ Λειτουργία	CreateScene	AddSuccessor	IsActive	AddCycle
1η	381,20	125,00	125,00	312,40
2η	150,00	132,75	209,20	171,80
3η	137,60	132,75	137,40	156,20
4η	134,20	129,00	153,40	215,40
5η	146,60	144,75	122,00	156,00
6η	140,60	120,75	115,80	153,00
7η	124,80	214,75,00	134,40	184,20
8η	137,80	117,25	149,60	231,40
9η	147,00	121,25	143,60	137,80
10η	134,00	109,50	115,40	143,80
M.O. μεγέθους μηνύματος	~152B	~102B	~92B	~156B
M.O. χρόνου εκτέλεσης	163,38	134,78	140,58	186,20

τόσο στην αποστολή του αιτήματος και τη λήψη της απάντησης όσο και στην επεξεργασία του αιτήματος από την Υπηρεσία Οντολογικών Δεδομένων. Κατά την εκτέλεση των πειραμάτων, το Αποθετήριο Τριπλετών διατηρούσε δεδομένα μεγέθους 94 MB, τα οποία αντιστοιχούσαν σε 137,198 αντικείμενα RDF και 680,968 δηλώσεις RDF.

Πίνακας 4: Οι χρόνοι εκτέλεσης (σε msec) τεσσάρων λειτουργιών της Υπηρεσίας Οντολογικών Δεδομένων κάνοντας χρήση της σχεσιακής βάσης δεδομένων

Επανάληψη \ Λειτουργία	CreateScene	AddSuccessor	IsActive	AddCycle
1η	334,60	152,00	153,00	159,60
2η	156,20	132,50	140,80	124,80
3η	126,60	188,00	127,80	128,20
4η	156,40	144,25	131,20	131,00
5η	128,40	117,00	118,80	118,80
6η	128,00	132,75	140,80	156,20
7η	168,80	163,75,00	137,60	128,20
8η	146,60	157,25	147,00	118,40
9η	128,40	183,50	143,80	137,60
10η	131,20	133,00	165,60	182,20
M.O. μεγέθους μηνύματος	~151B	~64B	~74B	~156B
M.O. χρόνου εκτέλεσης	160,52	150,40	140,64	138,50

Για την αξιολόγηση του προτεινόμενου συστήματος, οι ίδιες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε μία σχεσιακή βάση δεδομένων MySQL, η οποία περιείχε τμήματα των δεδομένων παραγωγής που διατηρούσε την ίδια περίοδο το Αποθετήριο Τριπλετών. Η βάση δεδομένων MySQL, η οποία είχε εγκατασταθεί στον ίδιο προσωπικό



Σχήμα 31: Γραφική παράσταση των χρόνων εκτέλεσης των τεσσάρων λειτουργιών για τη Σχεσιακή Βάση Δεδομένων και το Αποθετήριο Τριπλετών

υπολογιστή κάνοντας χρήση της έκδοσης v. 14.14, distr. 5.7.9 της MySQL, διατηρούσε συνολικά 30,520 εγγραφές, ενώ το μέγεθός της ανερχόταν στα 6.3 MB. Τα αποτελέσματα για τις ίδιες λειτουργίες με το προηγούμενο παράδειγμα απεικονίζονται στον Πίνακα 4. Παρατηρούμε ότι, αν και ένα Αποθετήριο Τριπλετών είναι μία πιο σύνθετη δομή σε σχέση με μία σχεσιακή βάση δεδομένων, η πρώτη περίπτωση των οντολογικών δεδομένων παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα στις δύο από τις τέσσερις λειτουργίες του παραδείγματος σε σχέση με τη δεύτερη περίπτωση των σχεσιακών δεδομένων. Ταυτόχρονα, αξίζει να σημειωθεί ότι η σημασιολογική δομή δεδομένων παρουσιάζει περίπου τα ίδια αποτελέσματα με αυτά της σχεσιακής δομής, ακόμη και αν η δεύτερη διατηρεί περίπου δεκατρείς φορές λιγότερα δεδομένα από την πρώτη. Το Σχήμα 31 παρέχει μία γραφική απεικόνιση της σύγκρισης των χρόνων εκτέλεσης των τεσσάρων λειτουργιών CreateScene, AddSuccessor, SetActive και AddCycle, όπως αυτοί σημειώθηκαν κάνοντας χρήση της σχεσιακής βάσης δεδομένων και του Αποθετηρίου Τριπλετών.

Η δεύτερη εφαρμογή της ευφυούς πλατφόρμας αφορά στη δημιουργία και δημοσίευση δύο συμβάντων παραγωγής, ενός συμβάντος Πιθανότητας Μη Συμμόρφωσης και ενός συμβάντος Μη Συμμόρφωσης, όπως ακριβώς συμβαίνει στο παράδειγμα του Σχήματος 30. Στο πλαίσιο του παρόντος παραδείγματος, το εργαλείο Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού αποστέλλει ένα μήνυμα Πιθανότητας Μη Συμμόρφωσης ακολουθούμενο από ένα μήνυμα Μη Συμμόρφωσης στην Υπηρεσία Διαχείρι-

Πίνακας 5: Οι χρόνοι εκτέλεσης (σε msec) των υποκείμενων λειτουργιών δημοσίευσης του συμβάντος Πιθανότητας Μη Συμμόρφωσης

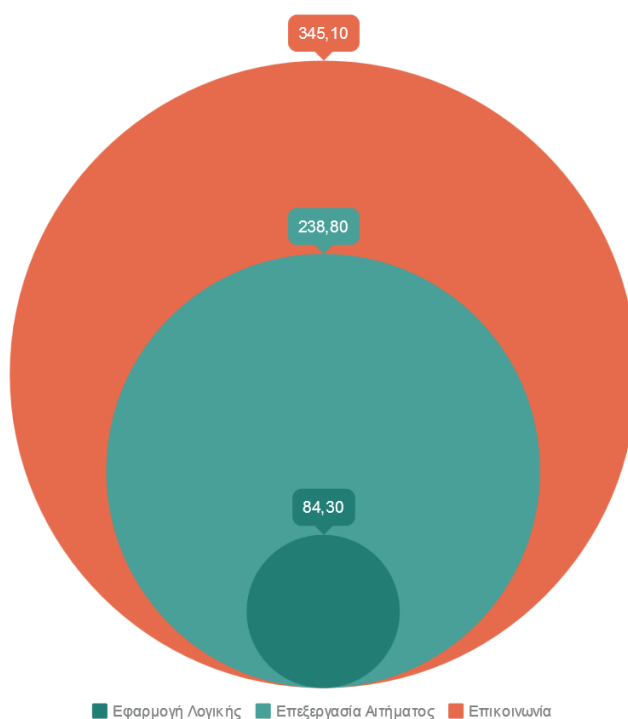
Επανάληψη \ Λειτουργία	Εφαρμογή Λογικής	Επεξεργασία Αιτήματος	Επικοινωνία
1η	343,00	422,00	1641,00
2η	109,00	203,00	187,00
3η	63,00	171,00	250,00
4η	47,00	858,00	219,00
5η	47,00	109,00	203,00
6η	78,00	156,00	203,00
7η	31,00	125,00	156,00
8η	47,00	93,00	203,00
9η	47,00	141,00	234,00
10η	31,00	110,00	155,00
Μ.Ο. χρόνου εκτέλεσης	84,30	238,80	345,10

σης Συμβάντων, η οποία ακολουθεί όλα τα απαραίτητα βήματα, όπως αυτά περιγράφηκαν προηγουμένως, ώστε να δημοσιευθούν τα μηνύματα αυτά στο Θέμα Δημοσίευσης Συμβάντων Παραγωγής. Σημειώνεται ότι το συμβάν Πιθανότητας Μη Συμμόρφωσης οδηγεί στη δημοσίευση ενός συμβάντος Παύσης Εργασίας, ενώ το συμβάν Μη Συμμόρφωσης προκαλεί τη δημοσίευση ενός συμβάντος Τερματισμού Εργασίας.

Οι Πίνακες 5 και 6 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της εκτέλεσης του προαναφερθέντος παραδείγματος. Συγκεκριμένα, ο Πίνακας 5 παραθέτει τους χρόνους εκτέλεσης δέκα επαναλήψεων επικοινωνίας του Εργαλείου Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού και της Υπηρεσίας Διαχείρισης Συμβάντων στα πλαίσια ενός συμβάντος Πιθανότητας Μη Συμμόρφωσης, όπως επίσης και τον ανακλύπτοντα μέσο όρο. Στο παράδειγμα αυτό, ο χρόνος εκτέλεσης αναλύεται σε τρεις επιμέρους χρόνους: στο χρόνο εφαρμογής λογικής από την Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων, το χρόνο επεξεργασίας αιτήματος από την ίδια υπηρεσία και το χρόνο επικοινωνίας ανάμεσα στις δύο συμμετέχουσες οντότητες. Ο Πίνακας 6 παρουσιάζει τα αντίστοιχα αποτελέσματα για την περίπτωση ενός συμβάντος Μη Συμμόρφωσης. Τα Σχήματα 32 και 33 παρέχουν μία γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων του δεύτερου παραδείγματος χρήσης των ευφύων επικοινωνιών του iESB. Όπως φαίνεται, οι συνολικοί χρόνοι του δεύτερου παραδείγματος είναι ελάχιστα μεγαλύτεροι των χρόνων του πρώτου παραδείγματος, το οποίο οφείλεται στο γεγονός ότι η επεξεργασία και η λογική που εφαρμόζεται στα εμπλεκόμενα αιτήματα παρουσιάζει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα σε σχέση με τα αιτήματα του πρώτου παραδείγματος. Επιπλέον, στο χρόνο επεξεργασίας των παραπάνω αιτημάτων περιλαμβάνεται και η σύνθεση και δημοσίευση δύο επιπρόσθετων συμβάντων, αυτών της Παύσης και του Τερματισμού της Εργασίας που επηρεάζεται άμεσα από τα αρχικά συμβάντα.

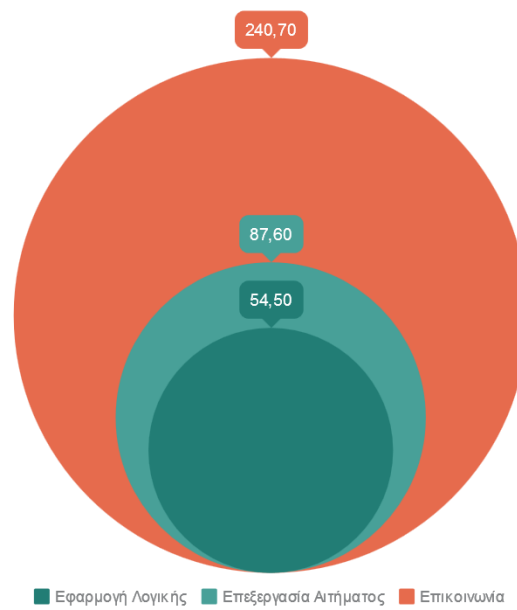
Πίνακας 6: Οι χρόνοι εκτέλεσης (σε msec) των υποκείμενων λειτουργιών δημοσίευσης του συμβάντος Μη Συμμόρφωσης

Επανάληψη \ Λειτουργία	Εφαρμογή Λογικής	Επεξεργασία Αιτήματος	Επικοινωνία
1η	62,00	94,00	266,00
2η	63,00	94,00	313,00
3η	62,00	79,00	218,00
4η	47,00	78,00	280,00
5η	78,00	125,00	188,00
6η	46,00	78,00	204,00
7η	47,00	78,00	251,00
8η	62,00	94,00	234,00
9η	31,00	94,00	218,00
10η	47,00	62,00	235,00
Μ.Ο. χρόνου εκτέλεσης	54,50	87,60	240,70



Σχήμα 32: Γραφική παράσταση των χρόνων εκτέλεσης των λειτουργιών δημοσίευσης ενός συμβάντος Πιθανότητας Μη Συμμόρφωσης

Συμπερασματικά, η απόδοση του συστήματος μπορεί να χαρακτηριστεί ως ικανοποιητική και συγκρίσιμη με την απόδοση μίας σχεσιακής βάσης δεδομένων, καθώς οι χρόνοι απόκρισης του συστήματος, όπως παρουσιάστηκαν προηγουμένως, δεν είναι καθόλου απαγορευτικοί. Παρ' όλα αυτά, το σύστημα επιδέχεται περαιτέρω



Σχήμα 33: Γραφική παράσταση των χρόνων εκτέλεσης των λειτουργιών δημοσίευσης ενός συμβάντος Μη Συμμόρφωσης

βελτίωση ώστε να παρουσιάζει ακόμη καλύτερους χρόνους εκτέλεσης και να μπορεί να αντεπεξέλθει στις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις των υπό εξέταση σύνθετων περιβαλλόντων.

Κεφάλαιο 6

Επέκταση χρήσης της αρχιτεκτονικής σε συνεργατικά περιβάλλοντα προσανατολισμένα σε στόχους

Η αρχιτεκτονική της ευφυούς πλατφόρμας διαχείρισης σχεδιάστηκε έχοντας ως γνώμονα τις απαιτήσεις των δύο περιπτώσεων χρήσης που περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 5. Στόχος των επόμενων κεφαλαίων είναι η παρουσίαση της δυνατότητας της αρχιτεκτονικής να προσαρμόζεται σε σενάρια πέραν της κατασκευής αεροναυτικών προϊόντων. Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η ύπαρξη ενός ή περισσότερων στόχων, τα χαρακτηριστικά των οποίων είναι ορισμένα εκ των προτέρων με σαφήνεια. Ταυτόχρονα, η υλοποίηση των στόχων αυτών θα πρέπει να περιλαμβάνει την ενσωμάτωση ετερογενών υπηρεσιών στα πλαίσια ενός συνεργατικού περιβάλλοντος.

Στην τρέχουσα εποχή, όπου δύο ή περισσότερες οντότητες, έμβιες ή άβιες, μπορούν να συνδεθούν με τόσους τρόπους όσους τους παρέχει η τεχνολογία, τα Συνεργατικά Περιβάλλοντα υιοθετούνται κατά κόρον από οργανισμούς. Απώτερος στόχος είναι η αξιοποίηση μίας ενσωματωμένης βάσης γνώσης, η οποία προέρχεται από κάθε συνιστώσα του συνεργατικού περιβάλλοντος. Ως *συνεργατικό* ορίζεται ένα περιβάλλον όταν τα συστατικά του στοιχεία επικοινωνούν, συντονίζονται και συνεργάζονται για να εκπληρώσουν έναν κοινό στόχο. Τα σύγχρονα συνεργατικά περιβάλλοντα αποτελούνται από ένα μεγάλο εύρος υπολογιστικών συστημάτων και επικοινωνιακών τεχνολογιών, όπως είναι οι τεχνικές άμεσης ανταλλαγής μηνυμάτων ή ομαδοποιημένης πληροφόρησης. Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα συνεργατικά περιβάλλοντα συγκαταλέγεται η δυνατότητα συλλογικής ανάλυσης των δεδομένων από πολλαπλές οντότητες, είτε αυτές αποτελούν επαγγελματίες εξειδικευμένους στους εμπλεκόμενους τομείς, είτε αφορούν σε εργαλεία λογισμικού. Τα

συνεργατικά περιβάλλοντα σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτρέπουν στην πληροφορία να αναλύεται και να διαμοιράζεται σε πραγματικό χρόνο σε πολλαπλούς παραλήπτες, σχηματίζοντας ένα συνεργατικό μέσο επίλυσης προβλημάτων με τη δυνατότητα να ανιχνεύει, να επεξηγεί και να αναλύει δεδομένα.

Η έννοια των συνεργατικών περιβαλλόντων συχνά βρίσκει εφαρμογή στον τομέα της Παραγωγής, στην Εκπαίδευση, την Ηλεκτρονική Διακυβέρνηση και τον τομέα της Υγείας με σκοπό τη διατήρηση της φυσικής κατάστασης και της ευημερίας ενός ατόμου. Καθένας από τους ανωτέρω τομείς συχνά συνδέεται με έναν ή περισσότερους στόχους. Στην Παραγωγή, όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 4, οι υπηρεσίες του συνεργατικού περιβάλλοντος που σχηματίζει το iESB συνεργάζονται με σκοπό το σχεδιασμό και το χρονοπρογραμματισμό διαδικασιών παραγωγής. Στην Εκπαίδευση, οι υποκείμενες οντότητες ενός συνεργατικού περιβάλλοντος αλληλεπιδρούν, για παράδειγμα, με σκοπό να ενισχύσουν τις εξατομικευμένες διαδικασίες μάθησης ενός ατόμου με βάση την πρόοδό του στις ενδοσχολικές και εξωσχολικές του δραστηριότητες. Στην Ηλεκτρονική Διακυβέρνηση, συνεργατικές, ευφυείς υπηρεσίες διασφαλίζουν την εξάλειψη της ετερογένειας στις έννοιες των βάσεων γνώσης σχετικών με τομείς δημόσιας διοίκησης διαφόρων χωρών του κόσμου. Στον τομέα της Υγείας και της Ευημερίας, ευφυή εργαλεία ανταλλάσσουν τη γνώση τους με σκοπό να βελτιώσουν τη φυσική κατάσταση και την ποιότητα ζωής των ανθρώπων. Στην τελευταία περίπτωση, οι ραγδαίες εξελίξεις της τεχνολογίας των ενδυτών συσκευών έχουν οδηγήσει στην ανεξέλεγκτη παραγωγή βιομετρικών δεικτών, οι οποίοι, απουσία των κατάλληλων μέσων ενσωμάτωσης και επεξεργασίας, προκαλούν, ως επί το πλείστον, ένα θόρυβο δεδομένων.

Για την απόδειξη της ανωτέρω υπόθεσης, η αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου του iESB εφαρμόζεται στον τομέα της διαχείρισης ιατρικών δεδομένων και δεικτών ευημερίας. Ο τομέας αυτός επιλέχθηκε λόγω της συνεχούς ροής δεδομένων που προέρχονται από τις δημοφιλείς, πλέον, ενδυτές συσκευές, σε συνδυασμό με το διαρκώς εμπλουτιζόμενο σύνολο των διαθέσιμων ενδυτών συσκευών. Οι συσκευές αυτές παρακολουθούν ένα σύνολο από δείκτες ανά τακτά χρονικά διαστήματα και καταγράφουν τις σχετικές τιμές. Πολλές φορές, τέτοιοι δείκτες παρατηρούνται μεμονωμένοι, χωρίς να συνδυάζονται με παρεμφερή δεδομένα ώστε να εξαγονται ασφαλή συμπεράσματα. Ο *Δίαυλος Υπηρεσιών Ευημερίας* (Wellbeing Service Bus – WSB) στοχεύει στη συγκέντρωση ετερογενών δεδομένων από ένα πολυπληθές σύνολο πηγών και στη διάθεση των ομογενοποιημένων πλέον δεδομένων με σκοπό την εξαγωγή πολύτιμων συμπερασμάτων.

Στο WSB, τα δεδομένα προέρχονται από εφαρμογές ενδυτών και κινητών συσκευών και από διαδικτυακές εφαρμογές. Αξιοποιώντας τις κατάλληλες υπηρεσίες της πλατφόρμας, τα ανακτηθέντα δεδομένα φιλτράρονται, ομογενοποιούνται και υπόκεινται σε περαιτέρω επεξεργασία ώστε να εξαχθούν πιο λεπτομερή και ουσιαστικά δεδομένα. Η βάση γνώσης του WSB διατηρείται από ευφυείς υπηρεσίες βασι-

σμένες στις οντολογίες. Οι υπηρεσίες αυτές είναι υπεύθυνες για το διαρκή εμπλουτισμό της, εφαρμόζοντας μία εσωτερική, ειδικά διαμορφωμένη λογική στα δεδομένα. Τελικά, η βάση γνώσης της πλατφόρμας εξυπηρετεί τα εργαλεία της, τα οποία αναπτύσσονται σύμφωνα με τις ανάγκες του τρέχοντος συνεργατικού σεναρίου υπό εφαρμογή. Κατά τις παραπάνω διαδικασίες, εφαρμόζονται διεθνή πρότυπα δόμησης μηνυμάτων και αναπαράστασης δεδομένων.

6.1 Κίνητρα

Οι εξελίξεις στην τεχνολογία ενδυτών συσκευών έχουν εισάγει μία πληθώρα από συσκευές, οι οποίες δύνανται να καταγράφουν και να δημοσιεύουν ένα ευρύ σύνολο από παραμέτρους σχετικές με την υγεία και την ευημερία. Έτσι, οι συσκευές αυτές παρέχουν πληροφορίες σχετικές με τις καθημερινές δραστηριότητες ενός ατόμου και με πιθανούς κινδύνους για την υγεία του, ενώ ταυτόχρονα δρουν ως προσωπικοί προπονητές συμβάλλοντας στη βελτίωση της φυσικής κατάστασης. Παρ' όλα αυτά, τα δεδομένα που παράγονται από μία μόνο συσκευή (ή οποιοδήποτε άλλο αντικείμενο) είναι μονόπλευρα· μία μόνο συσκευή δεν μπορεί να συνδυάσει τα δεδομένα που παράγει με άλλα τμήματα πληροφορίας. Για παράδειγμα, ορισμένες συσκευές εκγύμνασης συχνά προτείνουν την ενασχόληση των χρηστών τους με έντονη φυσική δραστηριότητα χωρίς να λαμβάνουν υπόψη πιθανές καρδιακές παθήσεις των χρηστών αυτών [11]. Στο πλαίσιο αυτό, έχει αναγνωρισθεί η ανάγκη για ένα πρότυπο συστήματος, το οποίο όχι μόνο ενσωματώνει τα δεδομένα που προέρχονται από πολλαπλές πηγές, αλλά παρέχει επίσης τις απαραίτητες μεθόδους συλλογικής επεξεργασίας των δεδομένων αυτών θέτοντας ως στόχο την εξαγωγή ασφαλών και εμπειριστατωμένων συμπερασμάτων.

Ταυτόχρονα, το τεράστιο αυτό πλήθος ιατρικών δεδομένων και δεδομένων ευημερίας θα μπορούσε να κοινοποιείται άμεσα στους γιατρούς, τους διαιτολόγους και τους προπονητές του ιδιοκτήτη των προαναφερθέντων δεδομένων, επιτρέποντας την άμεση αντίδραση των πρώτων σε σοβαρά περιστατικά. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τη δυνατότητα αυτόματου συγχρονισμού των δεδομένων με την ιατρική καρτέλα του χρήστη, ενθαρρύνει την παρακολούθηση ενός ασθενούς χωρίς να απαιτείται η φυσική του παρουσία σε νοσοκομεία ή ιατρικά κέντρα.

Η ηλεκτρονική καταγραφή των βιομετρικών δεικτών ενός ατόμου και η ενσωμάτωσή τους με το ιατρικό ιστορικό του μπορεί να διευκολύνει τη διατήρηση μίας ηλεκτρονικής ταυτότητας υγείας του χρήστη. Η ηλεκτρονική αυτή ταυτότητα μπορεί να βρει εφαρμογή, σε πρώτο στάδιο, σε εθνικό επίπεδο και σταδιακά να χρησιμοποιηθεί ευρύτερα σε χώρες της ίδιας ηπείρου και τελικά σε περιοχές όλου του κόσμου, εξασφαλίζοντας την ιατρική περίθαλψη ενός ατόμου ανεξάρτητα από την τοποθεσία του. Η ιδέα ενός *Ηλεκτρονικού Φακέλου Υγείας* (Electronic Health Record – EHR)

έχει ήδη βρει εφαρμογή σε αρκετές Ευρωπαϊκές χώρες, όπως είναι το Ηνωμένο Βασίλειο, η Σουηδία, η Φινλανδία, η Ολλανδία και η Δανία [138]. Η εφαρμογή του EHR στην Ελλάδα βρίσκεται σε αρκετά αρχικό στάδιο, με τον Αριθμό Μητρώου Κοινωνικής Ασφάλισης (ΑΜΚΑ) και το σύστημα Ηλεκτρονικής Συνταγογράφησης να αποτελούν τα πρώτα βήματα προς την κατεύθυνση αυτή [139].

Επιπρόσθετα, τα λεπτομερή και πολυδιάστατα δεδομένα των ενδυτών συσκευών σε συνδυασμό με το ιατρικό ιστορικό ενός ατόμου, στα πλαίσια σύστασης του EHR, θα μπορούσαν να ενισχύσουν, εκτός άλλων, την απομακρυσμένη περίθαλψη και την ανάρρωση στο σπίτι. Εφαρμόζοντας κατάλληλους αλγόριθμους ανάλυσης δεδομένων, η επεξεργασία των συλλεγμένων δεδομένων σε συνδυασμό με το ιατρικό ιστορικό ενός ατόμου θα μπορούσε να οδηγήσει στην πρόληψη ή στην έγκαιρη αντιμετώπιση σοβαρών παθήσεων. Απαραίτητη προϋπόθεση ως προς τα παραπάνω αποτελεί η μελέτη των δεδομένων αυτών από ειδικούς του κλάδου Υγείας.

