



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Ανάπτυξη αρχιτεκτονικής Openflow για την υποστήριξη πολλαπλών ελεγκτών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ελευθέριος Δ. Μουρίκης

Επιβλέπων : Ευστάθιος Συκάς

Αθήνα, Ιούνιος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Ανάπτυξη αρχιτεκτονικής Openflow για την υποστήριξη πολλαπλών ελεγκτών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ελεθέριος Δ. Μουρίκης

Επιβλέπων : Ευστάθιος Συκάς

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 22^η Ιουνίου 2015.

.....
Ευστάθιος Συκάς

.....
Μιχαήλ Θεολόγου

.....
Γεώργιος Στασινόπουλος

Αθήνα, Ιούνιος 2015

.....
Ελευθέριος, Δ. Μουρίκης

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

Copyright © Ελευθέριος Μουρίκης, 2015.

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 τον συγγραφέα.

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας είναι η ανάπτυξη μίας πλατφόρμας η οποία επιτρέπει τη διασύνδεση δικτυακών τοπολογιών σε πολλαπλούς OpenFlow ελεγκτές. Οι τοπολογίες αποτελούνται από ενεργό εξοπλισμό δικτύου, κυρίως μεταγωγείς Ethernet (switches), που υποστηρίζουν το πρωτόκολλο OpenFlow και υπολογιστές-κόμβοι (hosts).

Η πλατφόρμα χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο OpenFlow και στηρίζεται σε ένα πειραματικό λογισμικό, με το όνομα Flowvisor. Ο Flowvisor αποτελεί έναν διαμεσολαβητή (proxy) μεταξύ των δικτυακών συσκευών και των OpenFlow ελεγκτών. Με αυτό τον τρόπο ο Flowvisor επιτυγχάνει να εισάγει την έννοια της εικονικοποίησης στα δίκτυα βασισμένα στο OpenFlow. Στο μέτρο που είναι δυνατό να γνωρίζουμε, ο Flowvisor αποτελεί μοναδική λύση εικονικοποίησης για τα Software Defined Networks (SDN).

Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση της πλατφόρμας που πραγματεύεται η παρούσα εργασία επεκτείνει τόσο τη λειτουργικότητα του Flowvisor όσο και τη χρηστικότητα των εργαλείων διαχείρισής του. Τα υφιστάμενα εργαλεία άντλησης πληροφοριών από τον Flowvisor και της διαχείρισής του αξιοποιούνται ώστε να δημιουργηθεί ένα γραφικό περιβάλλον διαχείρισης και οπτικοποίησης των παραμέτρων του Flowvisor. Επιπλέον, δημιουργούνται ρουτίνες που επιτρέπουν τη διαχείριση άγνωστων τοπολογιών, ώστε αυτές να συνδέονται σε έναν προεπιλεγμένο από το διαχειριστή OpenFlow ελεγκτή.

Η πλατφόρμα και τα εργαστηριακά πειράματα που χρησιμοποιήθηκαν, υλοποιήθηκαν όλα στην υποδομή του εργαστηρίου Δικτύων Υπολογιστών της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ, όπου και γίνεται η επίδειξη της λειτουργίας και της χρήσης της πλατφόρμας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

OpenFlow, SDN, Flowvisor, Network virtualization

ABSTRACT

The primary objective of this diploma thesis is the development of a platform that allows the interconnection between network topologies and multiple OpenFlow controllers. The topologies are consisted of active network components, mainly Ethernet switches, that support the OpenFlow protocol and computers (hosts).

The platform makes use of the OpenFlow protocol and is based on an experimental piece of software, named Flowvisor. The Flowvisor consists an intermediary (proxy) between the network devices and the OpenFlow controllers. This way Flowvisor achieves to introduce the concept of virtualization to the OpenFlow based networks. To the extend of our knowledge, Flowvisor is the only available virtualization solution for Software Defined Networks (SDN).

The design and realization of the platform that is examined in this thesis expands not only the Flowvisor's features, but its management tools usability. The existing Flowvisor's tools for information retrieval and its management are leveraged so that a graphical management interface and a visualization of Flowvisor's parameters is built. In addition, new routines are introduced that allow the management of unknown topologies, so that they get connected to a predefined by administrator OpenFlow controller.

The platform and the lab experiments that were used, they were all constructed at the infrastructure of NTUA's Computer Networks Laboratory, housed in the School of Electrical and Computer Engineering, where all the demonstrations of the platform's functionality and use take place.

KEY WORDS

OpenFlow, SDN, Flowvisor, Network virtualization

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2014-2015, υπό την επίβλεψη του καθηγητή Ευστάθιου Συκά, του τομέα Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεσή της. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον Πάρη Χαραλάμπου, ο οποίος μου έδωσε όλες τις απαραίτητες κατευθύνσεις και στάθηκε ακαδημαϊκά δίπλα μου σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας μου. Χωρίς την πολύτιμη συμβολή του δε θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωσή της. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου για την κατανόηση που έδειξε όλες εκείνες τις μέρες και νύχτες που έπρεπε να εργαστώ αλλά και την ηθική και ψυχολογική στήριξη που μου παρείχε καθόλη τη διάρκεια της εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ	3
ABSTRACT	4
KEY WORDS	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	6
1. Εισαγωγή	9
1.1 Η ανάγκη για τον διαχωρισμό των δικτύων	9
1.2 Το πρωτόκολλο OpenFlow	9
1.2.1 Γενικά.....	9
1.2.2 Ο τρόπος λειτουργίας του OpenFlow	10
1.2.3 Τα δομικά στοιχεία του OpenFlow	11
1.3 Η ανάγκη για εικονικοποίηση του OpenFlow	11
1.4 Εικονικοποίηση δικτύου με τον Flowvisor	13
1.4.1 Γενικά για τον Flowvisor	13
1.4.2 Η αρχιτεκτονική και τα δομικά στοιχεία του Flowvisor.....	13
1.4.3 Ο Flowspace (Χώρος Ροής).....	15
1.4.4 Σχεδιαστικοί στόχοι του Flowvisor	15
1.5 Ο Flowvisor αναλυτικά στην πράξη	16
1.5.1 Λειτουργική περιγραφή του Flowvisor	16
1.5.2 Πολιτική Ορισμού Διάτμησης	19
1.6 Μηχανισμοί απομόνωσης.....	21
1.6.1 Απομόνωση εύρους ζώνης.....	21
1.6.2 Απομόνωση τοπολογίας.....	22
1.6.3 Απομόνωση επεξεργαστικής ισχύς μεταγωγέα.....	22
1.6.4 Απομόνωση του Flowspace.....	24
1.6.5 Απομόνωση Καταχωρίσεων Ροών	24
1.6.6 Απομόνωση στρώματος ελέγχου του OpenFlow.....	24
1.7 Τα εργαλεία του Flowvisor	24
1.7.1 Το εργαλείο fvconfig	25
1.7.2 Το εργαλείο fvctl	25
2. Υποστήριξη πολλαπλών ελεγκτών στο OpenFlow	27
2.1 Περιορισμοί του Flowvisor στο διαχωρισμό τοπολογιών	27

2.2 Χειρισμός άγνωστων τοπολογιών	27
2.3 Η εφαρμογή FVSliceManager	28
2.4 Περιγραφή backend του FVSliceManager	28
2.4.1 Go.sh	28
2.4.2 dumpAbout.sh	29
2.4.3 dumpSlices.sh	29
2.4.4 dumpSlicesDetailed.sh	29
2.4.5 dumpFlowSpace.sh	30
2.4.6 dumpFlowSpaceRules.sh	30
2.4.7 dumpUnknownDPIDs.sh	30
2.4.8 formAddUnknownDPIDs-toDefaultSlice.sh	30
2.4.9 formAddNewSlice.sh	31
2.4.10 formRemoveSlice.sh	31
2.4.11 formAddNewFlowSpaceRule.sh	31
2.4.12 formRemoveFlowSpaceRule.sh	31
2.5 Περιγραφή λειτουργίας της διεπαφής FVSliceManager	32
2.5.1 Σελίδα Stats	32
2.5.2 Σελίδα FVSlices	33
2.5.3 Σελίδα FlowSpace	35
2.5.4 Σελίδα About	38
3. Συμπεράσματα	38
Παράρτημα Α: Πηγαίος κώδικας backend εφαρμογών Shell Scripts	39
Go.sh	39
checkFlowvisorDaemon.sh	40
dumpAbout.sh	40
dumpSlices.sh	41
dumpSlicesDetailed.sh	41
dumpFlowSpace.sh	42
dumpFlowSpaceRules.sh	42
dumpUnknownDPIDs.sh	43
formAddUnknownDPIDs-toDefaultSlice.sh	43
formAddNewSlice.sh	44
formRemoveSlice.sh	44
formAddNewFlowSpaceRule.sh	45
formRemoveFlowSpaceRule.sh	45