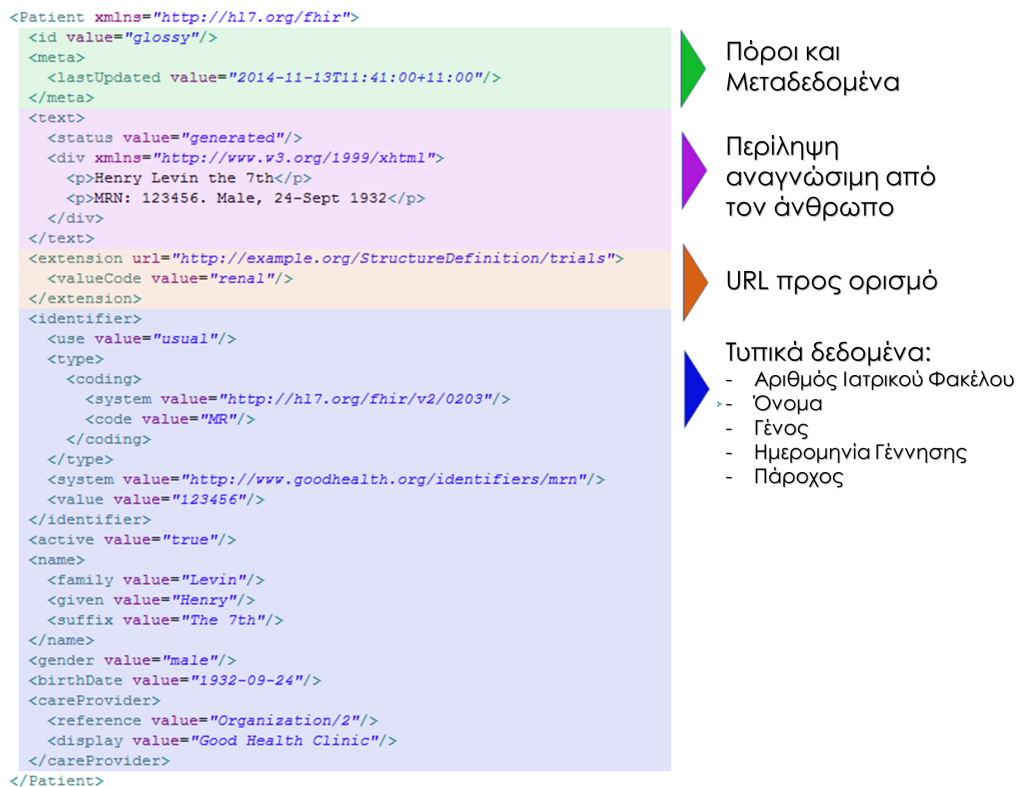
6.2 Σύστημα διαχείρισης δεδομένων υγείας και δεικτών ευημερίας

Έως και σήμερα, οι εφαρμογές και τα συστήματα που επεξεργάζονται δεδομένα υγείας και ευημερίας προερχόμενα από ενδυτές συσκευές και άλλα ευφυή συστήματα ποικίλουν· κάθε μία από αυτές τις εφαρμογές και τα συστήματα εξυπηρετεί ένα διαφορετικό, καλώς ορισμένο σκοπό. Στη συνέχεια της παρούσας διδακτορικής διατριβής, πραγματοποιείται μία σύντομη αναφορά σε πρότυπες τεχνολογίες, οι οποίες διασφαλίζουν τη διαλειτουργικότητα στο επίπεδο των δεδομένων υγείας και ευημερίας και των συσκευών που καταγράφουν δεδομένα αυτού του είδους. Ακολουθως, πραγματοποιείται μία σύντομη αναφορά στις διαδικτυακές εφαρμογές και στα συστήματα που διαχειρίζονται δεδομένα υγείας και δείκτες ευημερίας για την επίτευξη κάποιου στόχου. Παρόμοιες λειτουργίες με αυτές του WSB προσφέρονται από διαδικτυακές εφαρμογές, εφαρμογές κινητών συσκευών και πλατφόρμες βασισμένες σε υπηρεσίες, οι οποίες επικοινωνούν με ενδυτές συσκευές.

6.2.1 Υπάρχουσες τεχνολογίες

Παρακάτω αναλύονται οι τρέχουσες τεχνολογίες διαχείρισης δεδομένων υγείας και δεικτών ευημερίας, ενώ στη συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζονται οι πιο δημοφιλείς οντολογίες αναπαράστασης ιατρικών δεδομένων και δεικτών ευημερίας στα πλαίσια βελτίωσης της ευεξίας των ανθρώπων.

Τεχνολογίες διαλειτουργικότητας στο επίπεδο των δεδομένων Η ετερογένεια των συσκευών και των ευφύων οντοτήτων που δρουν σαν πηγές δεδομένων εισάγει την ανάγκη μετασχηματισμού των πρωτογενών δεδομένων σε κατανοητά, δομημένα και προτυποποιημένα μηνύματα. Μία δημοφιλής επιλογή για προτυποποιημένη ανταλλαγή μηνυμάτων ανάμεσα σε οντότητες και την πλατφόρμα WSB αποτελεί το ανερχόμενο πρότυπο FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources) [140] [141] του οργανισμού HL7 (Health Level Seven) [142]. Το πρότυπο FHIR υιοθετεί την αρχιτεκτονική REST, ενώ αναπαριστά όλα τα ανταλλασσόμενα αντικείμενα με τη μορφή πόρων, οι οποίοι διαμοιράζονται ένα σύνολο κοινών χαρακτηριστικών. Το πρότυπο ορίζει πόρους για διαχειριστικές έννοιες, όπως είναι ο ασθενής, ο πάροχος, ο οργανισμός και η συσκευή, όπως επίσης και μία ποικιλία κλινικών όρων, οι οποίοι αναφέρονται σε παθήσεις, αγωγές, διαγνώσεις, προγράμματα φροντίδας και οικονομικά ζητήματα.



Σχήμα 34: Τα τμήματα ενός πόρου

Όλοι οι πόροι που ακολουθούν τις προδιαγραφές του FHIR διαθέτουν μία κοινή μέθοδο αναπαράστασης. Συγκεκριμένα, ο ορισμός τους αποτελείται από:

- το μοναδικό αναγνωριστικό τους και ένα σύνολο μεταδεδομένων,
- μία περίληψη του πόρου τέτοια, ώστε να είναι αναγνώσιμη από τον άνθρωπο,
- μία αναφορά στο URL της διεύθυνσης μέσω της οποίας είναι προσβάσιμος ο πόρος και

- ένα σύνολο από δεδομένα που αφορούν στον ίδιο τον πόρο και μοντελοποιούν τα χαρακτηριστικά του.

Henry Levin the 7th

MRN: 123456. Male, 24-Sept 1932

Σχήμα 35: Το αφήγημα του παραδείγματος ενός πόρου FHIR του Σχήματος 34

Στο Σχήμα 34 απεικονίζεται η δομή ενός πόρου του τύπου *Ασθενής* (Patient). Το πρώτο μέρος του ορισμού του πόρου αυτού αποτελείται από το μοναδικό αναγνωριστικό (id) που του έχει ανατεθεί από τον εξυπηρετητή ο οποίος τον φιλοξενεί και από ένα πεδίο, τμήμα των μεταδεδομένων, το οποίο ορίζει την τελευταία ημερομηνία τροποποίησης του πόρου (lastUpdated). Το επόμενο τμήμα του ορισμού παρέχει μία περίληψη του ίδιου του πόρου με τρόπο τέτοιο, ώστε να είναι αναγνώσιμη από τον άνθρωπο. Η περίληψη αυτή, η οποία καλείται *αφήγημα* (narrative) και παρουσιάζεται με τη χρήση κώδικα HTML, δρα σα δικλείδα ασφαλείας (Σχήμα 35). Το τρίτο μέρος του ορισμού του πόρου του παραδείγματος παρουσιάζει μία *επέκταση* (extension). Μία επέκταση δίνει τη δυνατότητα προσθήκης χαρακτηριστικών τα οποία δεν αποτελούν μέρος της βασικής δομής ενός πόρου. Κάθε επέκταση πρέπει να περιλαμβάνει το URL που φιλοξενεί τον ορισμό του περιεχομένου της και μία τιμή ή, εναλλακτικά, άλλες επεκτάσεις. Το τελευταίο μέρος του ορισμού παρέχει τυπικά χαρακτηριστικά για τον πόρο του τύπου *Ασθενής*, όπως είναι ο Αριθμός Ιατρικού Φακέλου (Medical Record Number), το όνομα, το φύλο και η ημερομηνία γέννησης.

Το FHIR υποστηρίζεται σε ποικίλες περιπτώσεις χρήσης· σε εφαρμογές κινητών συσκευών, σε επικοινωνία μέσω του υπολογιστικού νέφους, στην ανταλλαγή δεδομένων στα πλαίσια εφαρμογών EHR και την επικοινωνία εξυπηρετητών μεγάλων παρόχων υπηρεσιών υγείας. Η χρήση του προτύπου FHIR ενισχύεται μέσω του συνδυασμού του με ένα παγκόσμιο σύστημα κωδικών, το οποίο αναπαριστά τους τύπους δεδομένων υγείας που περιλαμβάνονται σε παρατηρήσεις και μετρήσεις, όπως επίσης και τις αντίστοιχες τιμές. Με σκοπό την ενίσχυση της σημασιολογικής διαλειτουργικότητας της προτεινόμενης πλατφόρμας και τη διευκόλυνση της ενσωμάτωσής της με συσκευές και εξωτερικές πλατφόρμες, έχει υιοθετηθεί η ορολογία LOINC (Logical Observation Identifiers Names and Codes) [143][144][145]. Η LOINC παρέχει μία κοινή, πρότυπη ορολογία αναπαράστασης δεδομένων υγείας και δεικτών ευμερείας, η οποία αποτελείται από αναγνωριστικά, ονόματα και κωδικούς για εργαστηριακές, κλινικές και φυσικές παρατηρήσεις, συμπεριλαμβανομένων κλινικών μετρήσεων, όπως είναι οι μετρήσεις ζωτικών σημείων, συλλογών αποτελεσμάτων εργαστηριακών δοκιμών και απαντήσεων σε έρευνες και ερωτηματολόγια. Καθώς η ορολογία LOINC στοχεύει κυρίως στην αναπαράσταση παρατηρήσεων, επιτρέπει

τη συνεργασία με άλλα πρότυπα και σύνολα όρων με σκοπό την από κοινού μοντελοποίηση ενός μεγαλύτερου εύρους ιατρικών εννοιών. Η SNOMED CT (Systematized Nomenclature of Medicine) [146][147] προδιαγράφει την αναπαράσταση κλινικών όρων με στόχο τη διάθεση ενός κοινού λεξιλογίου σε παρόχους υγείας. Είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής καθώς αποτελεί το απαιτούμενο πρότυπο των συστημάτων της ομοσπονδιακής κυβέρνησης των ΗΠΑ. Η νομενκλατούρα SNOMED αποτελεί μέρος ποικίλων εφαρμογών EHR, επιτρέποντας την περιγραφή παθήσεων ασθενών, καθώς και του ιατρικού και κοινωνικού ιστορικού τους. Λειτουργεί αποτελεσματικά με τις δύο τελευταίες εκδόσεις (ICD-9 και ICD-10) του συστήματος κωδικοποίησης ICD (International Classification of Disease) [148], ένα διαδεδομένο σύστημα για την αναπαράσταση ιατρικών διαγνώσεων. Το ICD αποτελείται από ένα σύνολο αλφαριθμητικών κωδικών, οι οποίοι ακολουθούν ένα παγκόσμιο πρότυπο. Έτσι, διασφαλίζει ότι μία διάγνωση θα ερμηνεύεται με τον ίδιο τρόπο από κάθε ειδικό του κλάδου Υγείας.

Τεχνολογίες διαλειτουργικότητας στο επίπεδο των συσκευών Σε ένα σύστημα το οποίο επιτρέπει τη συνεργασία με μία πληθώρα συσκευών στα πλαίσια της συλλογής δεδομένων δεν αρκεί η διασφάλιση της διαλειτουργικότητας στο επίπεδο των δεδομένων. Αντιθέτως, απαιτείται η υιοθέτηση τεχνολογιών και προτύπων με σκοπό την εγγύηση της διαλειτουργικότητας στο επίπεδο των συσκευών. Στο πλαίσιο αυτό, η προτεινόμενη πλατφόρμα υιοθετεί την οικογένεια προτύπων *IEEE 11073 Personal Health Device* [149], η οποία προτυποποιεί την επικοινωνία ανάμεσα σε προσωπικές συσκευές υγείας. Η βάση για την οικογένεια αυτή των προτύπων παρέχεται από το *ISO/IEEE 11073-20601* [150][151], ενώ δημοσιεύονται εξειδικεύσεις του προτύπου αυτού, οι οποίες αναφέρονται σε συγκεκριμένες συσκευές.

Τα πρότυπα αυτά ορίζουν τις έννοιες των *πρακτόρων* (agents) και των *διαχειριστών* (managers). Οι πράκτορες αντιπροσωπεύουν τις οντότητες που συλλέγουν τα δεδομένα απευθείας από τους ασθενείς. Αναπαριστούν οποιαδήποτε προσωπική συσκευή υγείας, όπως είναι το παλμικό οξύμετρο ή συσκευές ελέγχου του καρδιακού παλμού και της αρτηριακής πίεσης. Ένας πράκτορας αποτελεί την οντότητα που εκκινεί την επικοινωνία με έναν διαχειριστή. Οι διαχειριστές αντιπροσωπεύουν μία συσκευή με υπολογιστική δυνατότητα, όπως είναι μία ευφυής κινητή συσκευή ή ένας υπολογιστής. Αποτελούν τις οντότητες που συλλέγουν τα δεδομένα από τους πράκτορες.

Το βασικό πρότυπο παρέχει τα μέσα για τη δημιουργία αφηρημένων μοντέλων ανταλλαγής προσωπικών δεδομένων υγείας ανάμεσα σε πράκτορες και διαχειριστές πάνω από Δίκτυα Σώματος (Body Area Networks – BANs), τα οποία αποτελούν δίκτυα που σχηματίζονται από ενδυτές συσκευές. Το πρότυπο αυτό ορίζει το *Πληροφοριακό Μοντέλο του Πεδίου Εφαρμογής* (Domain Information Model – DIM), το *Μοντέλο Υπηρεσιών* (Service Model) και το *Μοντέλο Επικοινωνίας* (Communication

Model). Το DIM είναι ένα αντικειμενοστρεφές μοντέλο, το οποίο περιγράφει έναν πράκτορα με τη μορφή ενός συνόλου αντικειμένων. Τα αντικείμενα αυτά σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά τους ελέγχουν τη συμπεριφορά ενός πράκτορα και κοινοποιούν αναφορές για την κατάστασή του. Το Μοντέλο Υπηρεσιών ορίζει εννοιολογικούς μηχανισμούς για τις υπηρεσίες που εμπλέκονται στην ανταλλαγή δεδομένων. Οι υπηρεσίες αυτές αντιστοιχίζονται στα είδη μηνυμάτων που ανταλλάσσονται μεταξύ ενός πράκτορα και ενός διαχειριστή. Για παράδειγμα, η Υπηρεσία Αναφοράς Συμβάντων (Event Reporting Service) αναλαμβάνει μηνύματα του τύπου `config` ή `data update`, ενώ η Υπηρεσία Πρόσβασης σε Αντικείμενο (Object Access Service) αντιστοιχίζεται σε μηνύματα του τύπου `get` ή `set`. Τέλος, το Μοντέλο Επικοινωνίας υποστηρίζει την τοπολογία που ορίζεται όταν ένας ή περισσότεροι πράκτορες επικοινωνούν μέσω λογικών άμεσων συνδέσεων με ένα μοναδικό διαχειριστή.

Στον Πίνακα 7 παρατίθενται ορισμένα από τα ενεργά πρότυπα της οικογένειας προτύπων ISO/IEEE 11073.

Πίνακας 7: Πρότυπα της οικογένειας ISO/IEEE 11073 για την επικοινωνία προσωπικών συσκευών υγείας

Πρότυπο	Συσκευή
11073-10404:2010	Παλμικό οξύμετρο
11073-10406:2012	Βασικό ηλεκτροκαρδιογράφημα
11073-10407:2010	Πιεσόμετρο
11073-10408:2010	Θερμόμετρο
11073-10415:2010	Ζυγαριά
11073-10417:2014	Μετρητής γλυκόζης αίματος
11073-10418:2014	Μετρητής χρόνου προθρομβίνης
11073-10420:2012	Αναλυτής σύστασης σώματος
11073-10421:2012	Συσκευή σπιρομέτρησης
11073-10441:2015	Συσκευή παρακολούθησης φυσικής κατάστασης
11073-10442:2015	Εξοπλισμός εκγύμνασης
11073-10471:2010	Ανεξάρτητος κόμβος καθημερινών δραστηριοτήτων
11073-10472:2012	Συσκευή ελέγχου λήψης θεραπευτικής αγωγής

Τεχνολογίες διαχείρισης δεδομένων για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής Η διαδικτυακή εφαρμογή *SuperTracker* [152] προσφέρεται από το Υπουργείο Γεωργίας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Στόχος της εφαρμογής αυτής είναι η καθοδήγηση ενός χρήστη σε ό,τι αφορά τη ρύθμιση του βάρους του και τη διατήρηση της φυσικής του κατάστασης σε φυσιολογικά επίπεδα. Η *SuperTracker* παράγει ημερήσιες διατροφικές προτάσεις, ενώ ταυτόχρονα λαμβάνει υπόψη τη διάρκεια της καθημερι-

νής άσκησης του χρήστη. Η εφαρμογή, αφού παρουσιάσει τις προτάσεις της για την άσκηση και τις συνολικές θερμίδες που πρέπει να λάβει ο χρήστης, παραθέτει ένα σύνολο από εναλλακτικές γευμάτων και ασκήσεων δίνοντας στο χρήστη ελευθερίες επιλογής. Τέλος, η εν λόγω εφαρμογή δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής στοιχείων σχετικών με την πρόοδο αναφορικά με τα παραπάνω μέσω προηγμένων γραφημάτων και στατιστικών. Ένα πιο περιορισμένο σύνολο λειτουργιών σε σχέση με αυτό που προσφέρεται από την SuperTracker είναι διαθέσιμο από τη διαδικτυακή εφαρμογή *eat this much*¹⁷. Η διαδικτυακή εφαρμογή *eat this much* παρουσιάζει ημερήσιες διατροφικές προτάσεις με βάση την επιθυμητή ποσότητα θερμίδων προς κατανάλωση ημερησίως. Δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να διατυπώσει τις διατροφικές του προτιμήσεις και παρέχει αρκετές εναλλακτικές προτάσεις για κάθε γεύμα της ημέρας, σεβόμενη τυχόντες διατροφικούς περιορισμούς (π.χ., λόγω ασθένειας) ή περιορισμούς στο χρηματικό ποσό που επιθυμεί να διαθέσει ο χρήστης ανά γεύμα.

Η *Glooko*¹⁸ αποτελεί μία πλατφόρμα, η οποία ενσωματώνει συσκευές παρακολούθησης της φυσικής κατάστασης και συσκευές βιομετρικών δεδομένων με σκοπό την παροχή χρήσιμων συμπερασμάτων και συμβουλών σε διαβητικούς. Συνδυάζει δεδομένα σχετικά με τις διακυμάνσεις των επιπέδων γλυκόζης ενός ατόμου με την κατανάλωση του ατόμου αυτού σε υδατάνθρακες, τη δόση ινσουλίνης που λαμβάνει ημερησίως και τη διάρκεια της καθημερινής του φυσικής άσκησης, στοχεύοντας στην παρακολούθηση της κατάστασης της υγείας του ατόμου αυτού και στην παροχή υπενθυμίσεων σχετικών με το πρόγραμμα που πρέπει να ακολουθείται.

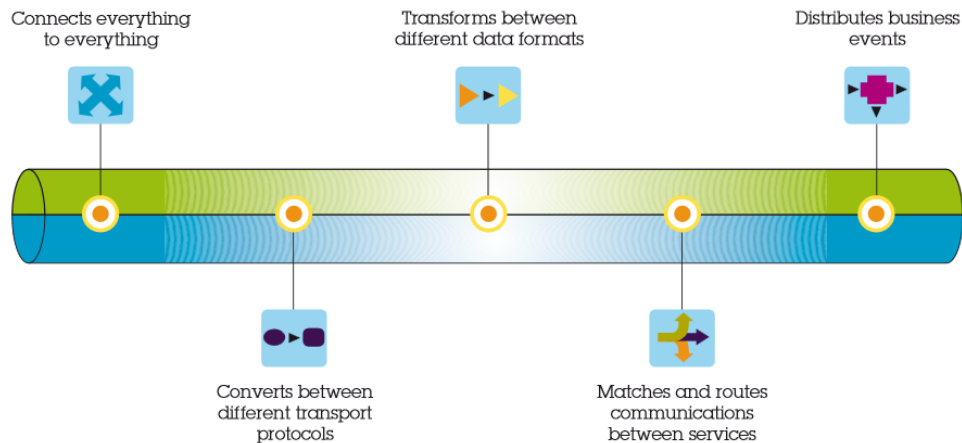
Η ανοιχτή πλατφόρμα *Sen.se*¹⁹ επιτρέπει το συνδυασμό και τη συσχέτιση δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικές πηγές δεδομένων, επιτρέποντας την από κοινού επεξεργασία των δεδομένων αυτών και τη λήψη αποφάσεων. Στο πλαίσιο αυτό, η *Sen.se* παρέχει ένα σύνολο από εργαλεία, τα οποία συλλέγουν δεδομένα αισθητήρων, τα επεξεργάζονται και πραγματοποιούν μία προκαθορισμένη λειτουργία βάσει των δεδομένων αυτών σε πραγματικό χρόνο.

Το σύστημα *PolyglotHIS* [153] προσφέρει μία ευφυή, πολυγλωσσική λύση βασισμένη σε πράκτορες λογισμικού για διαχείριση δεδομένων υγείας. Αντιμετωπίζει το ζήτημα συνδυασμού δεδομένων πολλαπλών ανόμοιων βάσεων δεδομένων, ακόμη και στην περίπτωση που αυτές είναι εγκατεστημένες σε ένα μόνο ίδρυμα. Το χαρακτηριστικό στοιχείο του *PolyglotHIS* είναι ότι χρησιμοποιεί διαφορετικούς τύπους βάσεων δεδομένων ανάλογα με τον τύπο, τον όγκο ή την προέλευση των δεδομένων, όπως επίσης με τις εκάστοτε ανάγκες. Συνδυάζοντας πολλαπλές τεχνολογίες διαχείρισης δεδομένων, το σύστημα αυτό διευκολύνει την εφαρμογή ερωτημάτων στο συνολικό όγκο των δεδομένων υγείας που έχει συλλεχθεί, ενισχύοντας τη διαδικασία εξαγωγής διαγνώσεων από τους επαγγελματίες του κλάδου Υγείας.

¹⁷<https://www.eatthismuch.com/>

¹⁸<https://www.glooko.com/>

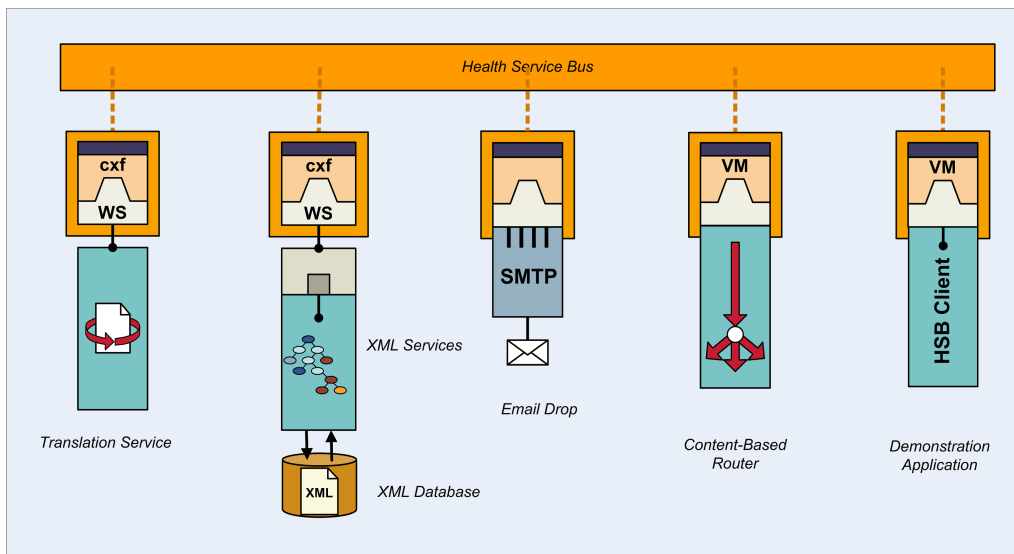
¹⁹<https://open.sen.se/>



Σχήμα 36: Ο Δίαυλος Επιχειρησιακών Υπηρεσιών της IBM για την Υγεία

Εκτός από τις προαναφερθείσες διαδικτυακές εφαρμογές, υπάρχουν επίσης πλατφόρμες βασισμένες σε υπηρεσίες, οι οποίες διαχειρίζονται ιατρικά δεδομένα και δεδομένα ευημερίας. Ο Δίαυλος Επιχειρησιακών Υπηρεσιών της IBM για την Υγεία (IBM Enterprise Service Bus for Healthcare) [154] δίνει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης ετερογενών δεδομένων και εφαρμογών μέσω ενός Διαύλου Επιχειρησιακών Υπηρεσιών. Η πλατφόρμα αυτή επιτρέπει τη διασύνδεση πληροφοριακών συστημάτων νοσοκομείων και κλινικών, απαλείφοντας τις δυσλειτουργίες που προκαλούνται από απαρχαιωμένα συστήματα διαχείρισης. Η πλατφόρμα ESB της IBM οργανώνει τα συνδεδεμένα σε αυτή συστήματα με βάση το πρότυπο SOA, διαχωρίζοντάς τα στις κατηγορίες των καταναλωτών (consumers) και των παρόχων (providers). Οι καταναλωτές αποτελούν εφαρμογές, οι οποίες ζητούν μία υπηρεσία, ενώ οι πάροχοι αποτελούν εφαρμογές, οι οποίες διαθέτουν μία ζητούμενη υπηρεσία. Κάθε καταναλωτής και κάθε πάροχος ανατίθεται σε ένα Συνδετικό Στοιχείο (Binding Component), το οποίο συλλέγει τις αιτήσεις που καταφθάνουν στο σύστημα, τις μετατρέπει σε μία εσωτερική μορφή κατανοητή από όλα τα Συνδετικά Στοιχεία του συστήματος και, τελικά, τις προωθεί σε ένα Δρομολογητή Κανονικοποιημένου Μηνύματος (Normalized Message Router), μέσω του οποίου το μήνυμα φτάνει στον κατάλληλο πάροχο ή καταναλωτή. Ο Δίαυλος Επιχειρησιακών Υπηρεσιών της IBM για την Υγεία βασίζεται σε ένα Κοινό Πληροφοριακό Μοντέλο (Common Information Model – CIM), το οποίο εξειδικεύεται στον τομέα της Υγείας. Το Κοινό Πληροφοριακό Μοντέλο παρέχει ένα κοινό λεξιλόγιο, το οποίο επιτρέπει την ανάπτυξη διεπαφών για την ενσωμάτωση υπηρεσιών και εφαρμογών, όπως επίσης και πρότυπες δομές μηνυμάτων για την επικοινωνία υπηρεσιών και την ανταλλαγή πληροφορίας ανάμεσα σε αυτές. Επιπρόσθετα, υποστηρίζονται τα πρότυπα WSDL, SOAP και HL7. Οι βασικές λειτουργίες της πλατφόρμας παρουσιάζονται στο Σχήμα 36.