Παράρτημα Β: Πηγαίος κώδικας Διαδικτυακής εφαρμογής FVScIieManager	46
index.php	46
fvslices.php	48
fvslicesAddNewSlice.php.....	53
fvslicesRemoveSlice.php	56
flowspace.php	58
flowspaces.php.....	64
flowspaceAddFlowSpace.php.....	67
flowspaceRemoveFlowspace.php	70
flowspaceSetNewDefaultSlice.php	72
help.php.....	74
about.php	76
site.css	78
Βιβλιογραφία.....	79

1. Εισαγωγή

1.1 Η ανάγκη για τον διαχωρισμό των δικτύων

Τα σύγχρονα δίκτυα που εξυπηρετούν επιχειρήσεις, οργανισμούς και ιδρύματα αποτελούνται από επί μέρους υποδίκτυα, το καθένα από τα οποία έχει το δικό του σκοπό και λειτουργικότητα. Παρότι συχνά αναφερόμαστε σε αυτά με τον απλό όρο «δίκτυο», στην ουσία πρόκειται για περισσότερα υπο-δίκτυα, διασυνδεδεμένα μεταξύ τους ώστε να αποτελέσουν όλα μαζί ένα διαδίκτυο. Το κάθε δίκτυο έχει τη δική του διευθυνσιοδότηση Layer-3, η οποία οφείλει να είναι μοναδική στο διαδίκτυο του οργανισμού.

Ο διαχωρισμός των δικτύων αποτελεί μία βασική ανάγκη, που έχει πολλαπλό σκοπό. Λειτουργικό, διαχειριστικό, σχετικό με την ασφάλεια και τον περιορισμό πρόσβασης, διοικητικό και χωροταξικό. Ο κατεξοχήν τρόπος διαχωρισμού των Layer-3 δικτύων σε έναν οργανισμό είναι αυτός που προκύπτει από τη χρήση των Virtual LANs (VLANs) κατά το πρωτόκολλο 802.1q .

Ωστόσο, η χρήση των VLANs εμπεριέχει εν γένει ορισμένους περιορισμούς. Το πλήθος των VLANs μπορεί να είναι έως 4094 (οι αριθμοί 0 και 4096 είναι δεσμευμένοι), καθώς υπάρχει περιορισμένο πλήθος bits που έχουν προβλευθεί για αυτό το σκοπό στο πρωτόκολλο Ethernet. Επιπλέον, ο ορισμός τους γίνεται με χρήση ενός αριθμού από το 1 έως το 4094, κάτι που δε βοηθάει τους διαχειριστές να θυμούνται και να ονοματίζουν εύκολα το κάθε δίκτυο. Επιπλέον, δεν υπάρχει δυνατότητα διαχωρισμού της κίνησης του δικτύου (network traffic) ανάλογα με χαρακτηριστικά που διαθέτει, όπως Layer-4 θύρα πηγής ή/και προορισμού, Layer-3 διεύθυνσης πηγής ή/και προορισμού, Layer-2 (Medium Access Control – MAC) διευθύνσεις πηγής ή/και προορισμού, κοκ. Είναι δηλαδή ένα αρκετά περιορισμένο πρωτόκολλο όσο αφορά τον χαρακτηρισμό και την ένταξη της κίνησης (traffic) σε κάποιο VLAN.

Ωστόσο, ειδικά σε εκπαιδευτικά ιδρύματα, υπάρχει η ανάγκη για τη δημιουργία μεγάλης κλίμακας πειραμάτων που εκτείνονται σε μεγάλο πλήθος δικτυακών συσκευών, ακόμα και σε ολόκληρο το ακαδημαϊκό campus. Αυτά τα πειράματα διενεργούνται από ερευνητικές ομάδες των ιδρυμάτων και συχνά είναι πολύ μεγάλης σημασίας για την ερευνητική τους δραστηριότητα. Παράλληλα όμως υπάρχει η ανάγκη τα πειράματα αυτά να μην επηρεάζουν και, κυρίως, να μην εμπλέκονται στη λειτουργία του δικτύου των υποδομών του ιδρύματος δημιουργώντας προβλήματα.

Αυτή την ανάγκη, για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω, δε μπορεί να καλύψει το 802.1q . Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε το πρωτόκολλο OpenFlow, το οποίο λύνει ένα μεγάλο μέρος των προβλημάτων στα οποία το 802.1q δε μπορεί να δώσει λύση.

1.2 Το πρωτόκολλο OpenFlow

1.2.1 Γενικά

Το OpenFlow αναπτύχθηκε το έτος 2008 στο Stanford University ως project ανοιχτού λογισμικού. Στόχος του ήταν η δημιουργία μία τεχνολογίας που θα επέτρεπε τη διαχείριση των κανόνων δρομολόγησης των frames και των πακέτων ενός δικτύου μέσω ενός κεντρικού ελεγκτή και με έναν τρόπο διάφανο απέναντι στα υπόλοιπα στρώματα της σουίτας πρωτοκόλλου TCP/IP.

Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσαν να συνυπάρχουν πολλαπλές τοπολογίες, πειραματικά εργαστήρια και κανονικό περιβάλλον εργασίας ενός οργανισμού χωρίς να επηρεάζονται μεταξύ τους^[1]. Οι μεταγωγείς (switches) που εκτελούν το πρωτόκολλο και δομούν το δίκτυο του οργανισμού δεν απαιτείται να προέρχονται από τον ίδιο κατασκευαστή ή να υποστηρίζουν κάτι περισσότερο πέρα από το OpenFlow.

Οι δημιουργοί του OpenFlow αναφέρονται σε αυτό ως το πρωτόκολλο που ενσαρκώνει την ιδέα των «Δικτύων Καθοριζόμενα από Λογισμικό» (Software Defined Networks – SDNs). Αξίζει να σημειωθεί ότι το OpenFlow δεν απαιτεί από τους κατασκευαστές (vendors) να εκθέσουν σε κοινή θέα την εσωτερική λειτουργία των συσκευών τους. Ως αποτέλεσμα, πολλοί κατασκευαστές το έχουν υιοθετήσει και ήδη κυκλοφορεί μία ευρεία γκάμα συσκευών από διάφορους κατασκευαστές που υποστηρίζουν πλήρως το OpenFlow.

1.2.2 Ο τρόπος λειτουργίας του OpenFlow

Το OpenFlow, ως ένα SDN πρωτόκολλο, διαχωρίζει το στρώμα ελέγχου (control plane) από την στρώμα προώθησης δεδομένων (data plane). Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι στο δίκτυο υπάρχει τουλάχιστον ένας ελεγκτής (controller) που διαθέτει καταχωρημένους κανόνες προώθησης και δρομολόγησης των frames και των πακέτων αντίστοιχα, ενώ την ίδια την πράξη της προώθησης ή της δρομολόγησης την κάνουν οι OpenFlow μεταγωγείς και δρομολογητές.