Ο Δίαυλος Υπηρεσιών Υγείας (Health Service Bus) [155], ο οποίος βασίζεται



Σχήμα 37: Ο Δίαυλος Υπηρεσιών Υγείας

στο Δίαυλο Επιχειρησιακών Υπηρεσιών ανοιχτού κώδικα Mule ESB²⁰, παρέχει ένα πλαίσιο διαλειτουργικότητας υπηρεσιών, διασφαλίζοντας την έγκαιρη πρόσβαση σε ιατρικά δεδομένα και δεδομένα ασθενών. Κάθε εφαρμογή ή υπηρεσία που συνδέεται στο δίαυλο υπηρεσιών θεωρείται ένα Αφηρημένο Τελικό Σημείο (Abstract Endpoint). Η φυσική υλοποίηση ενός Αφηρημένου Τελικού Σημείου καλείται Περιέκτης Υπηρεσιών (Service Container) και παρέχει τη διεπαφή της υπηρεσίας στο δίαυλο. Τα δεδομένα υγείας που εισέρχονται στην πλατφόρμα μετατρέπονται από την αρχική τους μορφή σε XML. Οι υποστηριζόμενες μορφές δεδομένων είναι οι εκδόσεις V2 και V3 του προτύπου επικοινωνίας HL7 και το μοντέλο αναφοράς δεδομένων υγείας OpenEHR²¹. Η μετατροπή από τις και στις προαναφερθείσες μορφές πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός εργαλείου αντιστοίχισης, το OWLmt²², το οποίο βασίζεται σε οντολογίες. Η αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου του Διαύλου Υπηρεσιών Υγείας απεικονίζεται στο Σχήμα 37

Οι ήδη υπάρχουσες λύσεις που διατίθενται μέσω Διαδικτύου προσφέρουν στο χρήστη τη δυνατότητα εισαγωγής των προτιμήσεών του και, με βάση τις προτιμήσεις αυτές, παρέχουν ορισμένες ημερήσιες διατροφικές προτάσεις. Παρ' όλα αυτά, οι λύσεις αυτές παρουσιάζουν μειονεκτήματα καθώς είτε απαιτούν την εισαγωγή των δεδομένων χειρωνακτικά, είτε δε δίνουν τη δυνατότητα εισαγωγής στοιχείων σχετικών με την καθημερινή άσκηση του χρήστη. Ταυτόχρονα, οι υπάρχουσες λύσεις δεν παρακολουθούν την πρόοδο του χρήστη σε σχέση με το διατροφικό πλάνο που πρέπει να ακολουθεί. Έτσι, σε περίπτωση που ο χρήστης δε λάβει, για παράδειγμα, τα απαραίτητα γεύματα ή σε περίπτωση που έχει καταναλώσει περισσότερες θερμίδες από το επιτρεπόμενο όριο, οι λύσεις της βιβλιογραφίας δεν μπορούν να προτείνουν

²⁰<https://www.mulesoft.com/platform/soa/mule-esb-open-source-esb>

²¹<http://www.openehr.org/>

²²<http://sourceforge.net/projects/owlmt/>

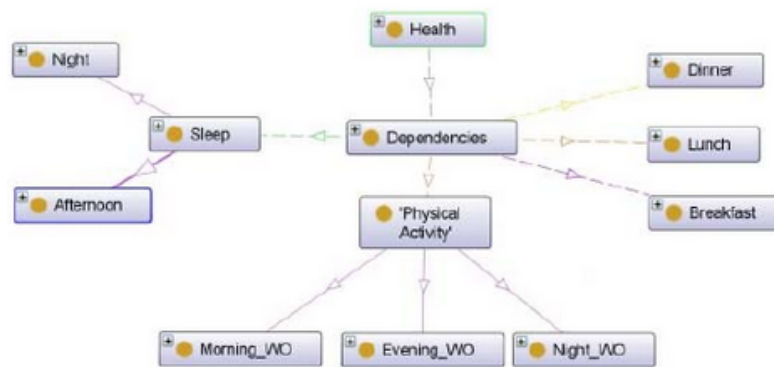
κάποιο εναλλακτικό πλάνο.

Αντίστοιχα, τα συστήματα υγείας που υλοποιούνται βάσει υπηρεσιών παρουσιάζουν διαφορές στις προσφερόμενες λειτουργίες συγκρινόμενα με το WSB. Για παράδειγμα, το σύστημα της IBM δεν εκμεταλλεύεται πλήρως τη λειτουργικότητα των οντολογιών, καθώς η εσωτερική μορφή δόμησης των δεδομένων βασίζεται στην Ενοποιημένη Γλώσσα Μοντελοποίησης (Unified Modeling Language – UML), παρέχοντας μερική υποστήριξη των οντολογιών και της OWL. Ομοίως, ο Δίαυλος Υπηρεσιών Υγείας υποστηρίζει τη χρήση οντολογιών μόνο στα πλαίσια της μετατροπής των δεδομένων υγείας. Αντίθετα, η πλατφόρμα διαχείρισης δεδομένων υγείας και ευημερίας που προτείνεται στην παρούσα διατριβή κάνει χρήση των δυνατοτήτων επαγωγικού συλλογισμού. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων και δεδομένων που δεν διατυπώνονται ευθέως.

6.2.2 Χρήση οντολογιών στη διαχείριση δεδομένων υγείας και δεικτών ευημερίας

Οι τεχνολογίες του Σημαιολογικού Ιστού έχουν διαδοθεί εκτενώς και στον τομέα της Υγείας με σκοπό την αντιμετώπιση φλεγόντων ζητημάτων, υιοθετώντας ποικίλες προσεγγίσεις. Ορισμένες από τις οντολογίες της βιβλιογραφίας που σχετίζονται με την υγεία μοντελοποιούν γνώση επικεντρωμένη αποκλειστικά σε θέματα υγείας, συγκεντρώνοντας, για παράδειγμα, πληροφορίες για κατηγορίες ή συμπτώματα ασθενειών, ή αναπαριστώντας γνώση γύρω από την αντιμετώπιση μίας ασθένειας, όπως είναι ο διαβήτης. Αντίθετα, ένα μεγάλο σύνολο οντολογικών μοντέλων στοχεύει στην αναπαράσταση γνώσης με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας ζωής ενός ατόμου. Οι οντολογίες αυτής της κατηγορίας δεν είναι τόσο εξειδικευμένες όπως οι οντολογίες που αφορούν αμιγώς σε θέματα υγείας, αλλά συχνά αναφέρονται σε πιο κοινές, καθημερινές έννοιες. Τέλος, οι σημαιολογικές τεχνολογίες συμβάλλουν αποδοτικά στον καθορισμό στόχων και, στη συνέχεια, στην τήρησή τους. Έτσι, αρκετά συστήματα της βιβλιογραφίας στηρίζονται σε οντολογικά μοντέλα στα πλαίσια σκιαγράφησης ενός προγράμματος διατροφής ή ενός προγράμματος εκγύμνασης.

Το πλαίσιο *S-fit* [156] στοχεύει στη βελτίωση της φυσικής κατάστασης ενός χρήστη αξιοποιώντας τεχνικές εξόρυξης προτύπων βασισμένες στις οντολογίες. Το *S-fit*, το οποίο προορίζεται για κινητές συσκευές, συνδυάζει δεδομένα πολλαπλών πηγών ώστε να δημιουργήσει ένα ολιστικό πρόγραμμα διατήρησης της υγείας και της φυσικής κατάστασης ενός ατόμου. Τα δεδομένα προέρχονται από αισθητήρες και εφαρμογές κινητών συσκευών, από τις αλληλεπιδράσεις του χρήστη σε διάφορα κοινωνικά δίκτυα και από ανατροφοδότηση που πραγματοποιείται από τον ίδιο το χρήστη. Τα συλλεχθέντα δεδομένα διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τα δεδομένα ψυχολογίας και τα συμπεριφορικά δεδομένα. Στην πρώτη κατηγορία συγκαταλέγονται δεδομένα που αφορούν στις τιμές των βιοδεικτών του χρήστη, όπως είναι η μετα-



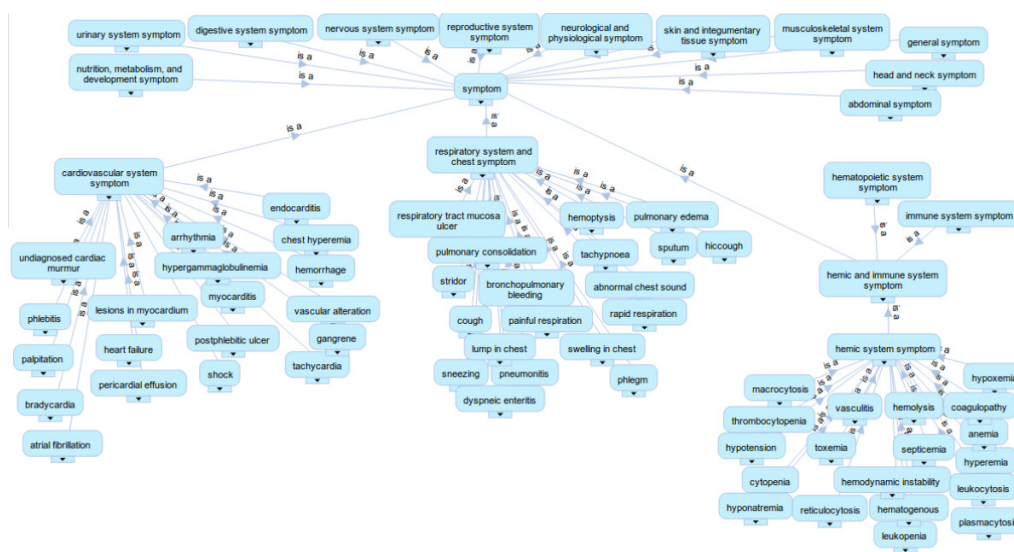
Σχήμα 38: Η οντολογία Φυσικής Κατάστασης

βλητότητα του καρδιακού παλμού (Heart Rate Variability - HRV), η αρτηριακή πίεση και το βάρος, όπως επίσης δεδομένα σχετικά με τις δραστηριότητες του χρήστη στα πλαίσια διατήρησης της φυσικής του κατάστασης. Στην κατηγορία των δεδομένων ψυχολογίας ανήκουν επίσης δεδομένα σχετικά με τη συμπεριφορά και τις ενέργειες του χρήστη στα πιο δημοφιλή κοινωνικά δίκτυα. Αντίστοιχα, στην κατηγορία των συμπεριφορικών δεδομένων ανήκει πληροφορία σχετική με τις διατροφικές συνήθειες του χρήστη και την ποιότητα ύπνου. Ο χρήστης μπορεί να ορίσει έναν αριθμό παραμέτρων προς βελτίωση. Ο στόχος αυτός υλοποιείται αξιοποιώντας τα συλλεγμένα δεδομένα, τα οποία μοντελοποιούνται μέσω της οντολογίας Φυσικής Κατάστασης (Fitness ontology), η οποία περιορίζεται στη συσχέτιση της υγείας ενός ατόμου με τα επίπεδα ύπνου, τη φυσική άσκηση και τις διατροφικές συνήθειες (Σχήμα 38).

Το σύστημα PHASES (Personal Health Assistance Service Expert System) επεξεργάζεται ετερογενή δεδομένα από πολλαπλές πηγές με σκοπό την ενίσχυση ενός συστήματος υγείας μερικώς κεντροποιημένου στους πολίτες. Έτσι, το σύστημα αυτό συλλέγει δεδομένα από τους ίδιους τους χρήστες του αλλά και από ειδικούς του τομέα της Υγείας, από θεραπευτές, νοσοκομεία και κλινικές, τα οποία βρίσκονται σε έντυπη ή ηλεκτρονική μορφή, προερχόμενα από υπολογιστές ή κινητές συσκευές. Η τρέχουσα έκδοση του PHASES διατηρεί οντολογικά δεδομένα σχετικά με τη διατροφή των χρηστών του, μοντελοποιημένα σύμφωνα με την οντολογία Διατροφής (Nutrition ontology), όπως επίσης και ένα έμπειρο σύστημα, το οποίο διατηρεί μία βάση κανόνων με στόχο τη διατήρηση ενός υγιούς τρόπου ζωής. Αξιοποιώντας την οντολογία Διατροφής και το έμπειρο αυτό σύστημα, το PHASES προτείνει διατροφικά προγράμματα λαμβάνοντας υπόψη πιθανές ασθένειες, τη βέλτιστη δοσολογία βιταμινών με βάση τις τιμές των βιοδεικτών του χρήστη και τις πιο κατάλληλες φυσικές ασκήσεις για αυτόν.

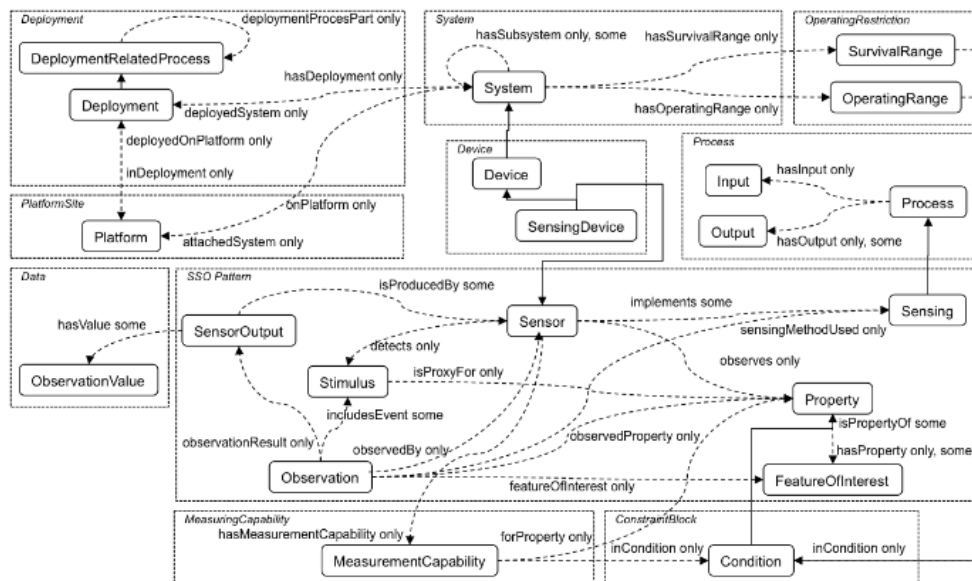
Η Πλατφόρμα Ενσωμάτωσης Οικιακών Συσκευών (Home Integration Platform) [157] επικεντρώνεται στην ενσωμάτωση πληροφορίας που προέρχεται από οικιακές συσκευές στα πλαίσια της οικιακής αυτοματοποίησης. Απώτερος στόχος της πλατ-

φόρμας είναι η βελτίωση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων με ιδιαίτερη έμφαση στους ηλικιωμένους. Στο πλαίσιο αυτό, χρησιμοποιείται η *οντολογία Εξυπνου Σπιτιού* (Smart Home ontology) ώστε να μοντελοποιηθούν δεδομένα που συλλέγονται από ευφυείς οικιακές συσκευές, π.χ. συσκευές επικοινωνίας, λευκές συσκευές, συσκευές υγείας, ψυχαγωγίας, ασφάλειας και περιβάλλοντος (ambient devices). Το υποκείμενο οντολογικό μοντέλο διασφαλίζει ότι θα λαμβάνεται υπόψη το πλαίσιο (π.χ., η τοποθεσία του χρήστη, οι πιθανές τρέχουσες ενέργειες και η τρέχουσα κατάστασή του), κάτω από το οποίο πραγματοποιείται μία ενέργεια. Η τρέχουσα έκδοση της πλατφόρμας επεξεργάζεται την τοποθεσία, τον αρτηριακό κορσισμό οξυγόνου και το καρδιακό παλμό του χρήστη και εμφανίζει τα αποτελέσματα σε μία διαδικτυακή εφαρμογή.



Σχήμα 39: Η οντολογία Συμπτωμάτων

Η *οντολογία Συμπτωμάτων* (Symptom ontology) [158], η δομή της οποίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 39, χρησιμοποιείται στα πλαίσια σημασιολογικής αναπαράστασης δεδομένων που καταγράφονται μέσω ιατρικού εξοπλισμού. Στόχος αυτής της προσέγγισης είναι η αξιοποίηση του μεγάλου όγκου σημάτων που παράγονται από αισθητήρες κατά την παρακολούθηση των φυσιολογικών παραμέτρων ασθενών που νοσηλεύονται σε κάποιο ιατρικό κέντρο. Τεχνικές επαγωγικής συλλογιστικής και εξόρυξης δεδομένων αξιοποιούνται με σκοπό να διευκολυνθεί η ερμηνεία των δεδομένων από το ιατρικό προσωπικό. Στο σύστημα επαγωγικής συλλογιστικής, η οντολογία Συμπτωμάτων χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τη βάση δεδομένων αγγλικών λέξεων WordNet [84] και την οντολογία *Σημασιολογικών Δικτύων Αισθητήρων* (Semantic Sensor Network ontology) [159], η οποία απεικονίζεται στο Σχήμα 40. Συγκεκριμένα, η οντολογία Συμπτωμάτων ορίζει έννοιες της ιατρικής ορολογίας σχηματίζοντας, ταυτόχρονα, ιεραρχίες· οι έννοιες κάθε επιπέδου χρησιμοποιούνται, στη συνέχεια, για το σημασιολογικό σχολιασμό των δεδομένων που προέρχονται από τους αισθητήρες. Η βάση δεδομένων WordNet χρησιμοποιείται με σκοπό την εύρεση



Σχήμα 40: Η οντολογία Σημασιολογικών Δικτύων Αισθητήρων

συσχετίσεων ανάμεσα στις έννοιες της οντολογίας Συμπτωμάτων και των όρων που χρησιμοποιούν οι ειδικοί του κλάδου Υγείας. Τέλος, η οντολογία Σημασιολογικών Δικτύων Αισθητήρων συνδέει τους υπάρχοντες αισθητήρες με τις φυσιολογικές παραμέτρους και παρέχει προτυποποιημένες μεθόδους αναπαράστασης των αισθητήρων, των παρατηρήσεων και των σχετικών εννοιών.

Αρκετά οντολογικά μοντέλα της βιβλιογραφίας αποτελούν μέρος μεθοδολογιών αντιμετώπισης ασθενειών. Για παράδειγμα, η οντολογία Προφίλ Περίπτωσης (Case Profile Ontology) [160] παρέχει μία επίσημη αναπαράσταση των εννοιών που σχετίζονται με τη κατ' οίκον περίθαλψη χρόνιων ασθενών, όπως είναι οι ασθένειες, τα συμπτώματα, τα κοινωνικά θέματα και τα σύνδρομα. Μετά από εκτενή μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας, η οντολογία αυτή εμπλουτίστηκε με δεκαεννέα ασθένειες, δύο σύνδρομα και πέντε κοινωνικά θέματα, όπως επίσης και με τους περιορισμούς και τις σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ αυτών. Αντίστοιχα οντολογικά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί με σκοπό να συμβάλλουν στη μελέτη και τη διάγνωση νευρολογικών ασθενειών [161], στη μελέτη του σακχαρώδη διαβήτη της κύησης [162], στην καθοδήγηση ενός διαβητικού ασθενή κατά την επιλογή των διατροφικών του συνηθειών [163] και στη μελέτη και διαχείριση ογκολογικών περιστατικών [164].

Ο στόχος κάθε προαναφερθέντος οντολογικού μοντέλου είναι σαφής και αποτελεσματικός ανά περίπτωση εφαρμογής. Παρ' όλα αυτά, καθένα από αυτά τα μοντέλα, όπως επίσης και τα υποκείμενα συστήματα, λειτουργούν μεμονωμένα χωρίς να απολαμβάνουν τα πλεονεκτήματα της συλλογικής επεξεργασίας γνώσης. Το επόμενο κεφάλαιο της διδακτορικής αυτής διατριβής παρουσιάζει ένα οντολογικό μοντέλο υγείας και δεικτών ευημερίας, το οποίο αποτελεί μία προσπάθεια ενσωμά-

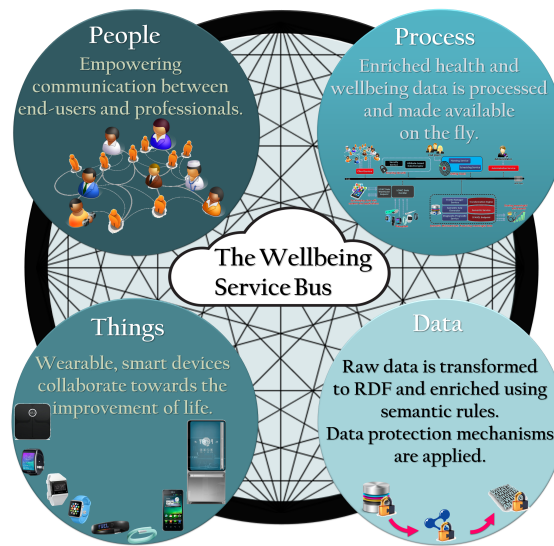
τώσης ετερογενών μοντέλων πληροφορίας, οντολογικών και μη. Ως εκ τούτου, η ανακύπτουσα βάση γνώσης, και κατ' επέκταση το υποκείμενο σύστημα διαχείρισης, έχει τη δυνατότητα αναπαράστασης ενός μεγάλου εύρους εννοιών σχετικών με τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων.

6.3 Το Διαδίκτυο των Πάντων στην υγεία και την ευημερία

Η πληθώρα ευφυών οντοτήτων, από εφαρμογές κινητών συσκευών έως ενδυτές συσκευές και ευφυείς οικιακές συσκευές, εισέρχεται σταδιακά στην καθημερινή μας ζωή. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην παραγωγή ενός τεράστιου όγκου δεδομένων· η διαχείριση και η εκμετάλλευση των δεδομένων αυτών δυσχεραίνει όλο και περισσότερο καθώς ο όγκος τους αυξάνεται. Η διασύνδεση των ευφυών αυτών οντοτήτων με στόχο τον σχηματισμό του Διαδικτύου των Πραγμάτων, προωθώντας την ανταλλαγή πληροφορίας καθώς επίσης και το συνδυασμό δεδομένων από πολλαπλές πηγές, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός πιο σύνθετου συνόλου δεδομένων. Η σύγκλιση δραστηριοτήτων σχετικών τόσο με έμβια όντα όσο και με άβια αντικείμενα, όπως επίσης και των δεδομένων που παράγονται από τις οντότητες των δύο παραπάνω κατηγοριών, με αποτέλεσμα τη διαμόρφωση ενός οικοσυστήματος ικανού να βελτιώσει τη λειτουργία των μηχανών και των διαδικασιών και να παράσχει υποστήριξη στην ευημερία των έμβιων όντων οδηγεί στο επόμενο βήμα: στο Διαδίκτυο των Πάντων.

Η Cisco [154] αναφέρει ότι το IoE θα συνδέει όχι μόνο ανθρώπους, μηχανές, υπολογιστές και συσκευές, γενικότερα, αλλά επίσης οικιακές συσκευές, ενδύματα και ιατρικές προμήθειες· οποιοδήποτε αντικείμενο, οι διαστάσεις του οποίου επιτρέπουν την εμφύτευση ενός αισθητήρα σε αυτό. Αναμένεται ότι περισσότερες από πενήντα εκατομμύρια συσκευές – ή, αλλιώς, οντότητες – θα βρίσκονται σε σύνδεση μεταξύ τους στα πλαίσια ενός Διαδικτύου των Πραγμάτων μέχρι το 2020, επιφέροντας εντυπωσιακά πλεονεκτήματα στο δημόσιο τομέα και ιδιαίτερα στους κλάδους Υγείας και Εκπαίδευσης, στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς και στην ασφάλεια των πολιτών. Στα πλαίσια της διδακτορικής αυτής διατριβής, η ευφυής πλατφόρμα διαχείρισης ιατρικών δεδομένων και δεικτών ευημερίας εφαρμόζεται σε ένα περιβάλλον IoE· οι τελικοί χρήστες του WSB συνεργάζονται με ειδικούς του κλάδου Υγείας, με ενδυτές συσκευές, ευφυείς συσκευές και άλλες ευφυείς οντότητες με σκοπό τη βελτίωση του επιπέδου ζωής. Σύμφωνα με τη Cisco, το IoE συνδέει ανθρώπους (people), διαδικασίες (processes), δεδομένα (data) και αντικείμενα (things). Το Σχήμα 41 απεικονίζει τις τέσσερις προαναφερθείσες συνιστώσες του IoE, όπως αυτές συμμετέχουν στην ευφυή πλατφόρμα WSB [165] [166].