Ο κάθε μεταγωγέας συνδέεται σε έναν ελεγκτή από τον οποίο αντλεί τις καταχωρίσεις ροής (flow entries) για κάθε μεταγωγή που καλείται να πραγματοποιήσει. Το πλήθος των καταχωρίσεων που μπορεί να έχει κάθε στιγμή στη μνήμη του είναι περιορισμένο, αν και το ακριβές νούμερο διαφέρει ανάλογα με τη συσκευή. Για αυτό το λόγο, όποτε καλείται να κάνει μία μεταγωγή που δεν περιγράφεται από τις καταχωρίσεις που διαθέτει, επικοινωνεί με τον ελεγκτή ώστε αυτός να του δώσει τη σχετική καταχώριση ροής. Τότε, ο μεταγωγέας αντικαθιστά την στατιστικά λιγότερο συχνή καταχώριση ροής που διαθέτει με αυτή που του έδωσε ο ελεγκτής.

Αν κατά τη διάρκεια λειτουργίας του δικτύου ο διαχειριστής πραγματοποιήσει αλλαγές στον πίνακα ροής του ελεγκτή, τότε ο ελεγκτής θα επικοινωνήσει με όλους τους μεταγωγείς που έχει υπό τον έλεγχό του ώστε να τους ενημερώσει για τις αλλαγές.

Με αυτόν τον τρόπο ο έλεγχος στη ροή της πληροφορίας συγκεντρώνεται στον ελεγκτή, ενώ η διαδικασία της προώθησης ανατίθεται στις συσκευές, μεταγωγείς ή δρομολογητές. Έτσι επιτυγχάνεται η διαφάνεια στη λειτουργία του δικτύου, η δυνατότητα μίξης συσκευών OpenFlow διαφορετικών κατασκευαστών και η ευκολία στη διαχείριση ολόκληρου του δικτύου μέσω ενός ελεγκτή.

Σημειώνεται ωστόσο ότι κάθε μεταγωγέας μπορεί να συνδεθεί μονάχα σε έναν ελεγκτή.

1.2.3 Τα δομικά στοιχεία του OpenFlow

Πέραν του ελεγκτή και των μεταγωγέων, το OpenFlow εισάγει κάποιες επιπλέον έννοιες. Αναφερθήκαμε ήδη στις καταχωρίσεις ροών (flow entries). Αυτές είναι ουσιαστικά περιγραφές κίνησης δικτύου ανάλογα με τον αποστολέα ή/και παραλήπτη σε Layer-4 θύρα, Layer-3 διεύθυνση IP, Layer-2 διεύθυνση MAC, Layer-1 θύρα μεταγωγέα αλλά και VLAN ID. Στο Σχ. 1.2.3-1 αποτυπώνεται η δομή^[2] μίας καταχώρισης ροής.

Ingres Port	Ether Source	Ether Dest	VLAN id	VLAN priority	IP src	IP dst	IP proto	IP ToS bits	TCP/UDP src port	TCP/UDP dst port	action
-------------	--------------	------------	---------	---------------	--------	--------	----------	-------------	------------------	------------------	--------

Σχ. 1.2.3-1: Η δομή μίας καταχώρισης ροής

Οι καταχωρίσεις ροών αποθηκεύονται στους πίνακες ροών (flow tables) στον ελεγκτή. Ένα τμήμα αυτών υπάρχει σε κάθε ελεγχόμενο μεταγωγέα, ανάλογα με τη μνήμη που διαθέτει η εκάστοτε συσκευή για αυτό τον σκοπό αλλά και την επεξεργαστική του ισχύ. Πράγματι, αν ένας μεταγωγέας πρέπει να αντιπαραβάλει το κάθε frame με μεγαλύτερο πλήθος καταχωρίσεων ροών, για να μην υπάρχουν καθυστερήσεις στο δίκτυο οφείλει να διαθέτει ανάλογα αυξημένη επεξεργαστική ισχύ. Από την άλλη, αν ο πίνακας ροών του μεταγωγέα είναι αρκετά μικρός, τότε θα χρειάζεται να επικοινωνεί με τον ελεγκτή συχνότερα, προκαλώντας καθυστερήσεις στη λειτουργία του δικτύου.

Η επεξεργαστική ισχύς σχετίζεται ευθέως με το κόστος της συσκευής. Για αυτόν το λόγο οι κατασκευαστές διατηρούν μία ισορροπία ανάμεσα στο μέγεθος του πίνακα ροών και το κόστος.

Ένα σύνολο από καταχωρίσεις ροών μπορούν να δημιουργήσουν μία διάτμηση του δικτύου (slice) η οποία περιγράφει δικτυακή κίνηση με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, όπως αυτά περιγράφονται από τις ίδιες τις καταχωρίσεις ροών. Κάθε τέτοια διάτμηση μπορεί να περιγράφει ένα ολόκληρο πείραμα ή ένα τμήμα του. Η κάθε διάτμηση είναι απομονωμένη από τις υπόλοιπες διατμήσεις και καταλαμβάνει ένα ελάχιστο εγγυημένο εύρος ζώνης (bandwidth) στο φυσικό δίκτυο.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στις διατμήσεις του Flowvisor, οι οποίες έχουν διαφορετική έννοια από αυτή στο πρωτόκολλο OpenFlow και δεν πρέπει να συγχέονται μεταξύ τους.

1.3 Η ανάγκη για εικονικοποίηση του OpenFlow

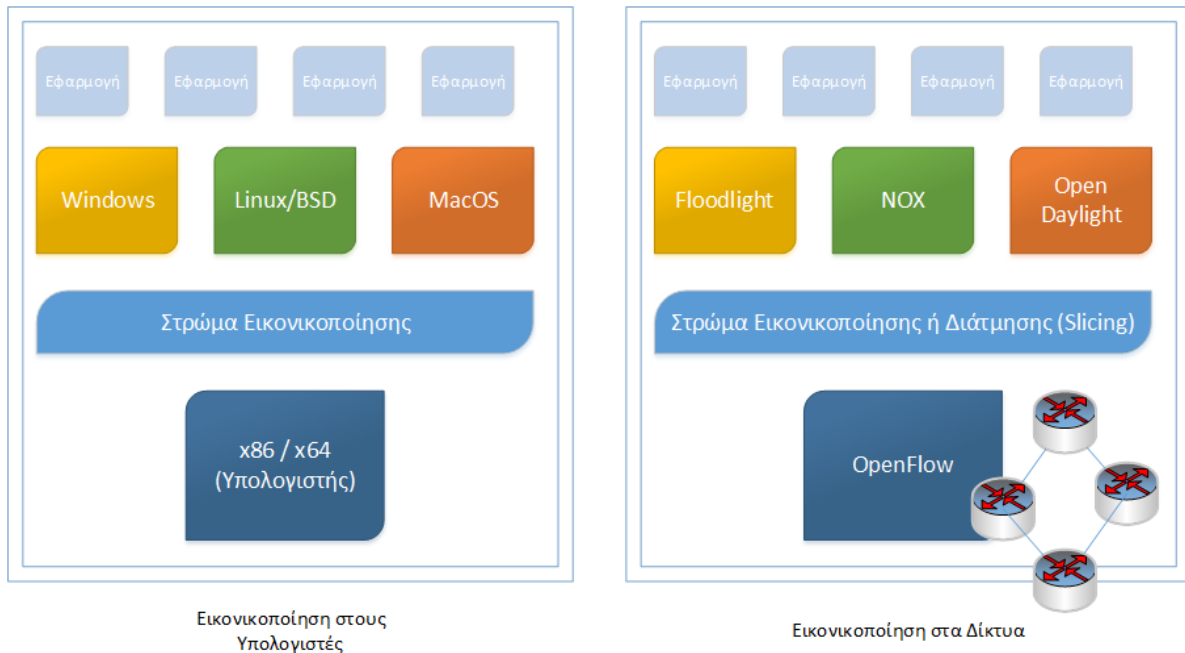
Το OpenFlow ως πρωτόκολλο εισάγει όλα τα γνωστά χαρακτηριστικά των SDN. Ωστόσο, σε μία τοπολογία OpenFlow ο ελεγκτής οφείλει να γνωρίζει τα χαρακτηριστικά του υλικού των μεταγωγέων που συνδέονται σε αυτών. Το πλήθος των συσκευών, το πλήθος των θυρών και τα επιμέρους χαρακτηριστικά αυτών αποτελούν πληροφορίες που ο διαχειριστής ενός ελεγκτή OpenFlow οφείλει να γνωρίζει και να λαμβάνει υπόψη του.