Οι άνθρωποι αντιπροσωπεύουν την ομάδα των τελικών χρηστών – δηλαδή των ιδιοκτητών των δεδομένων που εισέρχονται στο WSB – και των ειδικών του κλά-



Σχήμα 41: Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων στην Υγεία και την Ευημερία

δου Υγείας, όπως είναι οι ιατροί, οι νοσηλευτές, οι φαρμακοποιοί, οι διαιτολόγοι και οι προπονητές – δηλαδή των χρηστών των δεδομένων που εισέρχονται στο WSB. Με την πάροδο του χρόνου, οι διασυνδεδεμένες συσκευές επιτρέπουν στους ιατρούς να είναι πλήρως ενημερωμένοι για την κατάσταση της υγείας των ασθενών τους· στους νοσηλευτές να παρακολουθούν τα ζωτικά σημεία ενός ασθενή και να συλλέγουν τα δεδομένα του χωρίς να απαιτείται η φυσική τους παρουσία· σε έναν ασθενή να διαμοιράζεται με τον ιατρό του δεδομένα σχετικά με τα επίπεδα οξύτητας, τη θερμοκρασία και τη δραστηριότητα του πεπτικού του συστήματος μόνο με την κατάποση ενός ευφυούς χαπιού αναβαθμισμένου με τη χρήση της τεχνολογίας RFID. Η προτεινόμενη πλατφόρμα συνοδεύεται επίσης από το δικό της κοινωνικό δίκτυο, το *Social Health Avatar*, το οποίο επιτρέπει στους ανθρώπους να δημοσιεύουν δεδομένα σχετικά με την τρέχουσά τους κατάσταση στους θεράποντες ιατρούς τους και στην οικογένειά τους, να παρακολουθούν την κατάσταση των μελών της οικογένειάς τους και να επικοινωνούν με άτομα που αντιμετωπίζουν όμοιες παθήσεις.

Το σύνολο των αντικειμένων αποτελείται από άβιες οντότητες, όπως είναι οι αισθητήρες, οι ευφυείς εφαρμογές κινητών ή ενδυτών συσκευών ή ακόμη και οικιακού εξοπλισμού. Στο Διαδίκτυο των Πάντων, τα αντικείμενα παράγουν δεδομένα και όχι μόνο τα μεταδίδουν σε έναν κεντρικό δέκτη, αλλά ταυτόχρονα διαμοιράζονται τα συλλεγμένα δεδομένα με άλλες οντότητες, έμβιες ή άβιες, μέσω του Διαδικτύου. Με τον τρόπο αυτό, τα αντικείμενα έχουν τη δυνατότητα συνεργασίας ώστε να επιτύχουν έναν κοινό στόχο. Το γεγονός αυτό δίνει τη λύση στο πρόβλημα που εισάγει η έλλειψη συνεργασίας ανάμεσα σε ευφυείς οντότητες.

Μέχρι στιγμής, τα δεδομένα που διατίθενται στα πλαίσια του IoT ακολουθούν μία δομή όμοια με αυτή των αρχείων καταγραφής (logs). Τα πρωτογενή αυτά δεδομένα συλλέγονται συνήθως μέσω ενός κόμβου και, στη συνέχεια, υποβάλλονται

σε περαιτέρω επεξεργασία. Στο Διαδίκτυο των Πάντων, τα δεδομένα εμπλουτίζονται καθώς τα αντικείμενα αποκτούν σταδιακά επίγνωση του σχετικού πλαισίου και, ως εκ τούτου, ακολουθούν συγκεκριμένη λογική σε ό,τι αφορά τις ενέργειές τους. Στο Δίκτυο Υπηρεσιών Ευημερίας, τα πρωτογενή δεδομένα αποκτούν νόημα αξιοποιώντας τη δύναμη των οντολογιών. Τα οντολογικά αυτά δεδομένα ομαδοποιούνται με βάση το αναγνωριστικό του ιδιοκτήτη τους, γεγονός το οποίο διευκολύνει την προσωποποιημένη επεξεργασία τους. Στη συνέχεια, εφαρμόζονται σε αυτά τα δεδομένα σημασιολογικοί κανόνες με αποτέλεσμα την παραγωγή νέων δεδομένων. Σε καθένα από τα προηγούμενα στάδια εφαρμόζονται ισχυροί μηχανισμοί ασφάλειας, όπως επίσης εργαλεία κρυπτογράφησης με σκοπό τη διασφάλιση της προστασίας των ευαίσθητων δεδομένων που διατηρούνται στο WSB.

Το τελευταίο στοιχείο του ΙοΕ, οι διαδικασίες, καθοδηγούν την αλληλεπίδραση των προαναφερθέντων συστατικών στοιχείων του. Καλώς ορισμένες ροές εργασίας οδηγούν στο μετασχηματισμό, τον εμπλουτισμό και τη δημοσίευση των δεδομένων ευημερίας, επιτρέποντας τόσο την έγκαιρη πρόληψη ποικίλων παθήσεων μέσω συστάσεων, όσο και την άμεση ειδοποίηση των κατάλληλων ατόμων στην περίπτωση έκτακτων περιστατικών.

Δεδομένου ενός κατάλληλου περιβάλλοντος, η προτεινόμενη ευφυής πλατφόρμα βρίσκει εφαρμογή στο Διαδίκτυο των Πάντων και στοχεύει στην αντιμετώπιση σημαντικών προκλήσεων στο χώρο της Υγείας με ιδιαίτερη έμφαση σε ό,τι αφορά τη βελτίωση της ποιότητας ζωής, της κατ' οίκον νοσηλείας και της απομακρυσμένης διάγνωσης.

Κεφάλαιο 7

Εφαρμογή σε συνεργατικά περιβάλλοντα διαχείρισης δεδομένων υγείας και δεικτών ευημερίας

Επί του παρόντος, το Διαδίκτυο των Πάντων διαδίδεται σε όλους τους βιομηχανικούς κλάδους: στον τομέα του οικιακού εξοπλισμού, στην κατασκευή μέσω μεταφοράς, την Εκπαίδευση και τον κλάδο Υγείας. Το παρόν κεφάλαιο στοχεύει στην παρουσίαση μεθόδων εκμετάλλευσης του Διαδικτύου των Πραγμάτων με σκοπό τη βελτίωση της ευρωστίας των ανθρώπων. Στο πλαίσιο αυτό, παρουσιάζεται μία ευφυής πλατφόρμα διαχείρισης δεδομένων υγείας και ευημερίας, ο *Δίαυλος Υπηρεσιών Ευημερίας* (Wellbeing Service Bus – WSB) [165] [167] [166]. Ο WSB παρέχει στους χρήστες του (ασθενείς ή μη), σε επαγγελματίες του κλάδου Υγείας και σε κρατικές υπηρεσίες Υγείας μεθόδους ανταλλαγής πληροφορίας, συνεργασίας και παροχής συμβουλών και συστάσεων.

Στόχος της πλατφόρμας WSB είναι η διασύνδεση του αχανούς συνόλου των συσκευών, των διαδικτυακών εφαρμογών ή των εφαρμογών κινητών συσκευών και των συστημάτων λήψης αποφάσεων, τα οποία καταγράφουν τα βιομετρικά δεδομένα των χρηστών τους. Αποτέλεσμα της διασύνδεσης αυτής είναι η σύνθεση ενός ισχυρού συστήματος, το οποίο καθιστά δυνατή την επεξεργασία των συλλεγμένων δεδομένων συνδυαστικά. Η εξελιγμένη αυτή υποδομή, όπως επίσης και οι ευφυείς υπηρεσίες της, παρουσιάζονται στις επόμενες ενότητες.

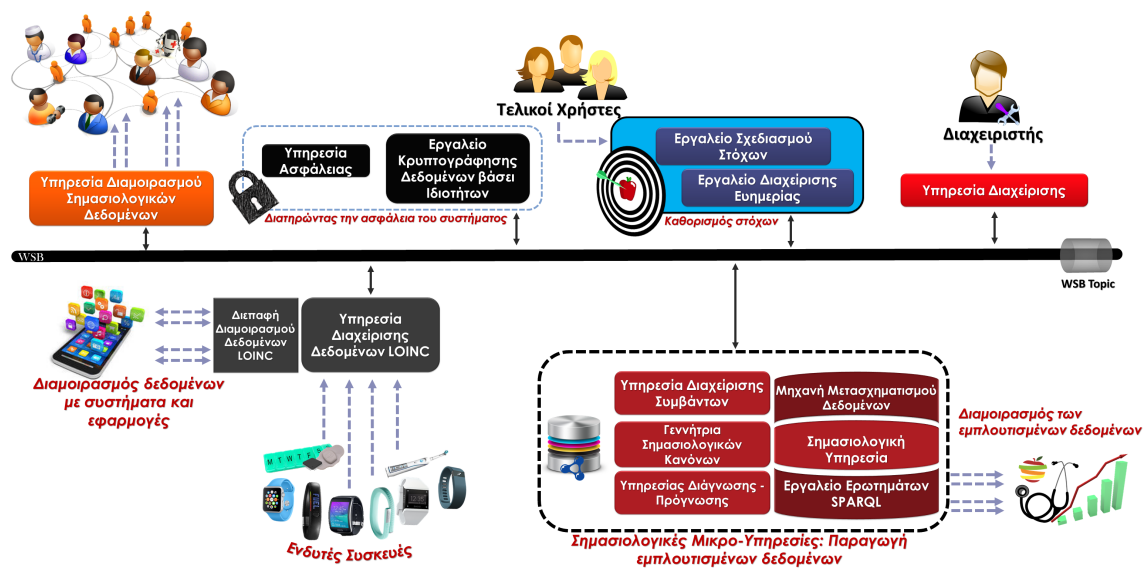
7.1 Αρχιτεκτονική του συστήματος διαχείρισης ιατρικών δεδομένων και δεικτών ευημερίας

Ο WSB αποτελεί μία συνεργατική πλατφόρμα, η οποία αναπτύσσεται με βάση τις οδηγίες του παραδείγματος του Διαύλου Επιχειρησιακών Υπηρεσιών και δύναται να συγκεντρώνει, να επεξεργάζεται και να ομογενοποιεί δεδομένα υγείας και δείκτες ευημερίας. Τα δεδομένα αυτά συλλέγονται ατομικά για κάθε χρήστη της πλατφόρμας σε πρωτογενή μορφή, όπως είναι αυτή που χρησιμοποιείται από συστήματα και πρότυπα κωδικών λέξεων· τα πιο δημοφιλή παραδείγματα αυτών είναι το LOINC και το SNOMED. Τα εν λόγω δεδομένα συλλέγονται από ευφυείς συσκευές κινητών εφαρμογών, από ενδυτές συσκευές, από ευφυείς οικιακές συσκευές και από άλλα συστήματα (π.χ., Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων). Η παραγόμενη πληροφορία μπορεί να προέρχεται από αισθητήρες ενσωματωμένους σε ανθρώπους αλλά και σε αντικείμενα ή να εξάγεται εφαρμόζοντας κανόνες συλλογιστικής σε συνδυασμένα δεδομένα που προέρχονται από διαφορετικές, ανομοιογενείς πηγές. Κατά την άφιξή τους στην πλατφόρμα, τα δεδομένα αποκτούν σημασιολογική μορφή, ενώ σε επόμενο βήμα τα σημασιολογικά πλέον δεδομένα υφίστανται ειδική επεξεργασία, η οποία περιλαμβάνει την εφαρμογή οντολογικών κανόνων με σκοπό τον εμπλουτισμό του συνόλου της πληροφορίας. Έτσι, παράγονται δεδομένα που δε διατυπώνονται ευθέως αλλά υπονοούνται από τα δεδομένα που έχουν ήδη συλλεχθεί. Αξιοποιώντας την υποκείμενη βάση γνώσης, κάθε υπηρεσία της πλατφόρμας μπορεί να εξάγει εξατομικευμένα συμπεράσματα, είτε σε μορφή παροτρύνσεων προς τον ιδιοκτήτη των δεδομένων είτε με σκοπό τη χρήση τους για στατιστικούς λόγους ή στα πλαίσια έρευνας.

Ο Διάυλος Υπηρεσιών Ευημερίας έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να υποστηρίζει και να διευκολύνει:

- τη διαχείριση της άφιξης νέων δεδομένων ενός χρήστη με τη μορφή ενός συμβάντος, το οποίο γνωστοποιείται στις υπηρεσίες του συστήματος μέσω ενός μηχανισμού Δημοσίευσης/Συνδρομής, διευκολύνοντας τη διαχείρισή του και το διαμοιρασμό του,
- την εύκολη και αποδοτική σύνδεση και ενσωμάτωσή του με υπάρχοντα και μελλοντικά συστήματα παρακολούθησης ασθενών, συμπεριλαμβανομένων τόσο ατομικών συσκευών, όπως είναι οι ενδυτές συσκευές, όσο και εφαρμογών μερισμικού, και
- την επέκτασή του από άποψη συνδεσιμότητας, ώστε να είναι δυνατή η σύνδεσή του με παρόμοιες πλατφόρμες και κατ'επέκταση η συνδυαστική εξαγωγή αποφάσεων.

Το Σχήμα 42 απεικονίζει την αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου του Διαύλου Υπηρεσιών Ευημερίας. Το ανώτατο τμήμα της αρχιτεκτονικής περιλαμβάνει τα εργα-



Σχήμα 42: Η αρχιτεκτονική του Διαύλου Υπηρεσιών Ευημερίας

λεία που συνεισφέρουν στην επίτευξη των στόχων που έχουν ορισθεί από το χρήστη, τις υπηρεσίες που εξασφαλίζουν την ασφαλή λειτουργία της πλατφόρμας και την ιδιωτικότητα των δεδομένων που φέρει. Ταυτόχρονα, το τμήμα αυτό της πλατφόρμας αποτελείται από υπηρεσίες διαχείρισης, όπως επίσης και υπηρεσίες υπεύθυνες για την επικοινωνία του WSB με τον εξωτερικό κόσμο. Το κατώτατο τμήμα της απασχολείται με τα δεδομένα, τόσο από την πλευρά εισαγωγής τους στην πλατφόρμα, όσο και από την πλευρά του μετασχηματισμού τους σε σημασιολογική μορφή και της περαιτέρω επεξεργασίας τους. Η αρχιτεκτονική της ευφυούς πλατφόρμας WSB περιγράφεται αναλυτικά ακολούθως.

7.1.1 Τα εργαλεία και ο στόχος τους

Η περίπτωση χρήσης που επιλέχθηκε για την παρουσίαση της πλατφόρμας είναι η ενίσχυση της ευημερίας των ανθρώπων μέσω της επίτευξης στόχων. Οι στόχοι αυτοί δύνανται να σχετίζονται με την απώλεια βάρους ή τη βελτίωση της φυσικής κατάστασης ενός χρήστη ή με ένα συνδυασμό των παραπάνω. Στο πλαίσιο αυτό, οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη περιλαμβάνουν ένα διατροφικό πλάνο και τις καθημερινές δραστηριότητες του ατόμου αναφορικά με τη φυσική άσκηση που λαμβάνει το άτομο αυτό, τις θερμίδες που καταναλώνει ημερησίως και κάποιες πιθανές αλλεργίες ή διατροφικούς περιορισμούς. Ως εκ τούτου, οι κύριοι χρήστες των δεδομένων του συστήματος είναι η *Υπηρεσία Διαμοιρασμού Σημασιολογικών Δεδομένων* και οι *Υπηρεσίες Καθορισμού Στόχων*. Όπως περιγράφεται ακολούθως, κάθε μία από τις υπηρεσίες αυτές χρησιμοποιεί τα δεδομένα υγείας και τους δείκτες ευημερίας στη σημασιολογική τους μορφή.

Η Υπηρεσία Διαμοιρασμού Σημασιολογικών Δεδομένων (Client Service) δραματίζει το ρόλο της ενδιάμεσης υπηρεσίας σε περιπτώσεις όπου μία εφαρμογή, μία υπηρεσία ή ένα σύστημα επιθυμεί να επικοινωνήσει με την ευφυή πλατφόρμα διαχείρισης δεδομένων υγείας και ευημερίας αλλά δεν έχει αναπτυχθεί ακολουθώντας τις προδιαγραφές των υπηρεσιών JBossESB. Δύναται να παρέχει δεδομένα με τη μορφή ενημερώσεων σχετικά με την πρόοδο προς την επίτευξη ενός στόχου, ειδοποιήσεων σε περίπτωση, για παράδειγμα, μη συμμόρφωσης με το πρόγραμμα δραστηριοτήτων στα πλαίσια ενός στόχου ή με τη μορφή γνώσης, η οποία έχει εξαχθεί μέσω της συνδυασμένης επεξεργασίας των συλλεγμένων βιομετρικών δεικτών.

Ο κύριος χρήστης της Υπηρεσίας Διαμοιρασμού Σημασιολογικών Δεδομένων είναι το κοινωνικό δίκτυο θεμάτων υγείας (Social Health Avatar network) [167] [168] της πλατφόρμας. Το κοινωνικό δίκτυο Social Health Avatar υιοθετεί την ιδέα της *εικονικής ταυτότητας* (avatar) ενός χρήστη, η οποία χρησιμοποιείται ως ένα ηλεκτρονικό ισοδύναμο ενός ανθρώπου. Η εικονική ταυτότητα ενός ατόμου προβάλλει τη φυσική του κατάσταση, τις συνθήκες διαβίωσης και τις συνήθειές του, όπως ακριβώς αυτές καταγράφονται από ενδυτές και κινητές συσκευές, αισθητήρες και άλλα συστήματα. Υιοθετώντας το επιτυχημένο μοντέλο της διαδικτυακής αλληλεπίδρασης μέσω κοινωνικών δικτύων, το Social Health Avatar παρέχει ένα ευέλικτο μέσο επικοινωνίας, το οποίο ενσωματώνει και συνδέει επαγγελματίες του κλάδου Υγείας, ασθενείς και εικονικές οντότητες, όπως είναι τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων, σε μία κοινότητα η οποία στοχεύει στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των χρηστών της.

Το *Εργαλείο Σχεδιασμού Στόχων* (Goal Planner) και το *Εργαλείο Διαχείρισης Ευημερίας* (Wellbeing Manager) είναι υπεύθυνα για τον καθορισμό στόχων. Τα εργαλεία αυτά έχουν σχεδιαστεί έτσι, ώστε να σκιαγραφούν σχέδια υψηλού επιπέδου και σχέδια προσαρμοσμένα στο χρήστη, αντίστοιχα. Ο ρόλος τους είναι να ακολουθούν τις προδιαγραφές που συνδέονται με την επίτευξη ενός στόχου, ο οποίος έχει τεθεί από ένα χρήστη μέσω εξειδικευμένων διεπαφών του WSB.

Από τη μία πλευρά, το Εργαλείο Σχεδιασμού Στόχων βασίζεται στα διαθέσιμα δεδομένα ενός χρήστη για να παραγάγει ένα σχέδιο υψηλού επιπέδου των δραστηριοτήτων που πρέπει να αναληφθούν από το χρήστη στο πλαίσιο επίτευξης ενός στόχου. Πέρα από το είδος του στόχου που έχει τεθεί από το χρήστη, το Εργαλείο Σχεδιασμού Στόχων λαμβάνει υπόψη τις συνήθειές του, τη φυσική του κατάσταση και το ιατρικό του ιστορικό. Στη συνέχεια, παρέχει γενικές προτάσεις εκπλήρωσης του στόχου, σεβόμενο τους διαθέσιμους πόρους (π.χ., τον επιθυμητό προϋπολογισμό φαρμακευτικών, ιατρικών ή διατροφικών προμηθειών) και τα χρονικά περιθώρια, εάν αυτά έχουν ορισθεί. Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη το στόχο βελτίωσης της φυσικής κατάστασης ενός χρήστη, ο ρόλος του εργαλείου αυτού είναι ο καθορισμός της ποσότητας των θερμίδων που πρέπει να καταναλώνει ένας χρήστης ανά ημέρα, όπως επίσης της διάρκειας και του είδους της καθημερινής φυσικής άσκησης που πρέπει να αναλαμβάνει ώστε ο προαναφερθείς στόχος να επιτευχθεί στο προκαθορισμένο

χρονικό διάστημα.

Από την άλλη πλευρά, το Εργαλείο Διαχείρισης Ευημερίας είναι υπεύθυνο για την παραγωγή οδηγιών προσαρμοσμένων στο χρήστη σε ό,τι αφορά την επίτευξη του ίδιου στόχου. Στα πλαίσια των ενεργειών του, το εργαλείο αυτό αξιοποιεί τα διαθέσιμα σημασιολογικά δεδομένα και τα σχέδια υψηλού επιπέδου που έχει διαθέσει το Εργαλείο Σχεδιασμού Στόχων. Συγκεκριμένα, το Εργαλείο Διαχείρισης Ευημερίας μετατρέπει τις αφηρημένες προτάσεις του Εργαλείου Σχεδιασμού Στόχων σε συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές. Προτείνει συγκεκριμένες εναλλακτικές για τη φαρμακευτική αγωγή που πρέπει να ακολουθήσει ο χρήστης στην περίπτωση μίας ασθένειας και παρέχει αναλυτικό καθημερινό πρόγραμμα διατροφής και φυσικής εξάσκησης στα πλαίσια διατήρησης της ευημερίας. Σε κάθε περίπτωση, το εργαλείο λαμβάνει υπόψη τους περιορισμούς που έχουν τεθεί από το χρήστη.

Τα προαναφερθέντα εργαλεία αναπτύσσονται ως ευφυή συστήματα βασισμένα σε πράκτορες λογισμικού. Κατά τη διαδικασία καθορισμού ενός στόχου, ανατίθεται σε κάθε χρήστη ένα στιγμιότυπο του Εργαλείου Σχεδιασμού Στόχων και πολλαπλά στιγμιότυπα του Εργαλείου Διαχείρισης Ευημερίας. Για την ακρίβεια, το πλήθος των στιγμιότυπων του τελευταίου καθορίζεται από το πλήθος των στόχων που έχει θέσει ο χρήστης. Σε αυτό το πλαίσιο, όλα τα στιγμιότυπα του Εργαλείου Διαχείρισης Ευημερίας ακολουθούν τα σχέδια υψηλού επιπέδου που παράγονται από το Εργαλείο Σχεδιασμού Στόχων και, εάν αυτό κριθεί αναγκαίο, συνεργάζονται μεταξύ τους με σκοπό την επίτευξη των καθορισμένων στόχων από κοινού. Και στις δύο περιπτώσεις, οι στόχοι του χρήστη θεωρούνται προβλήματα ικανοποίησης περιορισμών· το σύστημα τους αντιμετωπίζει σα σύνολα αντικειμένων, η κατάσταση των οποίων πρέπει να ικανοποιεί ένα δεδομένο πλήθος περιορισμών.

7.1.2 Πηγές και δίοδοι δεδομένων

Τα δεδομένα που αξιοποιούνται από την πλατφόρμα WSB προέρχονται από πολλαπλές, ετερογενείς πηγές δεδομένων. Οι πηγές αυτές μπορεί να αντιστοιχούν είτε σε ευφυείς προσωπικές συσκευές, οι οποίες υιοθετούν αποδοτικά πρότυπα επικοινωνίας, είτε σε ανεξάρτητες πλατφόρμες υγείας. Αναμφισβήτητα, τα δεδομένα του WSB είναι δυνατό να προέρχονται από οποιαδήποτε οντότητα, αρκεί να είναι δυνατό η οντότητα αυτή να δράσει ως πηγή δεδομένων και να διασυνδεθεί με την πλατφόρμα μέσω των παρεχόμενων διόδων.

Από την πλευρά συλλογής των δεδομένων, ο WSB στηρίζεται στη θεώρηση ότι αυτά καταφθάνουν στην πλατφόρμα εκφρασμένα αξιοποιώντας τους κώδικες LOINC. Επιπρόσθετα, αναμένεται ότι τα δεδομένα LOINC εμπεριέχονται σε ένα μήνυμα, το οποίο είναι δομημένο σύμφωνα με τις προδιαγραφές του προτύπου FHIR. Η υιοθέτηση των δύο αυτών τεχνολογιών ενισχύει την απαίτηση της διαλειτουργικότητας

τας, διευκολύνοντας την ενσωμάτωση του συστήματος με πηγές δεδομένων υγείας και δεικτών ευημερίας. Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες απαιτείται η διασύνδεση με συστήματα που δεν αξιοποιούν την ορολογία LOINC και το πρότυπο FHIR, ο WSB παρέχει τους κατάλληλους προσαρμογείς.

Η Υπηρεσία Διαχείρισης Δεδομένων LOINC (LOINC Data Handler) αποτελεί το σημείο εισαγωγής των δεδομένων LOINC στην πλατφόρμα. Προσφέρει τις απαραίτητες Διεπαφές REST σε εξωτερικές πηγές δεδομένων με σκοπό να διευκολύνει την έλευση δεδομένων που αφορούν στην υγεία και τη φυσική κατάσταση ενός χρήστη. Η υπηρεσία αυτή είναι υπεύθυνη, αφενός, για την προώθηση των δεδομένων στη Μηχανή Μετασχηματισμού Δεδομένων, η οποία εισάγει τα δεδομένα στο πρώτο στάδιο επεξεργασίας και, αφετέρου, για την αποθήκευσή τους στο Αποθετήριο Δεδομένων LOINC.

Το Αποθετήριο Δεδομένων LOINC (LOINC Data Warehouse) διατηρεί το πλήρες σύνολο των δεδομένων που καταφθάνουν στην Υπηρεσία Διαχείρισης Δεδομένων LOINC. Στα πλαίσια ικανοποίησης της ανάγκης αποδοτικής εφαρμογής ερωτημάτων σε ένα υπερμέγεθες σύνολο δεδομένων, το Αποθετήριο Δεδομένων LOINC υιοθετεί την τεχνολογία NoSQL. Οι περισσότερες υλοποιήσεις της τεχνολογίας αυτής (π.χ., MongoDB²³) παρέχουν διεπαφές REST, οι οποίες επιτρέπουν την ανταλλαγή δεδομένων σε XML ή JSON, δύο πρότυπα αναπαράστασης δεδομένων πλήρως συμβατά με το πρότυπο FHIR.