Στα Λειτουργικά Συστήματα υπάρχει η έννοια της Εικονικοποίησης. Η Εικονικοποίηση αφαιρεί το στρώμα του υλικού (hardware layer) της εκάστοτε υλοποίησης, αντικαθιστώντας το από ένα στρώμα εικονικού υλικού, το οποίο είναι κοινό για όλες τις εικονικές μηχανές. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή της έννοιας του Hypervisor, ο οποίος μεσολαβεί ανάμεσα στο πραγματικό υλικό του υπολογιστή και το λειτουργικό σύστημα των εικονικών μηχανών. Έτσι, το λειτουργικό σύστημα της κάθε εικονικής μηχανής πιστεύει ότι λειτουργεί αυτόνομα στο δικό της υλικό, το οποίο χρησιμοποιεί αυτόνομα.

Ένα καλά ορισμένο στρώμα εικονικού υλικού επιτρέπει την εύκολη ανάπτυξη της τεχνολογίας, τόσο πάνω όσο και κάτω από αυτό. Πάνω από αυτό, καθίσταται δυνατή η ανάπτυξη αξιόπιστων και πρωτοποριακών λειτουργικών συστημάτων που αναπτύσσονται πάνω σε ένα συμπαγές και καλά ορισμένο στρώμα υλικού. Κάτω από αυτό, οι κατασκευαστές υλικού και, κυρίως, επεξεργαστών μπορούν να αναπτύξουν καινούριες τεχνολογίες που επιτρέπουν μεγαλύτερες επιδόσεις, καλύτερη διαχείριση της ενέργειας, γρηγορότερη πρόσβαση στη μνήμη και τις περιφερειακές συσκευές, κ.ο.κ, ενώ οι εντολές τους αντιστοιχίζονται από τον Hypervisor στις αντίστοιχες του εικονικού υλικού. Παρέχοντας δυνατότητες επιλογών πάνω και κάτω από το στρώμα εικονικοποίησης επιτρέπεται να αναπτυχθεί ένα πιο ανταγωνιστικό, πρωτοποριακό και αποτελεσματικό οικοσύστημα τεχνολογιών στην αγορά. Ταυτόχρονα, αντίστοιχα οφέλη προκύπτουν στην ανάπτυξη και διαχείριση των λύσεων βασισμένων πάνω στην εικονικοποίηση.

Αν μπορούσαμε να μεταφέρουμε την παραπάνω λογική στα δίκτυα, τότε αυτά θα μπορούσαν να ωφεληθούν με αντίστοιχο τρόπο^[3]. Κατά αναλογία, το δίκτυο θα μπορούσε να αποκτήσει ένα δικό του στρώμα εικονικού υλικού. Το στρώμα αυτό θα μπορούσε να διατηρηθεί ώστε πολλαπλά δίκτυα, διαφορετικά και απομονωμένα μεταξύ τους, να λειτουργήσουν πάνω από αυτό χρησιμοποιώντας πληθώρα συσκευών, όπως μεταγωγείς, δρομολογητές, access points, τα οποία θα μπορούν να προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές. Πάνω από το στρώμα αυτό μπορούν να αναπτυχθούν νέα πρωτόκολλα και να διενεργηθούν πολλαπλά πειράματα, αξιοποιώντας το ίδιο υλικό με το δίκτυο εργασίας και, ταυτόχρονα, χωρίς αυτά να εμπλέκονται ή να επηρεάζονται μεταξύ τους. Κάτω από το στρώμα εικονικοποίησης, μπορεί να υπάρχει νέας σχεδίασης εξοπλισμός δικτύου, χρησιμοποιώντας διαφορετικά μέσα (ενσύρματα, χάλκινα, οπτικά ή ασύρματα), διαφορετικά προφίλ ταχύτητας, τεχνικές διαχείρισης ενέργειας, κ.ο.κ.