Η Διεπαφή Διαμοιρασμού Δεδομένων LOINC (LOINC Data Warehouse Endpoint) διαθέτει τα συλλεγμένα δεδομένα LOINC σε εξωτερικές υπηρεσίες και εφαρμογές, οι οποίες επιθυμούν να λάβουν τα δεδομένα υγείας και ευημερίας στην αρχική τους, πρωτογενή μορφή ώστε, για παράδειγμα, να εφαρμόσουν σε αυτά προσαρμοσμένες τεχνικές επεξεργασίας. Ομοίως, επαγγελματίες του κλάδου Υγείας μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση στα δεδομένα ενός χρήστη μέσω της Διεπαφής Διαμοιρασμού Δεδομένων LOINC ώστε να μελετήσουν ενδελεχώς συγκεκριμένους βιομετρικούς δείκτες και να προβούν σε εμπειριστατωμένες διαγνώσεις.

7.1.3 Διαχειριστικές υπηρεσίες και ασφάλεια

Η Υπηρεσία Ασφάλειας (Security Service) και το Εργαλείο Κρυπτογράφησης Δεδομένων βάσει Ιδιοτήτων (Attribute-based Data Encryptor) είναι υπεύθυνα για την ασφάλεια του συστήματος και την προστασία των δεδομένων, αντίστοιχα. Ειδικότερα, η Υπηρεσία Ασφάλειας της πλατφόρμας είναι υπεύθυνη κατά κύριο λόγο για την αυθεντικοποίηση και την εξουσιοδότηση των χρηστών, όπως επίσης και την επεξεργασία και αξιολόγηση των αιτημάτων πρόσβασης στους πόρους του συστήματος. Τα παραπάνω πραγματοποιούνται με βάση εξειδικευμένους κανόνες εκφρασμένους

²³<https://www.mongodb.org/>

αξιοποιώντας τις τεχνολογίες του Σηματολογικού Ιστού. Έτσι, κάθε αίτημα που δημιουργείται από μία υπηρεσία, ένα εργαλείο ή οποιαδήποτε συσκευή και σύστημα αναφορικά με την εφαρμογή μίας πράξης στην πλατφόρμα WSB, είτε το αίτημα αυτό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από κάποιο χρήστη είτε αποτελεί αποτέλεσμα εφαρμογής εσωτερικής λογικής από μία υπηρεσία της πλατφόρμας, ανακόπτεται από την Υπηρεσία Ασφάλειας. Η τελευταία αξιολογεί το εν λόγω αίτημα συμβουλευόμενη τις πολιτικές που διατηρούνται στο αντίστοιχο αποθετήριο και, στη συνέχεια, είτε επιτρέπει είτε απαγορεύει την πρόσβαση στο ζητούμενο πόρο ή τμήμα δεδομένων.

Ο εφαρμοζόμενος μηχανισμός ελέγχου πρόσβασης είναι κλιμακώσιμος, βασίζεται στις ιδιότητες των εμπλεκόμενων οντοτήτων και δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην ιδιωτικότητα και στο περιβάλλον εφαρμογής. Ταυτόχρονα, υιοθετεί πρακτικές διασφάλισης ικανοποίησης των απαιτήσεων της αυθεντικότητας των δεδομένων και της αξιοπιστίας του συστήματος. Για λόγους διεύρυνσης της εκφραστικότητας, οι κανόνες ελέγχου πρόσβασης στους πόρους του συστήματος συντάσσονται βάσει του μοντέλου της οντολογίας Πολιτικών, η οποία περιγράφεται αναλυτικότερα στην Ενότητα 7.2.3.

Στα πλαίσια της προστασίας των δεδομένων που συλλέγονται, επεξεργάζονται και διαμοιράζονται ανάμεσα στις εμπλεκόμενες οντότητες, εφαρμόζεται η Κρυπτογράφηση Βάσει Ιδιοτήτων (Attribute-Based Encryption – ABE) [169]. Σύμφωνα με το συγκεκριμένο είδος κρυπτογράφησης, το ιδιωτικό κλειδί ενός χρήστη, όπως επίσης και το κρυπτογράφημα, βασίζονται σε ένα σύνολο ιδιοτήτων, θεωρώντας, ταυτόχρονα, την ταυτότητα ενός χρήστη ως μία ιδιότητα. Έτσι, τα δεδομένα που εμπλέκονται σε συναλλαγές εντός της πλατφόρμας ενσωματώνουν πολιτικές πρόσβασης, εξαλείφοντας την ανάγκη ύπαρξης πολύπλοκων δομών διατήρησης κανόνων πρόσβασης. Το Εργαλείο Κρυπτογράφησης Δεδομένων βάσει Ιδιοτήτων κρυπτογραφεί τα σηματολογικά δεδομένα των χρηστών του WSB, τα οποία περιλαμβάνουν διαγνωστικά και προγνωστικά δεδομένα.

Η Υπηρεσία Διαχείρισης (Administration Service) παρέχει στο διαχειριστή του συστήματος όλα τα απαραίτητα εργαλεία ώστε να διασφαλίζεται η ορθή λειτουργία του συστήματος. Αφενός, η υπηρεσία αυτή προσφέρει λειτουργίες ελέγχου των υπηρεσιών του WSB, όπως είναι η εγκατάσταση ή η απεγκατάστασή τους και η αποστολή σε αυτές εικονικών μηνυμάτων ώστε να διαπιστώνεται η αποκρισιμότητά τους. Αφετέρου, η Υπηρεσία Ασφάλειας και η Υπηρεσία Διαχείρισης συνεργάζονται ώστε να δίνεται στο διαχειριστή του συστήματος η δυνατότητα να ορίσει κανόνες πρόσβασης για τους πόρους και τα δεδομένα του συστήματος, οι οποίοι στη συνέχεια αποθηκεύονται στο Αποθετήριο Κανόνων της Υπηρεσίας Ασφάλειας και λαμβάνονται υπόψη από την τελευταία κατά τον έλεγχο πρόσβασης.

7.2 Οντολογίες προτυποποίησης δεδομένων υγείας και δεικτών ευημερίας

Οι τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού εφαρμόζονται στα πλαίσια ομογενοποίησης ανόμοιων τύπων δεδομένων υγείας και ευημερίας. Πιο συγκεκριμένα, ένα καλώς ορισμένο σημασιολογικό μοντέλο γνώσης, το οποίο φέρει τη μορφή οντολογίας και περιγράφει έννοιες του τομέα της Υγείας και της φυσικής ευεξίας των ανθρώπων, όπως επίσης και των σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ των εννοιών αυτών, χρησιμοποιείται για το μετασχηματισμό των συλλεγμένων δεδομένων. Η οντολογία *Δεδομένων Υγείας και Καταγραφής Συμπεριφορικών Δραστηριοτήτων* (Health and Lifelogging Data – HLD) παρέχει το εννοιολογικό σχήμα, το οποίο καθιστά δυνατό το σημασιολογικό εμπλουτισμό των δεδομένων που συλλέγονται από αισθητήρες, συσκευές και συστήματα. Συμπληρωματικό ρόλο στην οντολογία HLD διαδραματίζει η οντολογία *Στόχων Ενίσχυσης Ευημερίας* (Wellbeing Goals Ontology – WG), η οποία επιτρέπει τη σκιαγράφηση στόχων και το χρονοπρογραμματισμό των επιμέρους δραστηριοτήτων που οδηγούν στην επίτευξή τους. Τα προαναφερθέντα οντολογικά μοντέλα, τα οποία περιγράφονται λεπτομερώς στη συνέχεια της παρούσας ενότητας, μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα ευρύ σύνολο οντολογικών μοντέλων της βιβλιογραφίας, ενισχύοντας τη διαλειτουργικότητα των υποκείμενων συστημάτων.

7.2.1 Η οντολογία Δεδομένων Υγείας και Καταγραφής Συμπεριφορικών Δραστηριοτήτων

Η οντολογία HLD μοντελοποιεί έννοιες σχετικές με την υγεία ενός ατόμου, όπως επίσης και με τις συνήθειες που συνδέονται με την υγεία και τη φυσική κατάσταση του ατόμου αυτού. Τα δεδομένα που εισέρχονται στο σύστημα, προερχόμενα από ενδυτές ή κινητές συσκευές και άλλα συστήματα, έχουν τη μορφή *Παρατηρήσεων* (Observation). Κάθε παρατήρηση συνοδεύεται από μία *Κατηγορία Παρατηρήσεων* (ObservationType), η οποία την προσδιορίζει σημασιολογικά. Παραδείγματα κατηγοριών παρατηρήσεων αποτελούν οι μετρήσεις βάρους, αρτηριακής πίεσης και θερμοκρασίας. Κάθε κατηγορία συνδέεται με ένα *Εύρος Τιμών Αναφοράς* (ReferenceRange), το οποίο καθορίζει τις φυσιολογικές τιμές αναφοράς για την εν λόγω κατηγορία.

Ένα στιγμιότυπο Παρατήρησης μπορεί να συνδέεται με ένα ή περισσότερα στιγμιότυπα *Συνιστώσας Παρατήρησης* (ObservationComponent). Έτσι, είναι δυνατή η μοντελοποίηση της περίπτωσης, κατά την οποία πολλαπλές μετρήσεις περιέχονται σε μία μοναδική παρατήρηση, όπως είναι η καταγραφή τόσο της συστολικής όσο και της διαστολικής αρτηριακής πίεσης σε μία παρατήρηση της κατηγορίας της αρτηρια-

κής πίεσης. Κάθε συνιστώσα διατηρεί μία τιμή και μία σύνδεση με ένα στιγμιότυπο της κλάσης *Μονάδα Μέτρησης* (Unit).

Ένα στιγμιότυπο της κλάσης *Τμήμα Σώματος* (BodyPart) συνδέεται με μία παρατήρηση για να δηλώσει το τμήμα του σώματος από το οποίο εξήχθη η αντίστοιχη μέτρηση. Μία παρατήρηση μπορεί να πραγματοποιείται είτε από ένα Άτομο (Person) είτε από μία Συσκευή (Device)· οι δύο αυτές έννοιες κληρονομούν τις ιδιότητες της έννοιας του Συμμετέχοντος (Actor), ο οποίος χαρακτηρίζεται σημασιολογικά από ένα στιγμιότυπο της κλάσης *Κατηγορία Συμμετεχόντων* (ActorType).

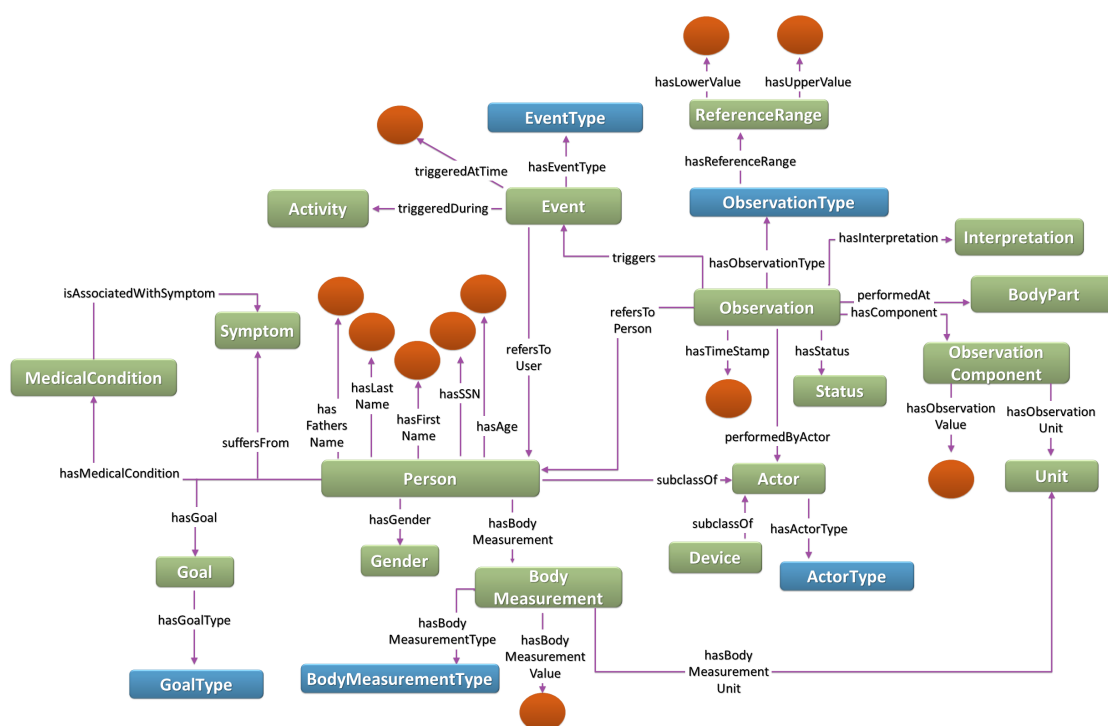
Μία παρατήρηση αναφέρεται σε ένα Άτομο. Για κάθε τέτοιο άτομο καταγράφονται ορισμένα δημογραφικά στοιχεία, όπως είναι το όνομα, το επίθετο και το πατρώνυμο, η ηλικία, ο ΑΜΚΑ και το φύλο. Στις πληροφορίες ενός ατόμου που χρησιμοποιεί την πλατφόρμα περιλαμβάνονται επίσης ορισμένες *Σωματικές Μετρήσεις* (BodyMeasurement), όπως είναι το ύψος και το βάρος, οι οποίες, σε συνδυασμό με την *Κατηγορία Σωματικών Μετρήσεων* (BodyMeasurementType) στην οποία ανήκουν, λαμβάνονται υπόψη κατά τη δημιουργία στόχων. Για κάθε μέτρηση καταγράφεται η τιμή της και η αντίστοιχη μονάδα μέτρησης.

Συχνά, ορισμένες παρατηρήσεις οδηγούν στη δημιουργία *Συμβάντων* (Event). Τα συμβάντα αυτά, τα οποία δημοσιεύονται στο κατάλληλο θέμα του WSB μέσω των ευφυών υπηρεσιών του συστήματος, διαθέτουν συνδέσεις προς μία *Κατηγορία Συμβάντων*, η οποία παρέχει το σημασιολογικό τύπο τους. Για κάθε συμβάν καταγράφεται ο άμεσα ενδιαφερόμενος χρήστης, η δραστηριότητα και, τέλος, η ακριβής χρονική στιγμή κατά την οποία αυτό σημειώθηκε.

Η οντολογία HLD επιτρέπει, επίσης, τη διατύπωση γνώσης σχετικής με παθήσεις, από τις οποίες ενδέχεται να πάσχει ένα άτομο, όπως επίσης και με τα σχετικά συμπτώματα. Οι παθήσεις αυτές διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο κατά τη σκιαγράφηση στόχων με σκοπό την πρόληψη πιθανών παρενεργειών. Τέλος, για κάθε παρατήρηση, καταγράφεται ο χρόνος σημείωσής της, όπως επίσης και η κατάστασή της (ενεργή, ανενεργή, άκυρη, κ.λπ.). Η οντολογία Δεδομένων Υγείας και Καταγραφής Συμπεριφορικών Δραστηριοτήτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 43.

7.2.2 Η οντολογία Στόχων Ενίσχυσης Ευημερίας

Η οντολογία Στόχων Ενίσχυσης Ευημερίας αποτελεί επέκταση της οντολογίας HLD. Η οντολογία αυτή παρέχει τις απαραίτητες εννοιολογικές υποδομές για την έκφραση των στόχων που θέτει ο χρήστης στα πλαίσια βελτίωσης της ποιότητας της ζωής του. Σε ό,τι αφορά την πλατφόρμα WSB, μέχρι στιγμής λαμβάνονται υπόψη δύο είδη στόχων: η βελτίωση της φυσικής κατάστασης μέσω δραστηριοτήτων εκγύμνασης και η απώλεια ή η αύξηση του βάρους ενός ατόμου· εφικτός είναι επίσης και ο συνδυασμός των δύο προαναφερθέντων στόχων. Η οντολογία Στόχων Ενίσχυσης

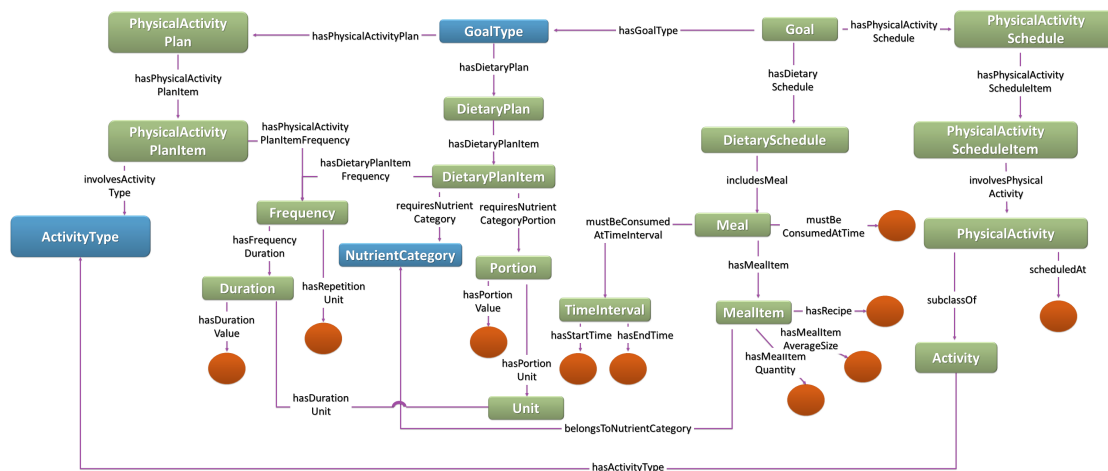


Σχήμα 43: Η οντολογία Δεδομένων Υγείας και Καταγραφής Συμπεριφορικών Δραστηριοτήτων

Ευημερίας απεικονίζεται στο Σχήμα 44.

Στο πλαίσιο αυτό, ένας στόχος μοντελοποιείται μέσω της αντίστοιχης κλάσης του *Στόχου* (Goal), ο οποίος προσδιορίζεται σημασιολογικά από μία *Κατηγορία Στόχων* (GoalType). Μία Κατηγορία Στόχων συνδέεται με ένα *Σχέδιο Φυσικής Δραστηριότητας* (PhysicalActivityPlan), το οποίο παρέχει οδηγίες υψηλού επιπέδου ώστε να επιτευχθεί ο καθορισμένος στόχος. Κάθε Σχέδιο Φυσικής Δραστηριότητας αποτελείται από ένα ή περισσότερα *Τμήματα Σχεδίου Φυσικής Δραστηριότητας* (PhysicalActivityPlanItem), τα οποία μοντελοποιούν τα διαφορετικά είδη δραστηριότητας με τα οποία πρέπει να απασχοληθεί ο χρήστης στα πλαίσια του στόχου. Έτσι, κάθε τμήμα συσχετίζεται με μία *Κατηγορία Δραστηριότητας* (ActivityType), η οποία καθορίζει το είδος της φυσικής άσκησης που θα οδηγήσει, μερικώς ή ολικώς, στην επίτευξη του στόχου. Ένα Τμήμα Σχεδίου Φυσικής Δραστηριότητας συνοδεύεται, επίσης, από μία *Συχνότητα* (Frequency), η οποία δηλώνει τη συχνότητα της δραστηριότητας ανά μονάδα χρόνου (π.χ., τρεις ώρες ανά εβδομάδα). Τα στιγμιότυπα της Συχνότητας συνδέονται με ένα στιγμιότυπο της κλάσης της *Διάρκειας* (Duration), η οποία, με τη σειρά της, διαθέτει συσχετίσεις με μία τιμή και μία μονάδα μέτρησης.

Παράλληλα, μία Κατηγορία Στόχων μπορεί να συνδέεται και με ένα *Σχέδιο Διατροφής* (DietaryPlan), το οποίο, σε αντιστοιχία με το Σχέδιο Φυσικής Δραστηριότητας, αποτελεί ένα σχεδιάγραμμα διατροφής υψηλού επιπέδου. Το Σχέδιο Διατροφής αναλύεται σε ένα ή περισσότερα *Τμήματα Σχεδίου Διατροφής* (DietaryPlanItem), τα



Σχήμα 44: Η οντολογία Στόχων Ενίσχυσης Ευημερίας

οποία καθορίζουν τις ποσότητες από κάθε κατηγορία τροφής (πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, γαλακτοκομικά, φρούτα, λαχανικά, λίπη) που πρέπει να λαμβάνει ο χρήστης ώστε να επιτευχθεί ο σχετικός στόχος. Έτσι, κάθε Τμήμα Σχεδίου Διατροφής συνδέεται με μία Ομάδα Τροφίμων (NutrientCategory) και με τη Μερίδα (Portion) μίας Κατηγορίας Τροφίμων, η οποία, με τη σειρά της, συνοδεύεται από μία τιμή και μία μονάδα μέτρησης. Όπως συμβαίνει και με τη φυσική δραστηριότητα, ένα στιγμιότυπο της κλάσης της Συχνότητας ορίζει τη συχνότητα λήψης τροφών της σχετικής κατηγορίας.

Οι προαναφερθείσες έννοιες, οι οποίες δομούν την έννοια της Κατηγορίας Στόχου, λειτουργούν αφαιρετικά παρέχοντας οδηγίες υψηλού επιπέδου προς την επίτευξη διαφορετικών ειδών στόχων. Με αντίστοιχο τρόπο ορίζεται και η έννοια του Στόχου, η οποία λειτουργεί στο επίπεδο των στιγμιότυπων. Έτσι, ένας στόχος μπορεί, όπως και προηγουμένως, να σχετίζεται με ένα Χρονοδιάγραμμα Φυσικής Δραστηριότητας (PhysicalActivitySchedule), με ένα Χρονοδιάγραμμα Διατροφής (DietarySchedule) ή με το συνδυασμό τους. Στην πρώτη περίπτωση, το Χρονοδιάγραμμα Φυσικής Δραστηριότητας καθορίζει το πρόγραμμα εκγύμνασης του χρήστη, κατανέμοντας τις απαιτούμενες Φυσικές Δραστηριότητες (PhysicalActivity) στο χρόνο. Κάθε Φυσική Δραστηριότητα κληρονομεί τις ιδιότητες μίας Δραστηριότητας (Activity), συμπεριλαμβανομένης της Κατηγορίας Δραστηριοτήτων στην οποία ανήκει.

Το Χρονοδιάγραμμα Διατροφής διασπάται σε έναν αριθμό από Γεύματα (Meal), σύμφωνα με την προδιαγραφή του Σχεδίου Διατροφής. Για κάθε γεύμα παρατίθενται τα Τμήματα Γεύματος (MeallItem), τα οποία καθορίζουν τη διατροφική κατηγορία του γεύματος, την ποσότητα και το μέγεθος της μερίδας προς κατανάλωση, όπως επίσης και βέλτιστες πρακτικές ετοιμασίας του γεύματος. Τέλος, προσδιορίζεται η ώρα ή το χρονικό περιθώριο κατανάλωσης κάθε γεύματος.

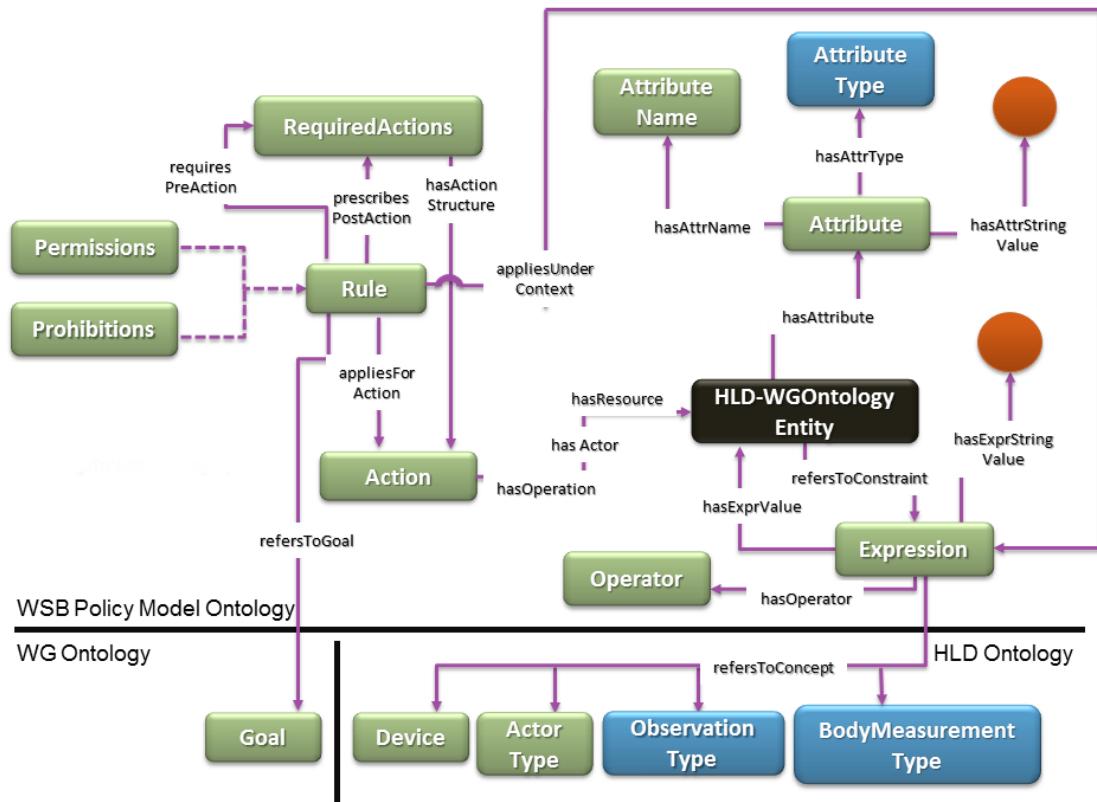
7.2.3 Η οντολογία Πολιτικών

Το γεγονός ότι ο Δίαυλος Υπηρεσιών Ευημερίας ενσωματώνει μία πληθώρα συσκευών και συστημάτων, τα οποία χρησιμοποιούν μία ευρεία ποικιλία τεχνολογιών, αυξάνει τις πιθανότητες έκθεσης των συλλεγμένων ευαίσθητων βιομετρικών δεδομένων σε εσωτερικές ή εξωτερικές απειλές και επιθέσεις. Στα πλαίσια διασφάλισης της εμπιστευτικότητας, της ακεραιότητας και της διαθεσιμότητας των δεδομένων που συλλέγονται, μεταδίδονται και τίθενται υπό επεξεργασία, η πλατφόρμα υιοθετεί αποδοτικές τεχνικές ασφάλειας. Οι υπηρεσίες του συστήματος που είναι υπεύθυνες για τη διατήρηση της ομαλής λειτουργίας του από την πλευρά της ασφάλειας υιοθετούν προηγμένα πρότυπα ασφάλειας ώστε να βεβαιώνουν την ασφαλή επικοινωνία των επιμέρους τμημάτων του, την προστασία των δεδομένων που διακινούνται εντός του συστήματος και τον έλεγχο πρόσβασης σε αυτά.

Όπως και στην εφαρμογή της ευφυούς πλατφόρμας iESB στον τομέα της διαχείρισης παραγωγής, έτσι και στην εφαρμογή ενίσχυσης της υγείας και της φυσικής κατάστασης, η προστασία των δεδομένων και ο έλεγχος πρόσβασης σε αυτά πραγματοποιούνται αξιοποιώντας το σημασιολογικό μοντέλο της οντολογίας Πολιτικών. Καθώς η μεθοδολογία προστασίας του συστήματος είναι εφαρμόσιμη ανεξάρτητα του πεδίου εφαρμογής της πλατφόρμας, οι βασικές έννοιες της οντολογίας Πολιτικών παραμένουν αναλλοίωτες. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 45, οι κύριες διαφοροποιήσεις της οντολογίας σε ό,τι αφορά το τρέχον πεδίο εφαρμογής αναφέρονται στη δημιουργία *Εκφράσεων* (Expression) συναρτήσεων των εννοιών της *Συσκευής*, της *Κατηγορίας Σωματικών Μετρήσεων*, της *Κατηγορίας Συμμετεχόντων* και της *Κατηγορίας Παρατηρήσεων*. Ομοίως, οι *Δράσεις* (Action) συντάσσονται συναρτήσεων εννοιών των οντολογιών HLD και WG. Τέλος, στις έννοιες αυτές ανατίθενται *Ιδιότητες* (Attributes), οι οποίες λαμβάνονται υπόψη κατά τον έλεγχο πρόσβασης.

7.3 Ευφυείς υπηρεσίες και δομές διαχείρισης σημασιολογικών δεδομένων υγείας και δεικτών ευημερίας

Ο μετασχηματισμός των δεδομένων LOINC σε οντολογική μορφή, η αποθήκευση των οντολογικών δεδομένων και η εφαρμογή τεχνικών επαγωγικού συλλογισμού αποτελούν λειτουργίες των *Σημασιολογικών Μικροϋπηρεσιών* (Semantic Microservices) του μεσοσμικού της πλατφόρμας WSB. Το αρχικό στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων LOINC ταυτίζεται με το σημασιολογικό μετασχηματισμό των δεδομένων, ο οποίος πραγματοποιείται από τη *Μηχανή Μετασχηματισμού Δεδομένων* (Transformation Engine). Συγκεκριμένα, η Υπηρεσία Διαχείρισης Δεδομένων LOINC προωθεί τα νεοαφιχθέντα δεδομένα στη *Μηχανή Μετασχηματισμού Δεδομένων*, η οποία αξιοποιεί προκαθορισμένες αντιστοιχίες ανάμεσα σε κώδικες της ορολογίας



Σχήμα 45: Η οντολογία Πολιτικών

LOINC (το αρχικό εννοιολογικό σχήμα) και τις έννοιες των δύο προαναφερθεισών οντολογιών (τα τελικά εννοιολογικά σχήματα). Ο ρόλος της Υπηρεσίας Μετασχηματισμού Δεδομένων είναι να λαμβάνει τα δεδομένα LOINC σαν είσοδο και να παράγει τα αντίστοιχα δεδομένα RDF, τα οποία, σε επόμενο βήμα, αποστέλλονται στη Σημασιολογική Υπηρεσία (Semantic Service). Παράλληλα, η Μηχανή Μετασχηματισμού Δεδομένων προωθεί τα νέα σημασιολογικά δεδομένα στην Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων, η οποία δημιουργεί το κατάλληλο μήνυμα συμβάντος και το δημοσιεύει στο αντίστοιχο θέμα του WSB. Με τον τρόπο αυτό, κάθε εγγεγραμμένη στο θέμα δημοσίευσης υπηρεσία μπορεί να ενημερωθεί για την άφιξη των νέων δεδομένων.

Η Σημασιολογική Υπηρεσία, αφού λάβει τα νέα τμήματα πληροφορίας, πρέπει να τα αποθηκεύσει στο Αποθετήριο Τετράδων. Το αποθετήριο αυτό, το οποίο είναι επίσης γνωστό ως ονομασθείς γράφος (named graph), αποτελεί μία δομή δεδομένων βασισμένη στους γράφους, ειδικά διαμορφωμένη ώστε να διατηρεί δεδομένα RDF. Τα Αποθετήρια Τετράδων διατηρούν δηλώσεις RDF (statements), ή τριπλέτες, ομαδοποιημένες σε υπογράφους, στους οποίους έχει ανατεθεί ένα URI. Στην περίπτωση της πλατφόρμας WSB, οι δηλώσεις οργανώνονται σε υπογράφους προσανατολισμένους σε ασθενείς· έτσι, διευκολύνεται η αναζήτηση και η επεξεργασία των δεδομένων με βάση τον ασθενή. Τα ερωτήματα μπορούν να εφαρμοσθούν στο Αποθετήριο

Τετράδων με δύο τρόπους: είτε μέσω ενός προκαθορισμένου API, είτε με τη μορφή ερωτημάτων SPARQL μέσω του *Εργαλείου Ερωτημάτων SPARQL* (SPARQL Endpoint). Όπως συμβαίνει και στην περίπτωση του iESB για τη διαχείριση της παραγωγής, στην πρώτη περίπτωση του προκαθορισμένου API προσφέρονται μέθοδοι εφαρμογής ενός συνόλου ερωτημάτων, τα οποία αναμένεται να εφαρμόζονται συχνά από τους χρήστες της πλατφόρμας (π.χ., ερωτήματα για τις παθήσεις ή τις αλλεργίες ενός χρήστη). Τέλος, εφαρμόζονται εξελιγμένες τεχνικές προσωρινής αποθήκευσης των σημασιολογικών δεδομένων (caching) με σκοπό την ενίσχυση της συνολικής απόδοσης του Αποθετηρίου Τετράδων.

Το επόμενο στάδιο της σημασιολογικής επεξεργασίας των δεδομένων περιλαμβάνει την εφαρμογή τεχνικών επαγωγικού συλλογισμού στα σημασιολογικά δεδομένα με σκοπό την εξαγωγή γνώσης, η οποία δε δηλώνεται ρητά. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα στη Σημασιολογική Υπηρεσία, η οποία αξιοποιεί κανόνες που διατηρούνται στο *Αποθετήριο Κανόνων* (Rules Repository), μία ειδική βάση δεδομένων για σημασιολογικούς κανόνες βασισμένη στη βιβλιοθήκη Apache Jena. Οι κανόνες αυτοί διαμορφώνονται σύμφωνα με συστάσεις οργανισμών που δραστηριοποιούνται στο χώρο της Υγείας, όπως είναι η Αμερικανική Ένωση για την Καρδιά (American Heart Association). Ταυτόχρονα, οι ίδιοι κανόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για παράδειγμα, για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα επίπεδα της αρτηριακής πίεσης, για να διαπιστωθεί εάν η ποσότητα πρωτεΐνης που καταναλώθηκε από ένα χρήστη κατά τη διάρκεια της ημέρας συμμορφώνεται με την ιδανική ημερήσια ποσότητα πρωτεΐνης όπως αυτή ορίζεται από τους ειδικούς του επαγγέλματος Υγείας ή εάν ένας χρήστης αφιέρωσε αρκετή ώρα για την ενίσχυση της φυσικής του κατάστασης, κ.λπ. Ακολουθώς, παρατίθενται ορισμένοι κανόνες σε φυσική γλώσσα:

- η φυσιολογική τιμή για την αρτηριακή πίεση ενός ενήλικα άνω των 20 ετών είναι ίση με 120/80 mmHg (η συστολική πίεση δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 120 mmHg και η διαστολική πίεση τα 80 mmHg),
- ένα άτομο θα πρέπει να αναλαμβάνει ήπια αεροβική δραστηριότητα ελάχιστης διάρκειας 30 λεπτών τουλάχιστον 5 ημέρες την εβδομάδα,
- ένα άτομο θα πρέπει να απασχολείται με μία δραστηριότητα για τουλάχιστον 10 λεπτά έτσι, ώστε η δραστηριότητα αυτή να είναι δυνατό να ληφθεί υπόψη ως άσκηση για τη βελτίωση της ευημερίας του ατόμου αυτού.

Αν και οι προαναφερθέντες κανόνες παρέχουν μία βασική καθοδήγηση ως προς την εφαρμογή τεχνικών συλλογισμού στα σημασιολογικά δεδομένα, στερούνται στοιχείων προσωποποίησης. Στο πλαίσιο αυτό και σε συνδυασμό με τη διαμόρφωση κανόνων σύμφωνα με τις οδηγίες των επαγγελματιών του κλάδου Υγείας, ο WSB παρέχει τις απαραίτητες υποδομές για τη δημιουργία προσωποποιημένων κανόνων εφαρμόζοντας μία εσωτερική λογική στα συλλεγμένα δεδομένα. Συγκεκριμένα, η *Γεννήτρια Σημασιολογικών Κανόνων* (Semantic Rule Generator) είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία προσωποποιημένων σημασιολογικών κανόνων, παρατηρώντας

συγκεκριμένες ιδιότητες των δεδομένων που αφορούν σε ένα χρήστη. Βάσει αυτών των προσωποποιημένων κανόνων εξάγει τις φυσιολογικές τιμές για έναν ορισμένο βιοδείκτη (π.χ., την ιδανική διάρκεια ύπνου για κάποιο χρήστη).

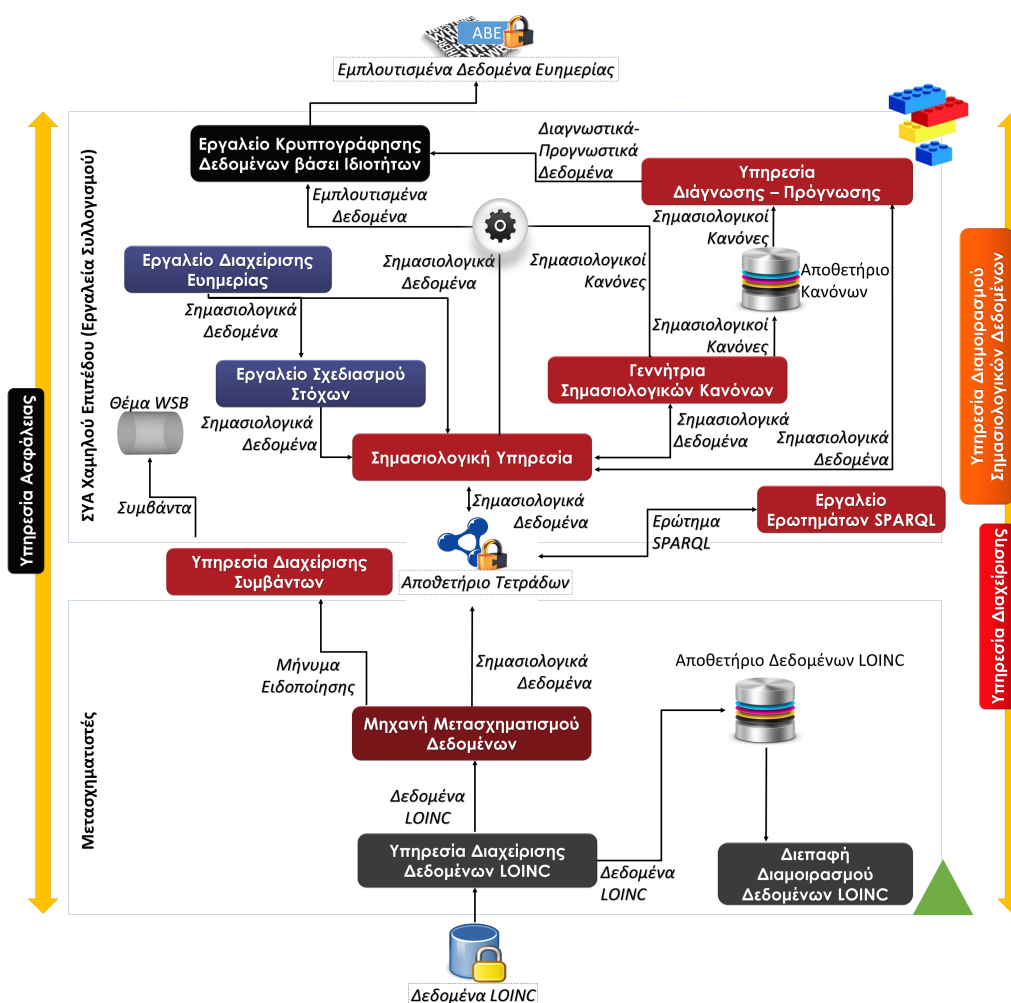
Τα εμπλουτισμένα σημασιολογικά δεδομένα υποβάλλονται σε ένα τελικό στάδιο επεξεργασίας. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει την εφαρμογή της λογικής της *Υπηρεσίας Διάγνωσης-Πρόγνωσης* (Diagnostic-Prognostic Service), η οποία μετασχηματίζει τα σημασιολογικά δεδομένα σε *δεδομένα ευημερίας*. Ειδικότερα, η Υπηρεσία Διάγνωσης-Πρόγνωσης στοχεύει στην εξαγωγή συμπερασμάτων υπό αβεβαιότητα, σε μία προσπάθεια πρόβλεψης της κατάστασης υγείας ενός χρήστη μέσω παρατηρήσεων. Η υπηρεσία αυτή είναι μία μη ντετερμινιστική υπηρεσία, η οποία υπολογίζει την υπό συνθήκη πιθανότητα ενός χρήστη να πάσχει από μία ασθένεια. Σε καθένα από τα παραπάνω βήματα εφαρμόζονται οι κατάλληλες τεχνικές προστασίας δεδομένων και ελέγχου πρόσβασης από την Υπηρεσία Ασφάλειας, ενώ το Εργαλείο Κρυπτογράφησης βάσει ιδιοτήτων κρυπτογραφεί τα δεδομένα του συστήματος στο τελευταίο στάδιο της ροής τους και πριν αυτά γίνουν διαθέσιμα σε εξωτερικές οντότητες.

Το Σχήμα 46 απεικονίζει τη ροή των δεδομένων από τη στιγμή που αυτά εισέρχονται της πλατφόρμας μέσω της Υπηρεσίας Διαχείρισης Δεδομένων LOINC μέχρι να λάβουν την τελική τους μορφή.

7.4 Εφαρμογή του Διαύλου Υπηρεσιών Ευημερίας

Στα πλαίσια παρουσίασης της λειτουργικότητας του Διαύλου Υπηρεσιών Ευημερίας επιλέχθηκε μία περίπτωση χρήσης, η οποία αφορά στην ενίσχυση της φυσικής κατάστασης ενός ατόμου μέσω εφαρμογής υγείων διατροφικών συνηθειών και εκγύμνασης. Στην περίπτωση αυτή, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα καθορισμού των παραμέτρων του εν λόγω στόχου μέσω μίας εξειδικευμένης διεπαφής χρήστη. Συγκεκριμένα, καθίσταται δυνατή η επιλογή της συνολικής διάρκειας των δραστηριοτήτων στα πλαίσια του στόχου, της σχετικής ποσότητας βάρους σε περίπτωση ανάγκης απώλειας ή αύξησης βάρους, της επιθυμητής ημερήσιας χρονικής διάρκειας της φυσικής άσκησης, κ.λπ. Παράλληλα, ο χρήστης έχει την ευκαιρία να δηλώσει τις διατροφικές του προτιμήσεις ή πιθανούς διατροφικούς περιορισμούς λόγω κάποιας πάθησης, όπως είναι ο σακχαρώδης διαβήτης και η δυσανεξία στη λακτόζη ή τη γλουτένη.

Σύμφωνα με την παραπάνω εκτενή αναφορά στο Κεφάλαιο 6, τα ήδη υπάρχοντα συστήματα λαμβάνουν υπόψη τις προτιμήσεις του χρήστη και, στη συνέχεια, παρέχουν ένα καλώς ορισμένο διατροφικό σχέδιο. Εντούτοις, τα περισσότερα από αυτά παρουσιάζουν περιορισμούς σε ό,τι αφορά τη λειτουργικότητά τους. Παραδείγματος χάρη, ορισμένα απαιτούν χειρωνακτική εισαγωγή δεδομένων, ενώ άλλα συ-



Σχήμα 46: Η ροή των δεδομένων στο Δίκτυο Υπηρεσιών Ευημερίας

στήματα δεν παρέχουν τις απαραίτητες διεπαφές επικοινωνίας με ευφυείς συσκευές και συστήματα ή δε συνδυάζουν τα διατροφικά σχέδια που παράγουν με φυσικές δραστηριότητες εκγύμνασης. Η προτεινόμενη πλατφόρμα ενίσχυσης της ευημερίας αξιοποιεί δεδομένα που συλλέγονται μέσω ενδυτών συσκευών και άλλων ευφών συστημάτων. Δεδομένου ενός πλήρως ορισμένου στόχου, η πλατφόρμα επεξεργάζεται τα δεδομένα εισόδου με σκοπό την παραγωγή ενός διατροφικού σχεδίου και ενός σχεδίου εκγύμνασης.

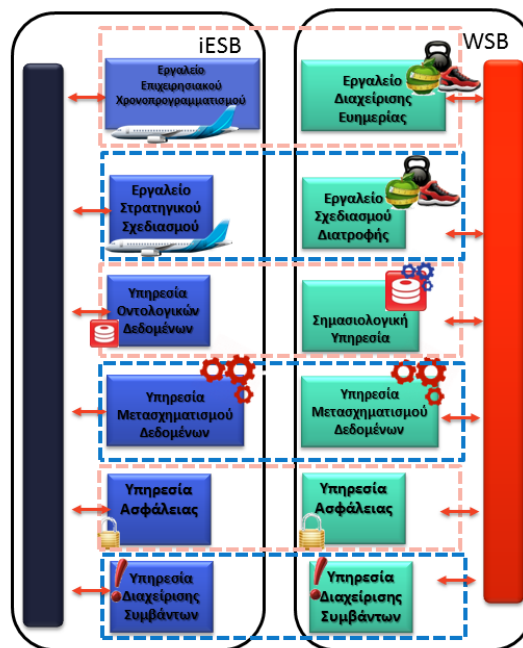
Ειδικότερα, τα Εργαλεία Σχεδιασμού Στόχων και Διαχείρισης Ευημερίας συνεργάζονται στα πλαίσια επίτευξης του προαναφερθέντος στόχου. Λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο ιστορικών δεδομένων υγείας, το Εργαλείο Σχεδιασμού Στόχων παράγει ένα αφηρημένο, μακροπρόθεσμο σχέδιο διατροφής και εκγύμνασης. Το σχέδιο αυτό υποδεικνύει την ποσότητα των θερμίδων που πρέπει να λαμβάνει ο χρήστης ημερησίως, όπως επίσης και τη διάρκεια της καθημερινής άσκησης ώστε να επιτευχθεί ο εν λόγω στόχος στο καθορισμένο χρονικό διάστημα. Η υπηρεσία αυτή καθο-

ρίζει επίσης την ποσότητα κάθε διατροφικής ομάδας που πρέπει να καταναλώνεται ημερησίως, χωρίς όμως να παρέχει συγκεκριμένες διατροφικές προτάσεις. Με τη σειρά του, το Εργαλείο Διαχείρισης Ευημερίας παράγει ημερήσια προγράμματα διατροφής και εξάσκησης προσφέροντας ένα σύνολο εναλλακτικών γευμάτων και ασκήσεων δίνοντας πάντα έμφαση στις προτιμήσεις και τους περιορισμούς του χρήστη, όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Συγκεκριμένα, το Εργαλείο Διαχείρισης Ευημερίας παράγει ημερήσια προγράμματα γευμάτων και φυσικής άσκησης, ακολουθώντας τις οδηγίες του Εργαλείου Σχεδιασμού Στόχων. Ενώ το τελευταίο αναγνωρίζει τις αναγκαίες ποσότητες κάθε κατηγορίας που πρέπει να καταναλώνονται καθημερινά από ένα άτομο (π.χ., 48 γρ. προϊόντων ολικής άλεσης), το πρώτο κατανέμει τις ποσότητες αυτές σε γεύματα, προτείνοντας συγκεκριμένα προϊόντα και συνταγές (π.χ. 3 φέτες ψωμιού ολικής άλεσης²⁴).

Από τη στιγμή που έχει τεθεί ένας στόχος και ο διάυλος υπηρεσιών έχει παραγάγει ένα πρόγραμμα διατροφής και εκγύμνασης, κάθε νέο τμήμα πληροφορίας που εισέρχεται στην πλατφόρμα προερχόμενο από ενδυτές ή άλλες συσκευές αντιμετωπίζεται σα συμβάν, το οποίο είναι άμεσα διαχειρίσιμο από την Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων. Η υπηρεσία αυτή ενσωματώνει μία μορφή εσωτερικής λογικής, η οποία δύναται να επεξεργάζεται τα εισερχόμενα συμβάντα και να συνάγει εάν αυτά είναι σχετικά με τον εν λόγω στόχο. Στην περίπτωση αυτή, δημιουργείται το κατάλληλο μήνυμα συμβάντος και δημοσιεύεται σε ένα από τα θέματα του WSB, από όπου και ενημερώνεται το Εργαλείο Διαχείρισης Ευημερίας. Στη συνέχεια, η υπηρεσία αυτή επεξεργάζεται τα δεδομένα του συμβάντος σε συνδυασμό με τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα ώστε να είναι σε θέση να σκιαγραφήσει ένα νέο πρόγραμμα ενίσχυσης της φυσικής κατάστασης του χρήστη. Για παράδειγμα, εάν το συμβάν αυτό αναφέρεται στην επιτυχή κατανάλωση ενός γεύματος από το χρήστη, η Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων ανανεώνει το πλήθος των εναπομεινάντων γευμάτων αντίστοιχα και, στη συνέχεια, ενημερώνει σχετικά το Εργαλείο Διαχείρισης Ευημερίας. Η Υπηρεσία Διαχείρισης Συμβάντων διαθέτει, επίσης, την απαραίτητη λογική ώστε να αξιολογεί την πρόοδο του χρήστη με βάση το ισχύον πρόγραμμα και τα δεδομένα εισόδου. Έτσι, αν η υπηρεσία αυτή κρίνει ότι ο χρήστης έχει παραβιάσει το πρόγραμμα που του έχει ανατεθεί (π.χ., έχει παραλείψει ένα γεύμα, έχει υπερβεί την επιτρεπόμενη ποσότητα μίας διατροφικής κατηγορίας ή έχει αγνοήσει τις προτάσεις φυσικής άσκησης), έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει νέα συμβάντα. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται τη δημοσίευση των συμβάντων αυτών με τη μορφή ειδοποιήσεων ή ακόμη και τη δημιουργία νέου προγράμματος ενίσχυσης της φυσικής κατάστασης του χρήστη από την αρχή μέσω του Εργαλείου Διαχείρισης Ευημερίας.

Στο Σχήμα 47 παρουσιάζεται η αντιστοιχία των υπηρεσιών του iESB με αυτές του WSB. Το Εργαλείο Στρατηγικού Σχεδιασμού, το οποίο παράγει αφηρημένα σχέ-

²⁴Οι ανωτέρω συστάσεις έχουν εξαχθεί από τη μη κερδοσκοπική ομάδα υποστήριξης του καταναλωτή *Whole Grains Council* (<http://wholegrainscouncil.org/>).



Σχήμα 47: Η αντιστοιχία των υπηρεσιών του iESB με τις υπηρεσίες του WSB

δια οργάνωσης των εργασιών παραγωγής, αντιπαρατίθεται με το Εργαλείο Σχεδιασμού Στόχων, ενώ το Εργαλείο Επιχειρησιακού Χρονοπρογραμματισμού, ο ρόλος του οποίου είναι η εξαγωγή χρονοπρογραμμάτων για την κατανομή των εργασιών παραγωγής ενός προϊόντος στο χρόνο, έρχεται σε αντιστοιχία με το Εργαλείο Διαχείρισης Ευημερίας. Επιπρόσθετα, οι υπηρεσίες επεξεργασίας δεδομένων του iESB, συγκεκριμένα οι Υπηρεσίες Οντολογικών Δεδομένων και Μετασχηματισμού Δεδομένων, αντιστοιχίζονται πλήρως με τη Σημασιολογική Υπηρεσία και τη Μηχανή Μετασχηματισμού Δεδομένων του WSB, με τη διαφορά ότι οι τελευταίες αποτελούν τμήματα ενός πλουσιότερου συνόλου μικροϋπηρεσιών σημασιολογικού χαρακτήρα. Τέλος, οι Υπηρεσίες Ασφάλειας και Διαχείρισης Συμβάντων βρίσκουν εφαρμογή και στις δύο πλατφόρμες με όμοιο τρόπο.

Κεφάλαιο 8

Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Κύριο έναυσμα της παρούσας διδακτορικής διατριβής αποτέλεσε η ανεξέλεγκτα αυξανόμενη μάζα πληροφορίας, η οποία είναι επακόλουθο της ραγδαίας εξέλιξης της τεχνολογίας ευφών συσκευών, όπως επίσης και της ιδιαίτερης τάσης εξατομίκευσης τόσο στο επίπεδο των προϊόντων όσο και στο επίπεδο των υπηρεσιών. Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε η αρχιτεκτονική ενός ευφούς, συνεργατικού συστήματος διαχείρισης βασισμένου σε τεχνολογίες του Σημασιολογικού Ιστού.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε μία εισαγωγική αναφορά στην τρέχουσα κατάσταση των δεδομένων από την πλευρά της παραγωγής, της συλλογής και της επεξεργασίας τους. Στα πλαίσια αυτά, αναγνωρίστηκε η ανάγκη για μία υποδομή, η οποία θα επιτρέπει τη διαχείριση ετερογενών, διάσπαρτων δεδομένων με τη μορφή ενός ομοιογενούς συνόλου γνώσης – και όχι απλής πληροφορίας. Σε ό,τι αφορά τα κίνητρα που οδήγησαν στην τρέχουσα διδακτορική διατριβή, πραγματοποιήθηκε μία αναλυτική αναφορά στις αδυναμίες των σύγχρονων συστημάτων παραγωγής δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην παραγωγή προϊόντων σε μικρή κλίμακα, όπως επίσης και στην περίοδο εκκίνησης της παραγωγής πολύπλοκων και ιδιαίτερα εξατομικευμένων προϊόντων. Στη συνέχεια, παρουσιάστηκαν εν συντομία τα κενά των υπαρχόντων συστημάτων παραγωγής, τα οποία προσπαθεί να καλύψει το εν λόγω ευφές σύστημα διαχείρισης. Αντίστοιχα, η διαδικασία αυτή ακολουθήθηκε και για το δεύτερο συνεργατικό περιβάλλον εφαρμογής της προτεινόμενης πλατφόρμας, αυτό της διαχείρισης δεδομένων υγείας και ευημερίας στα πλαίσια ενίσχυσης της φυσικής κατάστασης ενός ατόμου.

Το προτεινόμενο σύστημα βασίζεται στην αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων του Σημασιολογικού Ιστού. Η αναπαράσταση των δεδομένων που εισέρχονται στο σύστημα πραγματοποιείται με τη χρήση μίας ιεραρχίας οντολογιών διαφορετικών

για κάθε ένα από τα περιβάλλοντα εφαρμογής. Στο πλαίσιο αυτό, διερευνήθηκαν διεξοδικά τα σχετικά σημασιολογικά μοντέλα της βιβλιογραφίας. Παρ' όλα αυτά, το γεγονός ότι αναπτύχθηκαν με την περιορισμένη δυνατότητα να ικανοποιούν μόνο τα σχετικά με αυτά συστήματα γέννησε την ανάγκη δημιουργίας μίας σειράς αλληλένδετων και, ταυτόχρονα, ανεξάρτητων σημασιολογικών μοντέλων, τα οποία μπορούν να εφαρμοσθούν σε οποιοδήποτε σύστημα διαχείρισης παραγωγής και ευημερίας και να ενσωματωθούν με πρότυπες οντολογίες με στόχο τον εμπλουτισμό της υποκείμενης βάσης γνώσης.

Σε ό,τι αφορά το σύστημα διαχείρισης παραγωγής, τα αξιοποιούμενα σημασιολογικά μοντέλα δεν περιορίζονται στην παροχή μεθόδων αναπαράστασης βασικών εννοιών του τομέα. Αντιθέτως, προχωρούν πέρα από την έκφραση πόρων και την περιγραφή διαδικασιών, δίνοντας τη δυνατότητα σημασιολογικής περιγραφής των αναμενόμενων και των μη αναμενόμενων συμβάντων που ενδέχεται να σημειωθούν κατά τη διάρκεια των διαδικασιών παραγωγής. Κάθε πιθανό συμβάν μοντελοποιείται με κατάλληλο τρόπο στην οντολογία Συμβάντων, συνοδευόμενο από τις απαραίτητες ιδιότητες και από το σημασιολογικό του τύπο, ο οποίος διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην αντιμετώπιση ενός συμβάντος από τις ευφυείς υπηρεσίες του συστήματος.

Οι ευφυείς υπηρεσίες του συστήματος iESB διασφαλίζουν ότι τα δεδομένα παραγωγής διατηρούνται σε ασφαλείς σημασιολογικές δομές και η πρόσβαση σε αυτά είναι δυνατή σε πραγματικό χρόνο, καθώς και η ελάχιστη καθυστέρηση στη διαδικασία παραγωγής μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές απώλειες. Οι υπηρεσίες αυτές εκμεταλλεύονται τη σημασιολογική υπόσταση των δεδομένων ώστε να μπορούν να αντιδρούν άμεσα στα αιτήματα των εργαλείων. Αντίστοιχα, η άμεση δημοσίευση των συμβάντων παραγωγής οφείλεται στη δυνατότητα έγκαιρης ανάκτησης του είδους του εμπλεκόμενου συμβάντος μέσω του σημασιολογικού του τύπου και, σε επόμενο βήμα, μέσω της εφαρμογής της ειδικά διαμορφωμένης εσωτερικής λογικής των ευφύων υπηρεσιών του συστήματος.

Από την άλλη πλευρά, το σύστημα διαχείρισης δεδομένων υγείας και δεικτών ευημερίας επιτρέπει την αποτύπωση γνώσης με σκοπό τη θέσπιση στόχων στα πλαίσια της ενίσχυσης της ευεξίας και της φυσικής κατάστασης. Τα υποκείμενα σημασιολογικά μοντέλα έχουν σχεδιαστεί έτσι, ώστε να υποστηρίζουν την αναπαράσταση βιοδεικτών και την καταγραφή δημογραφικών στοιχείων και βιομετρικών δεδομένων. Οι οντολογίες του εν λόγω συστήματος, σε συνδυασμό με τις ευφυείς υπηρεσίες τους, καθιστούν δυνατή την ομογενοποίηση της πληθώρας των βιομετρικών δεδομένων που διατίθενται από τις συνεχώς εξελισσόμενες ενδυτές συσκευές και εφαρμογές κινητών συσκευών. Ως εκ τούτου, επιτρέπεται η συνδυασμένη επεξεργασία της πληροφορίας και η εφαρμογή σημασιολογικών κανόνων επαγωγικού συλλογισμού σε αυτή με σκοπό το μετασχηματισμό της σε γνώση. Ταυτόχρονα, προσφέρουν τις απαραίτητες υποδομές θέσπισης στόχων ενίσχυσης της φυσικής κατάστασης ανοί-

γοντας το δρόμο προς την καθιέρωση υγιών συνθηκών διαβίωσης και την άνθιση της απομακρυσμένης ανάρρωσης.

Το προτεινόμενο σύστημα αποτελεί συνδυασμό ακαδημαϊκής έρευνας και εξελιγμένων επιχειρησιακών συστημάτων, καθώς οι βάσεις του προέρχονται από τον τομέα της παραγωγής πολύπλοκων αεροναυτικών προϊόντων και αξιόπλοων προϊόντων εξοπλισμού αεροσκαφών. Εντούτοις, το σύστημα αυτό επιδέχεται βελτίωση, η οποία μπορεί να βρει εφαρμογή σε διάφορες κατευθύνσεις. Στο πλαίσιο αυτό, τα τρέχοντα και μελλοντικά σχέδια ερευνητικής δραστηριότητας αφορούν στην εξέλιξη και την επέκταση του προτεινόμενου συστήματος σε τρεις κύριους τομείς: στα δεδομένα, την υλοποιημένη λογική στα πλαίσια του επαγωγικού συλλογισμού και την υποδομή.

Από την πλευρά των δεδομένων, ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζει ο συνδυασμός των τεχνολογιών του Σηματολογικού Ιστού με τεχνολογίες δεδομένων Μεγάλης Κλίμακας (Big Data). Με την εξάπλωση των αισθητήριων συσκευών σε κάθε τομέα, όπως και στην Υγεία αλλά και την παραγωγή, συσσωρεύεται ένας ανεξέλεγκτος όγκος δεδομένων, ο οποίος συχνά μένει ανεκμετάλλευτος. Στο πλαίσιο αυτό, αποτελεί άμεσο στόχο, αφενός, η εισαγωγή της πλατφόρμας διαχείρισης παραγωγής στο περιβάλλον δεδομένων μεγάλης κλίμακας και του Διαδικτύου των Πάντων και αφετέρου, η υιοθέτηση δομών δεδομένων μεγάλης κλίμακας, ώστε να διευκολύνεται η άμεση πρόσβαση σε τεράστιους όγκους δεδομένων. Ταυτόχρονα, αναμένεται η συνέχιση της αξιοποίησης των τεχνολογιών Σηματολογικού Ιστού με σκοπό την αποδοτική εξαγωγή συμπερασμάτων.

Σε ό,τι αφορά την εσωτερική λογική και ευφυΐα του συστήματος, αυτή αναμένεται να εμπλουτισθεί λαμβάνοντας υπόψη περισσότερες συστάσεις ειδικών του κλάδου Υγείας, όπως επίσης και σχετικών οργανισμών. Επιπρόσθετα, σχεδιάζονται βήματα προς την ενσωμάτωση των οντολογιών της πλατφόρμας WSB με πρότυπες οντολογίες που εστιάζουν στην υγεία (π.χ., οντολογίες ασθενειών, συμπτωμάτων, διατροφής) ώστε να είναι δυνατή η αναπαράσταση και, κατ' επέκταση, η επεξεργασία ενός μεγαλύτερου εύρους γνώσης.

Τέλος, απαραίτητη προϋπόθεση για την εξέλιξη του ευφυούς συστήματος αποτελεί η διασφάλιση διατήρησης της βέλτιστης δυνατής απόδοσης, υιοθετώντας συνεχώς νέες τεχνολογίες ενσωμάτωσης και επικοινωνίας ετερογενών υπηρεσιών. Έτσι, στα άμεσα σχέδια περιλαμβάνεται ο εμπλουτισμός της υποδομής με εξελιγμένες τεχνικές σηματολογικής προσωρινής αποθήκευσης (semantic caching) και η εφαρμογή τεχνικών επεξεργασίας δεδομένων μεγάλης κλίμακας σε πραγματικό χρόνο. Ιδιαίτερη έμφαση θα δοθεί στη διάσπαση της συνολικής λειτουργικότητας της πλατφόρμας σε μικρά διακριτά τμήματα λειτουργιών, κάθε ένα από τα οποία θα αναλαμβάνει μία μικρο-υπηρεσία. Με τον τρόπο αυτό, ακολουθείται ένα απλούστερο, μινιμαλιστικό μοντέλο ανάπτυξης υπηρεσιών, το οποίο υποστηρίζει την ενσωμάτωση

οποιασδήποτε υπηρεσίας ανεξάρτητα από τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις της.

Βιβλιογραφία

- [1] A. Schirrmann, A. Biele, and S. Tieck, "Novel Control Strategies for the Production Ramp-Up of Aircraft Using Distributed Decision Support Solutions," *Next Generation Production Management, Cutter IT Journal*, vol. 28, pp. 6–14, Apr. 2015.
- [2] "The Linking Open Data Cloud Diagram." <http://lod-cloud.net/>. Last accessed 14/02/2016.
- [3] Open Knowledge Greece, "Greek Linked Open Data." <http://okfn.gr/greek-lod/>. Last accessed 14/02/2016.
- [4] Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA), "FIPA Request Interaction Protocol." <http://www.fipa.org/specs/fipa00026/SC00026H.html>. Last accessed 14/02/2016.
- [5] Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA), "FIPA Query Interaction Protocol." <http://www.fipa.org/specs/fipa00027/SC00027H.html>. Last accessed 14/02/2016.
- [6] P. Vrba, P. Kadera, M. Myslík, and M. Klima, "JBossESB Sniffer," in *Proceedings of 2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, pp. 1724–1729, IEEE, 2014.
- [7] Foster School of Business, "Boeing 787: The Dreamliner (B)." <http://foster.uw.edu/wp-content/uploads/2015/02/global-business-case-competition-2010-case.pdf>. Last accessed 16/02/2016.
- [8] K. E. Kurbel, "SCM: Supply Chain Management," in *Enterprise Resource Planning and Supply Chain Management* (K. E. Kurbel, ed.), pp. 221–247, Springer, 2013.
- [9] W. W. Royce, "Managing the Development of Large Software Systems: Concepts and Techniques," in *Proceedings of the 9th International Conference on Software Engineering*, pp. 328–338, IEEE Computer Society Press, 1987.
- [10] D. Leffingwell, *Scaling Software Agility: Best Practices for Large Enterprises*. Pearson Education, 2007.
- [11] D. Wortley, "How Wearable Devices Can Impact Corporate Health and Competitive Advantage," *The Corporate Impact of Wearable Devices, Cutter IT Journal*, vol. 28, pp. 17–22, Sep. 2015.
- [12] T. Erl, *Service-Oriented Architecture: Concepts, Technology, and Design*. Prentice Hall PTR, 2005.
- [13] M. P. Papazoglou, P. Traverso, S. Dustdar, and F. Leymann, "Service-Oriented Computing: State of the Art and Research Challenges," *Computer*, vol. 40, pp. 38–45, Nov. 2007.

- [14] S. Weerawarana, F. Curbera, F. Leymann, T. Storey, and D. F. Ferguson, *Web Services Platform Architecture: SOAP, WSDL, WS-Policy, WS-Addressing, WS-BPEL, WS-Reliable Messaging and More*. Prentice Hall PTR, 2005.
- [15] D. A. Menascé and V. Almeida, *Capacity Planning for Web Services: Metrics, Models, and Methods*. Prentice Hall PTR, 2001.
- [16] F. Curbera, M. Duftler, R. Khalaf, W. Nagy, N. Mukhi, and S. Weerawarana, "Unraveling the Web Services Web: An Introduction to SOAP, WSDL, and UDDI," *IEEE Internet Computing*, vol. 6, pp. 86–93, March 2002.
- [17] G. Alonso, F. Casati, H. Kuno, and V. Machiraju, *Web Services: Concepts, Architectures and Applications*. Springer Publishing Company, Inc., 1st ed., 2010.
- [18] World Wide Web Consortium (W3C), "Web Services Architecture Requirements." <http://www.w3.org/TR/wsa-reqs>, 2002. Last accessed 13/01/2016.
- [19] World Wide Web Consortium (W3C), "SOAP Version 1.2 Part 1: Messaging Framework (Second Edition)." <http://www.w3.org/TR/soap12/>. Last accessed 13/01/2016.
- [20] World Wide Web Consortium (W3C), "Web Services Description Language (WSDL) Version 2.0 Part 1: Core Language." <http://www.w3.org/TR/wsd120/>. Last accessed 13/01/2016.
- [21] OASIS, "Web Services Business Process Execution Language Version 2.0." <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/OS/wsbpel-v2.0-OS.html>. Last accessed 13/01/2016.
- [22] M. P. Papazoglou and W.-J. Van Den Heuvel, "Service Oriented Architectures: Approaches, Technologies and Research Issues," *The VLDB journal*, vol. 16, pp. 389–415, July 2007.
- [23] G. Alonso, F. Casati, H. Kuno, and V. Machiraju, *Web Services: Concepts, Architectures and Applications*. Springer Berlin Heidelberg, 1st ed., 2003.
- [24] A. Arsanjani, "Service-Oriented Modeling and Architecture," *IBM developer works*, pp. 1–15, November 2004.
- [25] J. Davies, R. Studer, and P. Warren, *Semantic Web technologies: Trends and Research in Ontology-based Systems*. John Wiley & Sons, 2006.
- [26] T. Berners-Lee, J. Hendler, O. Lassila, *et al.*, "The Semantic Web," *Scientific American*, vol. 284, pp. 28–37, May 2001.
- [27] World Wide Web Consortium (W3C), "Resource Description Framework (RDF)." <https://www.w3.org/RDF/>. Last accessed 21/01/2016.
- [28] World Wide Web Consortium (W3C), "RDF Schema 1.1." <https://www.w3.org/TR/rdf-schema>. Last accessed 21/01/2016.
- [29] World Wide Web Consortium (W3C), "OWL Web Ontology Language Overview." <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-features-20040210/>. Last accessed 21/01/2016.
- [30] World Wide Web Consortium (W3C), "SPARQL 1.1 Query Language." <http://www.w3.org/TR/sparql11-query>. Last accessed 17/01/2016.
- [31] World Wide Web Consortium (W3C), "An Introduction to Multilingual Web Addresses." <http://www.w3.org/International/articles/idn-and-iri/>. Last accessed 21/01/2016.

- [32] World Wide Web Consortium (W3C), “RDF 1.1 XML Syntax.” <http://www.w3.org/TR/rdf-syntax-grammar/>. Last accessed 21/01/2016.
- [33] World Wide Web Consortium (W3C), “Notation3 (N3): A Readable RDF Syntax.” <http://www.w3.org/TeamSubmission/n3/>. Last accessed 21/01/2016.
- [34] World Wide Web Consortium (W3C), “RDF 1.1 Turtle.” <http://www.w3.org/TR/turtle/>. Last accessed 21/01/2016.
- [35] World Wide Web Consortium (W3C), “OWL 2 Web Ontology Language Document Overview (Second Edition).” <http://www.w3.org/TR/owl2-overview/>. Last accessed 20/01/2016.
- [36] N. Shadbolt, W. Hall, and T. Berners-Lee, “The Semantic Web Revisited,” *Intelligent Systems*, vol. 21, pp. 96–101, May 2006.
- [37] D. T. Meridou, M.-E. C. Papadopoulou, I. S. Venieris, C. Z. Patrikakis, P. Vrba, O. Harcuba, C. Marin, Y. Shepilov, D. Kazanskaia, N. Rodriguez, and P. Leitão, “Semantics – Architectures and Tools,” in *Adaptive Production Planning and Scheduling: The ARUM approach based on MAS and SOA technologies* (A. Schirrmann, ed.), Springer, 2016. Under review.
- [38] I. Horrocks, “Ontologies and the Semantic Web,” *Communications of the ACM*, vol. 51, pp. 58–67, December 2008.
- [39] World Wide Web Consortium (W3C), “OWL 2 Web Ontology Language Profiles (Second Edition).” <https://www.w3.org/TR/owl2-profiles/>. Last accessed 17/01/2016.
- [40] R. Cornet and N. de Keizer, “Forty Years of SNOMED: a Literature Review,” *BMC Medical Informatics and Decision Making*, vol. 8, p. S2, October 2008.
- [41] M. Ashburner, C. A. Ball, J. A. Blake, D. Botstein, H. Butler, J. M. Cherry, A. P. Davis, K. Dolinski, S. S. Dwight, J. T. Eppig, *et al.*, “Gene Ontology: Tool for the Unification of Biology,” *Nature Genetics*, vol. 25, pp. 25–29, May 2000.
- [42] R. Peñaloza and A.-Y. Turhan, “A Practical Approach for Computing Generalization Inferences in \mathcal{EL} ,” in *The Semantic Web: Research and Applications* (G. Antoniou, M. Grobelnik, E. Simperl, B. Parsia, D. Plexousakis, P. de Leenheer, and J. Pan, eds.), pp. 410–423, Springer, 2011.
- [43] L. Yu, *A Developer’s Guide to the Semantic Web*. Springer Science & Business Media, 2011.
- [44] A. Seaborne, G. Manjunath, C. Bizer, J. Breslin, S. Das, I. Davis, S. Harris, K. Idehen, O. Corby, K. Kjernsmo, *et al.*, “SPARQL/Update: A Language for Updating RDF Graphs,” *W3C Member Submission*, vol. 15, July 2008.
- [45] World Wide Web Consortium (W3C), “SPARQL 1.1 Update.” <http://www.w3.org/TR/sparql11-update/>. Last accessed 23/01/2016.
- [46] P. Hitzler and B. Parsia, “Ontologies and Rules,” in *Handbook on Ontologies* (S. Staab and R. Studer, eds.), pp. 111–132, Springer, 2009.
- [47] E. Sirin, B. Parsia, B. C. Grau, A. Kalyanpur, and Y. Katz, “Pellet: A Practical OWL-DL Reasoner,” *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, vol. 5, pp. 51–53, June 2007.

- [48] D. Tsarkov and I. Horrocks, "FaCT++ Description Logic Reasoner: System Description," in *Automated Reasoning* (U. Furbach and N. Shankar, eds.), pp. 292–297, Springer, 2006.
- [49] B. Glimm, I. Horrocks, B. Motik, G. Stoilos, and Z. Wang, "HermiT: An OWL 2 Reasoner," *Journal of Automated Reasoning*, vol. 53, pp. 245–269, May 2014.
- [50] R. Shearer, B. Motik, and I. Horrocks, "HermiT: A Highly-Efficient OWL Reasoner," in *Proceedings of the Fifth OWLED Workshop on OWL: Experiences and Directions, Collocated with the 7th International Semantic Web Conference (ISWC-2008)* (C. Dolbear, A. Ruttenberg, and U. Sattler, eds.), vol. 432, p. 91, CEUR Workshop Proceedings, 2008.
- [51] J. Broekstra, A. Kampman, and F. Van Harmelen, "Sesame: A Generic Architecture for Storing and Querying RDF and RDF Schema," in *Proceedings of the First International Semantic Web Conference (ISWC 2002)* (I. Horrocks and J. Hendler, eds.), pp. 54–68, Springer, 2002.
- [52] B. Motik, *Reasoning in Description Logics Using Resolution and Deductive Databases*. PhD thesis, Karlsruhe Institute of Technology, 2006.
- [53] M. Weiten, *Ontostudio® as an Ontology Engineering Environment*. Springer, 2009.
- [54] O. Brazhnik and J. F. Jones, "Anatomy of Data Integration," *Journal of Biomedical Informatics*, vol. 40, pp. 252–269, June 2007.
- [55] J. Chicaiza, N. Piedra, J. Lopez-Vargas, and E. Tovar-Caro, "Domain Categorization of Open Educational Resources Based on Linked Data," in *Knowledge Engineering and the Semantic Web* (P. Klinov and D. Mouroumtsev, eds.), pp. 15–28, Springer, 2014.
- [56] I. Drost, S. Bickel, and T. Scheffer, "Discovering Communities in Linked Data by Multi-View Clustering," in *From Data and Information Analysis to Knowledge Engineering* (M. Spiliopoulou, R. Kruse, C. Borgelt, A. Nürnberger, and W. Gaul, eds.), pp. 342–349, Springer, 2006.
- [57] C. Bizer, T. Heath, and T. Berners-Lee, "Linked Data – The Story So Far," in *Semantic Services, Interoperability and Web Applications: Emerging Concepts* (A. Sheth, ed.), pp. 205–227, Information Science Reference - Imprint of: IGI Publishing, 2009.
- [58] C. Bizer, T. Heath, K. Idehen, and T. Berners-Lee, "Linked Data on the Web (LDOW2008)," in *Proceedings of the 17th International Conference on World Wide Web* (C. Bizer, T. Heath, K. Idehen, and T. Berners-Lee, eds.), pp. 1265–1266, ACM, 2008.
- [59] T. Heath and C. Bizer, *Linked Data: Evolving the Web into a Global Data Space*. Morgan & Claypool Publishers, 1st ed., 2011.
- [60] M. Schmachtenberg, C. Bizer, and H. Paulheim, "Adoption of the Linked Data Best Practices in Different Topical Domains," in *Proceedings of the 13th International Semantic Web Conference (ISWC 2014) Part I* (P. Mika, T. Tudorache, A. Bernstein, C. Welty, C. Knoblock, D. Vrandečić, P. Groth, N. Noy, K. Janowicz, and C. Goble, eds.), pp. 245–260, Springer, 2014.
- [61] "DBTune.org." <http://dbtune.org/>. Last accessed 13/03/2016.
- [62] The New York Times, "Linked Open Data." <http://data.nytimes.com/>. Last accessed 13/03/2016.
- [63] BBC, "Ontologies." <http://www.bbc.co.uk/ontologies>. Last accessed 13/03/2016.
- [64] "GeoNames." <http://www.geonames.org/>. Last accessed 13/03/2016.
- [65] "MusicBrainz." <https://musicbrainz.org/>. Last accessed 13/03/2016.

- [66] Y. Raimond, S. A. Abdallah, M. B. Sandler, and F. Giasson, "The Music Ontology," in *Proceedings of the 8th International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR 2007)*, pp. 417–422, Austrian Computer Society, 2007.
- [67] "Friend of a Friend (FOAF): An Experimental Linked Information System." <http://www.foaf-project.org/>. Last accessed 13/03/2016.
- [68] Y. Raimond and S. Abdallah, "The Event Ontology." <http://motools.sourceforge.net/event/event.html>. Last accessed 13/03/2016.
- [69] Y. Raimond and S. Abdallah, "The Timeline Ontology." <http://motools.sourceforge.net/timeline/timeline.html>. Last accessed 13/03/2016.
- [70] R. Newman and I. Davis, "Expression of Core FRBR Concepts in RDF." <http://vocab.org/frbr/core>. Last accessed 13/03/2016.
- [71] T. Wilmering and M. Sandler, "RDFx: Audio Effects Utilising Musical Metadata," in *2010 IEEE Fourth International Conference on Semantic Computing (ICSC)*, pp. 452–453, September 2010.
- [72] omras2, "Audio Features Ontology." <http://www.omras2.org/AudioFeatures>. Last accessed 13/03/2016.
- [73] G. Fazekas and M. Sandler, "The Studio Ontology Framework," in *Proceedings of the 12th International Society for Music Information Retrieval Conference*, (Miami (Florida), USA), pp. 471–476, October 24-28 2011. <http://ismir2011.ismir.net/papers/PS3-20.pdf>.
- [74] isophonics, "Studio Ontology." <http://isophonics.net/content/studio-ontology>. Last accessed 13/03/2016.
- [75] J. Sheridan and J. Tennison, "Linking UK Government Data," in *Proceedings of the Linked Data on the Web Workshop (LDOW2010)* (C. Bizer, T. Heath, T. Berners-Lee, and M. Hausenblas, eds.), CEUR Workshop Proceedings, 2010.
- [76] OpenDataCommunities.org, "Open Access to Local Data." <http://opendatacommunities.org/>. Last accessed 13/03/2016.
- [77] "German National Library." http://www.dnb.de/EN/Home/home_node.html. Last accessed 21/03/2016.
- [78] "Faceted DBLP: Searching the Digital Bibliography & Library Project." <http://dblp.l3s.de/>. Last accessed 01/04/2016.
- [79] "DBPedia." <http://wiki.dbpedia.org/>. Last accessed 01/04/2016.
- [80] "Open Library." <https://openlibrary.org/>. Last accessed 21/03/2016.
- [81] GeoNames, "GeoNames Ontology." <http://www.geonames.org/ontology/documentation.html>. Last accessed 01/04/2016.
- [82] World Wide Web Consortium (W3C), "Semantic Web Health Care and Life Sciences (HCLS) Interest Group." <https://www.w3.org/blog/hcls/>. Last accessed 03/04/2016.
- [83] M. E. Aranguren, J. T. Fernández-Breis, and M. Dumontier, "Special Issue on Linked Data for Health Care and the Life Sciences," *Semantic Web*, vol. 5, pp. 99–100, January 2014.

- [84] G. A. Miller, “WordNet: A Lexical Database for English,” *Commun. ACM*, vol. 38, pp. 39–41, November 1995.
- [85] J. E. Labra Gayo, J. P. McCrae, M. Windhouwer, and G. de Melo, “Lexvo.org: Language-related Information for the Linguistic Linked Data Cloud,” *Semantic Web*, vol. 6, pp. 393–400, August 2015.
- [86] “Lexvo.org.” <http://www.lexvo.org/>. Last accessed 02/04/2016.
- [87] “WordPress.org.” <https://wordpress.org/>. Last accessed 21/03/2016.
- [88] “The Apache Software Foundation.” <http://www.apache.org/>. Last accessed 21/03/2016.
- [89] “myexperiment.org.” <http://www.myexperiment.org/>. Last accessed 21/03/2016.
- [90] “GoodReads.com.” <http://www.goodreads.com/>. Last accessed 21/03/2016.
- [91] “Revyu.com – Review Anything.” <http://revyu.com/>. Last accessed 21/03/2016.
- [92] A. Haugen, “Abstract: The Open Graph Protocol Design Decisions,” in *Proceedings of the 9th International Semantic Web Conference (ISWC 2010)* (P. F. Patel-Schneider, Y. Pan, P. Hitzler, P. Mika, L. Zhang, J. Z. Pan, I. Horrocks, and B. Glimm, eds.), pp. 338–338, Springer Berlin Heidelberg, 2010.
- [93] “The Open Graph Protocol.” <http://ogp.me/>. Last accessed 21/03/2016.
- [94] R. Meusel, B. Spahiu, C. Bizer, and H. Paulheim, “Towards Automatic Topical Classification of LOD Datasets,” in *Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web, LDOW Workshop 2015* (C. Bizer, S. Auer, T. Berners-Lee, and T. Heath, eds.), pp. 18–22, ACM, 2015.
- [95] “Open Knowledge Greece.” <http://okfn.gr/>. Last accessed 14/02/2016.
- [96] D. Calvanese and G. De Giacomo, “Ontology-based Data Integration,” in *Tutorial at the Semantic Days 2009 Conference*, POSC Caesar Association, 2009.
- [97] C. A. Knoblock, P. Szekely, J. L. Ambite, S. Gupta, A. Goel, M. Muslea, K. Lerman, and P. Mallick, “Interactively Mapping Data Sources into the Semantic Web,” in *Proceedings of the First International Workshop on Linked Science 2011 in Conjunction with the 10th International Semantic Web Conference* (T. Kauppinen, L. C. Pouchard, and C. Keßler, eds.), CEUR Workshop Proceedings, 2011.
- [98] C. A. Knoblock, P. Szekely, J. L. Ambite, A. Goel, S. Gupta, K. Lerman, M. Muslea, M. Taheriyani, and P. Mallick, “Semi-Automatically Mapping Structured Sources into the Semantic Web,” in *The Semantic Web: Research and Applications* (E. Simperl, P. Cimiano, A. Polleres, O. Corcho, and V. Presutti, eds.), pp. 375–390, Springer, 2012.
- [99] P. Haase, I. Horrocks, D. Hovland, T. Hubauer, E. Jimenez-Ruiz, E. Kharlamov, J. W. Klüwer, C. Pinkel, R. Rosati, V. Santarelli, *et al.*, “Optique System: Towards Ontology and Mapping Management in OBDA Solutions,” in *Proceedings of the Second International Workshop on Debugging Ontologies and Ontology Mappings (WoDOOM 2013)* (P. Lambrix, G. Qi, M. Horridge, and B. Parsia, eds.), pp. 21–32, CEUR Workshop Proceedings, 2013.
- [100] C. Pinkel, A. Schwarte, J. Trame, A. Nikolov, A. S. Bastinos, and T. Zeuch, “DataOps: Seamless End-to-End Anything-to-RDF Data Integration,” in *The Semantic Web: ESWC 2015 Satellite Events* (F. Gandon, C. Guéret, S. Villata, J. Breslin, C. Faron-Zucker, and A. Zimmermann, eds.), pp. 123–127, Springer International Publishing, 2015.

- [101] P. Haase, M. Schmidt, and A. Schwarte, "The Information Workbench as a Self-Service Platform for Linked Data Applications," in *Proceedings of the Second International Workshop on Consuming Linked Data (COLD2011)* (O. Hartig, A. Harth, and J. Sequeda, eds.), CEUR Workshop Proceedings, 2011.
- [102] C. Bessiere, "Constraint Propagation," in *Handbook of Constraint Programming (Foundations of Artificial Intelligence)* (F. Rossi, P. van Beek, and T. Walsh, eds.), pp. 27–82, Elsevier, 2006.
- [103] R. Barták, "Constraint Programming: In Pursuit of the Holy Grail," in *Proceedings of the Week of Doctoral Students (WDS99)* (J. Šafránková, ed.), pp. 555–564, MATFYZPRESS, 1999.
- [104] M. Luck, P. McBurney, and C. Preist, "A Manifesto for Agent Technology: Towards Next Generation Computing," *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, vol. 9, pp. 203–252, November 2004.
- [105] J. Pearl, *Heuristics: Intelligent Search Strategies for Computer Problem Solving*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1984.
- [106] I. H. Osman and J. P. Kelly, "Meta-Heuristics: An Overview," in *Meta-Heuristics: Theory and Applications* (I. H. Osman and J. P. Kelly, eds.), pp. 1–21, Boston, MA: Springer US, 1996.
- [107] N. R. Jennings and M. Wooldridge, "Applications of Intelligent Agents," in *Agent Technology: Foundations, Applications, and Markets* (N. R. Jennings and M. J. Wooldridge, eds.), pp. 3–28, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1998.
- [108] Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA). <http://www.fipa.org/>. Last accessed 14/02/2016.
- [109] P. Leitão, "Holonics Manufacturing Systems," in *ANEMONA: A Multi-agent Methodology for Holonic Manufacturing Systems* (V. Botti and A. Giret, eds.), pp. 7–20, London: Springer London, 2008.
- [110] P. Martin and A. D'Acunto, "Design of a Production System: An Application of Integration Product–Process," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 16, pp. 509–516, November 2010.
- [111] J. L. Martinez Lastra and I. M. Delamer, "Ontologies for Production Automation," in *Advances in Web Semantics I* (E. J. Chang and K. Sycara, eds.), pp. 276–289, Springer, 2008.
- [112] S. Borgo and P. Leitão, "Foundations for a Core Ontology of Manufacturing," in *Ontologies – A Handbook of Principles, Concepts and Applications in Information Systems* (R. Sharman, R. Kishore, and R. Ramesh, eds.), pp. 751–775, Springer, 2007.
- [113] S. Lemaignan, A. Siadat, J.-Y. Dantan, and A. Semenenko, "MASON: A Proposal for an Ontology of Manufacturing Domain," in *IEEE Workshop on Distributed Intelligent Systems: Collective Intelligence and Its Applications (DIS 2006)*, pp. 195–200, IEEE, June 2006.
- [114] G. Cândido and J. Barata, "A Multiagent Control System for Shop Floor Assembly," in *Holonics and Multi-Agent Systems for Manufacturing* (V. Marik, V. Vyatkin, and A. W. Colombo, eds.), pp. 293–302, Springer, 2007.
- [115] P. Vrba, M. Radakovič, M. Obitko, and V. Mařík, "Semantic Extension of Agent-based Control: The Packing Cell Case Study," in *Holonics and Multi-Agent Systems for Manufacturing* (V. Mařík, T. Strasser, and A. Zoitl, eds.), pp. 47–60, Springer, 2009.

- [116] G. Koppensteiner, M. Merdan, A. Zoitl, and B. Favre-Bulle, "Ontology-Based Resource Allocation in Distributed Systems Using Director Facilitator Agents," in *2008 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, IEEE, 2008.
- [117] A. Karageorgos, N. Mehandjiev, G. Weichhart, and A. Hämmerle, "Agent-Based Optimisation of Logistics and Production Planning," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 16, pp. 335–348, June 2003.
- [118] Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA), "Interaction Protocol Specifications." <http://www.fipa.org/repository/ips.php3>. Last accessed 14/02/2016.
- [119] Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA), "FIPA ACL Message Structure Specification." <http://www.fipa.org/specs/fipa00061/SC00061G.html>. Last accessed 14/02/2016.
- [120] JBoss Community, "JBossESB Programmers Guide." http://docs.jboss.org/jbossesb/docs/4.9/manuals/html/Programmers_Guide/. Last accessed 21/03/2016.
- [121] M. Hapner, R. Sharma, R. Burridge, J. Fialli, and K. Haase, *Java Message Service API Tutorial and Reference: Messaging for the J2EE Platform*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2002.
- [122] D. T. Meridou, A. P. Kapsalis, M.-E. C. Papadopoulou, E. G. Karamanis, C. Z. Patrikakis, I. S. Venieris, and D.-T. I. Kaklamani, "An Ontology-based Smart Production Management System," *IT Professional*, vol. 17, pp. 36–46, Nov. – Dec. 2015.
- [123] U. Inden, D. T. Meridou, M.-E. C. Papadopoulou, A.-C. G. Anadiotis, I. S. Venieris, and C.-P. Rückemann, "Aspects of Modelling and Processing Complex Networks of Operations' Risk," *International Journal On Advances in Software*, vol. 7, December 2014.
- [124] U. Wajid, V. Chepegin, D. T. Meridou, M.-E. C. Papadopoulou, and J. Barbosa, "Adaptive Production Management Using a Service-based Platform," in *Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems*, pp. 133–144, Springer, 2015.
- [125] D. T. Meridou, U. Inden, C.-P. Rückemann, C. Patrikakis, D. I. Kaklamani, and I. S. Venieris, "Ontology-based, Multi-agent Support of Production Management," in *Proceedings of the 13th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM 2015)*, AIP, 2015.
- [126] C. Terwiesch and R. E. Bohn, "Learning and Process Improvement During Production Ramp-Up," *International Journal of Production Economics*, vol. 70, pp. 1–19, March 2001.
- [127] J. Barbosa, P. Leitão, U. Inden, and F. Mascioni, "A Multi-Agent System Tool for Strategic Planning in Small-Lot Production Environments," *Next Generation Production Management, Cutter IT Journal*, vol. 28, pp. 29–36, Apr. 2015.
- [128] V. C. Hu, D. Ferraiolo, R. Kuhn, A. R. Friedman, A. J. Lang, M. M. Cogdell, A. Schnitzer, K. Sandlin, R. Miller, K. Scarfone, et al., *Guide to Attribute-based Access Control (ABAC) Definition and Considerations*. National Institute of Standards and Technology, 2014.
- [129] U. Inden, N. Mehandjiev, L. Mönch, and P. Vrba, "Towards an Ontology for Small Series Production," in *Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems*, pp. 128–139, Springer, 2013.

- [130] U. Inden, D. T. Meridou, M.-E. C. Papadopoulou, A.-C. G. Anadiotis, and C.-P. Rückemann, “Complex Landscapes of Risk in Operations Systems Aspects of Processing and Modelling,” in *Proceedings of The Third International Conference on Advanced Communications and Computation (INFOCOMP 2013)* (C.-P. Rückemann, ed.), pp. 99–104, IARIA, 2013.
- [131] T. W. Malone and K. Crowston, “The Interdisciplinary Study of Coordination,” *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 26, pp. 87–119, March 1994.
- [132] European Aviation Safety Agency (EASA), “Part-21 AMC GM Issue 2.” <https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/AnnexItoEDDecision2012-020-R.pdf>. Last accessed 17/01/2016.
- [133] E. I. Papagiannakopoulou, M. N. Koukovini, G. V. Lioudakis, J. Garcia-Alfaro, D. I. Kaklamani, I. S. Venieris, F. Cuppens, and N. Cuppens-Boulahia, “A privacy-aware access control model for distributed network monitoring,” *Computers & Electrical Engineering*, vol. 39, no. 7, pp. 2263 – 2281, 2013.
- [134] M. Haller, A. Peikert, and J. Thoma, “Cycle Time Management During Production Ramp-Up,” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 19, pp. 183–188, Feb. – Apr. 2003.
- [135] H. Almgren, “Pilot Production and Manufacturing Start-Up: The Case of Volvo S80,” *International Journal of Production Research*, vol. 38, pp. 4577–4588, November 2000.
- [136] C. A. Marn, P. Vrba, P. Leitão, L. Mönch, G. V. Lioudakis, D. Kazanskaia, V. Chepegin, L. Liu, J. Barbosa, A. Tsarev, *et al.*, “Application of Intelligent Service Bus in a Ramp-Up Production Context,” in *Proceedings of the Industrial Track of the Conference on Advanced Information Systems Engineering 2013 (CAiSE’13)* (V. Pelechano, G. Regev, and Y. Pigneur, eds.), pp. 33–40, CEUR Workshop Proceedings, 2013.
- [137] D. Frey, J. Nimis, H. Wörn, and P. Lockemann, “Benchmarking and Robust Multi-Agent-based Production Planning and Control,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 16, pp. 307–320, June 2003.
- [138] P. Kierkegaard, “Electronic Health Record: Wiring Europe’s Healthcare,” *Computer Law & Security Review*, vol. 27, pp. 503 – 515, September 2011.
- [139] European Commission, “Overview of the National Laws on Electronic Health Records in the EU Member States – National Report for Greece.” http://ec.europa.eu/health/ehealth/docs/laws_greece_en.pdf. Last accessed 10/03/2016.
- [140] “Fast Healthcare Interoperability Resources.” <http://www.hl7.org/implementation/standards/fhir/>. Last accessed 02/04/2016.
- [141] D. Bender and K. Sartipi, “HL7 FHIR: An Agile and RESTful Approach to Healthcare Information Exchange,” in *2013 IEEE 26th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)*, pp. 326–331, IEEE, June 2013.
- [142] “Health Level Seven.” <http://www.hl7.org/>.
- [143] A. W. Forrey, C. J. McDonald, G. DeMoor, S. M. Huff, D. Leavelle, D. Leland, T. Fiers, L. Charles, B. Griffin, F. Stalling, *et al.*, “Logical Observation Identifier Names and Codes (LOINC) Database: A public Use Set of Codes and Names for Electronic Reporting of Clinical Laboratory Test Results,” *Clinical Chemistry*, vol. 42, pp. 81–90, January 1996.

- [144] C. J. McDonald, S. M. Huff, J. G. Suico, G. Hill, D. Leavelle, R. Aller, A. Forrey, K. Mercer, G. DeMoor, J. Hook, *et al.*, "LOINC, A Universal standard for identifying laboratory observations: A 5-Year Update," *Clinical chemistry*, vol. 49, no. 4, pp. 624–633, 2003.
- [145] Regenstrief Institute, "Logical Observation Identifiers Names and Codes (LOINC)." <https://loinc.org/>. Last accessed 20/03/2016.
- [146] M. Q. Stearns, C. Price, K. A. Spackman, and A. Y. Wang, "SNOMED Clinical Terms: Overview of the Development Process and Project Status," in *Proceedings of the American Medical Informatics Association (AMIA) Symposium* (S. Bakken, ed.), p. 662, Hanley & Belfus, Inc., 2001.
- [147] The International Health Terminology Standards Development Organisation, "SNOMED CT: The Global Language of Healthcare." <http://www.ihtsdo.org/snomed-ct>.
- [148] World Health Organization (WHO), "International Classification of Diseases (ICD)." <http://www.who.int/classifications/icd/en/>. Last accessed 20/03/2016.
- [149] IEEE Standards Association, "IEEE 11073 Personal Health Device." <https://standards.ieee.org/develop/wg/PHD.html>. Last accessed 20/03/2016.
- [150] A. Egner, F. Moldoveanu, N. Goga, A. Moldoveanu, and V. Asavei, "Enhanced Communication Protocol for ISO/IEEE 11073-20601," *UPB Scientific Bulletin, Series C: Electrical Engineering*, vol. 75, pp. 3–16, January 2013.
- [151] IEEE Standards Association, "P11073-20601 – Health Informatics – Personal Health Device Communication – Part 20601: Application Profile – Optimized Exchange Protocol." <https://standards.ieee.org/develop/project/11073-20601.html>. Last accessed 20/03/2016.
- [152] P. Britten, "Supertracker Incorporates Food Composition Data into Innovative Online Consumer Tool," *Procedia Food Science*, vol. 2, pp. 172 – 179, 2013.
- [153] K. Kaur and R. Rani, "A Smart Polyglot Solution for Big Data in Healthcare," *IT Professional*, vol. 17, pp. 48–55, Nov. – Dec. 2015.
- [154] IBM, "IBM's Healthcare Integration Solution." http://www.logicare.ch/tl_files/inhalte/dokumente/IBM_Healthcare_Solution.pdf. Last accessed 22/03/2016.
- [155] A. Ryan and P. Eklund, "The Health Service Bus: An Architecture and Case Study in Achieving Interoperability in Healthcare," *Studies in Health Technology and Informatics*, vol. 160, pp. 922–926, September 2010.
- [156] A. Sharma, K. Agarwal, R. Dubey, S. Bhaumik, and S. Nagaraju, "S-fit: Knowledge-guided Fitness Pattern Mining Framework," in *2015 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM)*, pp. 875–882, IEEE, November 2015.
- [157] Y. B. D. Trinugroho, F. Reichert, and R. Fensli, "An Ontology-enhanced SOA-based Home Integration Platform for the Well-Being of Inhabitants," in *Proceedings of the 4th IADIS International Conference on e-Health* (M. Macedo, ed.), pp. 159–164, IADIS Publications, 2012.
- [158] M. Alirezaie and A. Loutfi, "Automated Reasoning Using Abduction for Interpretation of Medical Signals," *Journal of Biomedical Semantics*, vol. 5, p. 1, August 2014.
- [159] M. Compton, P. Barnaghi, L. Bermudez, R. García-Castro, O. Corcho, S. Cox, *et al.*, "The SSN Ontology of the W3C Semantic Sensor Network Incubator Group," *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, vol. 17, pp. 25 – 32, December 2012.

- [160] D. Riaño, F. Real, J. A. López-Vallverdú, F. Campana, S. Ercolani, P. Mecocci, R. Annicchiarico, and C. Caltagirone, “An Ontology-based Personalization of Health-Care Knowledge to Support Clinical Decisions for Chronically Ill Patients,” *Journal of Biomedical Informatics*, vol. 45, pp. 429 – 446, June 2012.
- [161] M. Jensen, A. P. Cox, N. Chaudhry, M. Ng, D. Sule, W. Duncan, P. Ray, B. Weinstock-Guttman, B. Smith, A. Ruttenberg, *et al.*, “The Neurological Disease Ontology,” *Journal of biomedical semantics*, vol. 4, p. 1, December 2013.
- [162] S. Pais, D. Parry, E. Rush, and J. Rowan, “Data Integration for Mobile Wellness Apps to Support Treatment of GDM,” in *Proceedings of the Australasian Computer Science Week Multiconference*, p. 64, ACM, 2016.
- [163] J. Cantais, D. Dominguez, V. Gigante, L. Laera, and V. Tamma, “An Example of Food Ontology for Diabetes Control,” in *Proceedings of the 4th International Semantic Web Conference 2005, Workshop on Ontology Patterns for the Semantic Web*, pp. 1–9, Semantic Web Science Association, 2005.
- [164] M. Brochhausen, G. Weiler, C. Cocos, H. Stenzhorn, N. Graf, M. Dorr, and M. Tsiknakis, “The ACGT Master Ontology on Cancer – A New Terminology Source for Oncological Practice,” in *21st IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS’08)*, pp. 324–329, IEEE, 2008.
- [165] D. T. Meridou, M.-E. C. Papadopoulou, A. P. Kapsalis, P. Kasnesis, C. Z. Patrikakis, I. S. Venieris, and D. I. Kaklamani, “Improving Quality of Life with the Internet of Everything,” in *Beyond the Internet of Things: Everything Interconnected* (J. M. Batalla, G. Mastorakis, C. X. Mavromoustakis, and E. Pallis, eds.), Springer, 2016. To appear.
- [166] D. T. Meridou, A. Kapsalis, P. Kasnesis, C. Z. Patrikakis, I. S. Venieris, and D.-T. I. Kaklamani, “An Event-driven Health Service Bus,” in *Proceedings of the 5th EAI International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare - “Transforming healthcare through innovations in mobile and wireless technologies”* (A. Alomainy, W. Whittow, Y. Hao, K. S. Nikita, and C. G. Parini, eds.), ACM, 2015.
- [167] D. T. Meridou, M.-E. C. Papadopoulou, P. Kasnesis, C. Z. Patrikakis, G. Lamprinakos, A. P. Kapsalis, I. S. Venieris, and D.-T. I. Kaklamani, “The Health Avatar: Privacy-aware Monitoring and Management,” *IT Professional*, vol. 17, pp. 20–27, Sep. – Oct. 2015.
- [168] A. I. Delikaris and C. Z. Patrikakis, “My Social Net-Clone,” in *Proceedings of the 10th International Scientific Conference eRA-10*, 2015.
- [169] J. Bethencourt, A. Sahai, and B. Waters, “Ciphertext-Policy Attribute-based Encryption,” in *IEEE Symposium on Security and Privacy (SP 2007)*, pp. 321–334, IEEE, 2007.
- [170] V. Chepegin, D. T. Meridou, M.-E. C. Papadopoulou, and D. V. Rusu, “Turning Your Legacy Systems into Future Profit: Innovation in Production Management,” *Cutter IT Journal*, vol. 28, pp. 21–28, April 2015.

Δημοσιεύσεις

Διεθνή Περιοδικά

- D. T. Meridou, A. P. Kapsalis, M.-E. C. Papadopoulou, E. G. Karamanis, C. Z. Patrikakis, I. S. Venieris, and D.-T. I. Kaklamani, "An Ontology-based Smart Production Management System," *IT Professional*, vol. 17, pp. 36–46, Nov. – Dec. 2015
- D. T. Meridou, M.-E. C. Papadopoulou, P. Kasnesis, C. Z. Patrikakis, G. Lamprinakos, A. P. Kapsalis, I. S. Venieris, and D.-T. I. Kaklamani, "The Health Avatar: Privacy-aware Monitoring and Management," *IT Professional*, vol. 17, pp. 20–27, Sep. – Oct. 2015
- V. Chepegin, D. T. Meridou, M.-E. C. Papadopoulou, and D. V. Rusu, "Turning Your Legacy Systems into Future Profit: Innovation in Production Management," *Cutter IT Journal*, vol. 28, pp. 21–28, April 2015
- U. Inden, D. T. Meridou, M.-E. C. Papadopoulou, A.-C. G. Anadiotis, I. S. Venieris, and C.-P. Rückemann, "Aspects of Modelling and Processing Complex Networks of Operations' Risk," *International Journal On Advances in Software*, vol. 7, December 2014

Κεφάλαια βιβλίων

- D. T. Meridou, M.-E. C. Papadopoulou, I. S. Venieris, C. Z. Patrikakis, P. Vrba, O. Harcuba, C. Marin, Y. Shepilov, D. Kazanskaia, N. Rodriguez, and P. Leitão, "Semantics – Architectures and Tools," in *Adaptive Production Planning and Scheduling: The ARUM approach based on MAS and SOA technologies* (A. Schirrmann, ed.), Springer, 2016. Under review
- D. T. Meridou, M.-E. C. Papadopoulou, A. P. Kapsalis, P. Kasnesis, C. Z. Patrikakis, I. S. Venieris, and D. I. Kaklamani, "Improving Quality of Life with the Internet of Everything," in *Beyond the Internet of Things: Everything Interconnected* (J. M. Batalla, G. Mastorakis, C. X. Mavromoustakis, and E. Pallis, eds.), Springer, 2016. To appear

Πρακτικά Συνεδρίων

- D. T. Meridou, A. Kapsalis, P. Kasnesis, C. Z. Patrikakis, I. S. Venieris, and D.-T. I. Kaklamani, "An Event-driven Health Service Bus," in *Proceedings of the 5th EAI International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare - "Transforming healthcare through innovations in mobile and wireless technologies"* (A. Alomainy, W. Whittow, Y. Hao, K. S. Nikita, and C. G. Parini, eds.), ACM, 2015

- U. Wajid, V. Chepegin, D. T. Meridou, M.-E. C. Papadopoulou, and J. Barbosa, “Adaptive Production Management Using a Service-based Platform,” in *Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems*, pp. 133–144, Springer, 2015
- D. T. Meridou, U. Inden, C.-P. Rückemann, C. Patrikakis, D. I. Kaklamani, and I. S. Venieris, “Ontology-based, Multi-agent Support of Production Management,” in *Proceedings of the 13th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM 2015)*, AIP, 2015
- U. Inden, D. T. Meridou, M.-E. C. Papadopoulou, A.-C. G. Anadiotis, and C.-P. Rückemann, “Complex Landscapes of Risk in Operations Systems Aspects of Processing and Modelling,” in *Proceedings of The Third International Conference on Advanced Communications and Computation (INFOCOMP 2013)* (C.-P. Rückemann, ed.), pp. 99–104, IARIA, 2013