Η παραπάνω αναλογία μεταξύ της εικονικοποίησης στους υπολογιστές και αυτής στα δίκτυα απεικονίζεται στο Σχ. 1.3-1 .



Σχ. 1.3-1: Αναλογία εικονικοποίησης Δικτύων με αυτή των Υπολογιστών

1.4 Εικονικοποίηση δικτύου με τον Flowvisor

1.4.1 Γενικά για τον Flowvisor

Ο Flowvisor είναι λογισμικό που αναπτύχθηκε στα πλαίσια έρευνας στο Πανεπιστήμιο του Stanford και ολοκληρώθηκε το 2009. Έκτοτε, χρησιμοποιείται στο δίκτυο εργασίας του πανεπιστημίου για να επιτρέπει την εικονικοποίηση του πλήρους δικτύου του ακαδημαϊκού campus και να επιτρέπει την παράλληλη διεξαγωγή πειραμάτων που εκτείνονται σε όλες τις δικτυακές συσκευές που διαθέτει. Η κατάστασή του ως λογισμικό αναφέρεται ως «ερευνητικό λογισμικό υπό ανάπτυξη» και η χρήση του σε περιβάλλοντα εργασίας θα πρέπει να έπεται κατάλληλων ελέγχων και αξιολόγησης από την ομάδα διαχείρισης δικτύων του εκάστοτε οργανισμού.

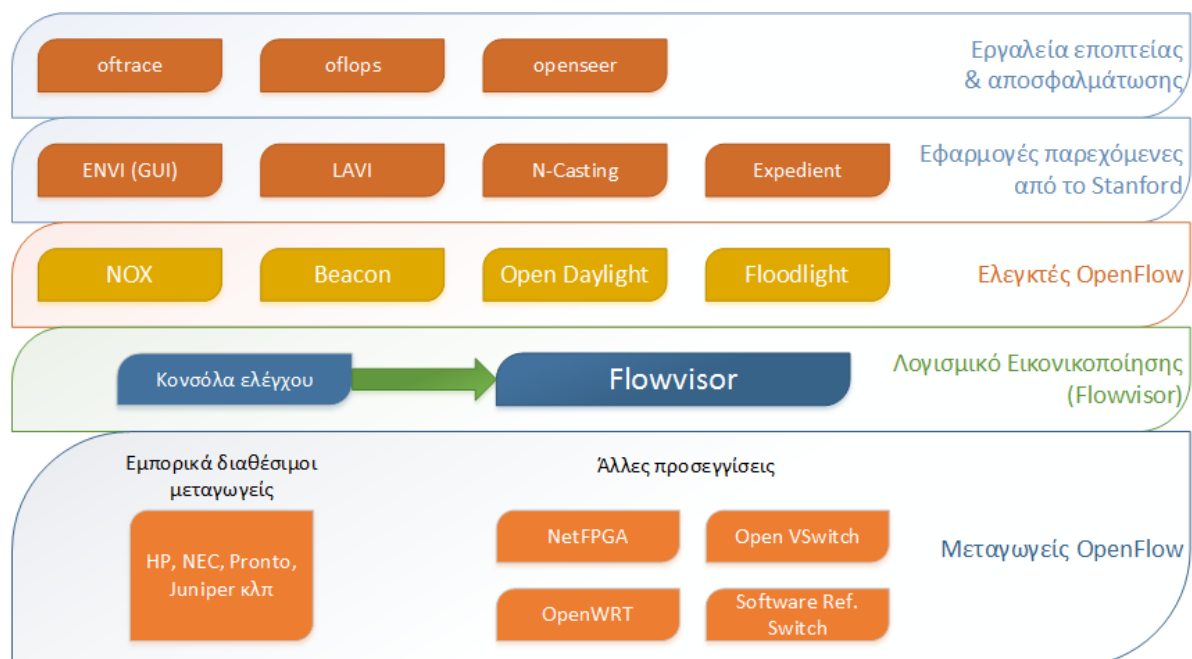
Αυτή τη στιγμή, είναι το μοναδικό γνωστό λογισμικό που παρέχει τη δυνατότητα εικονικοποίησης του δικτύου με χρήση του πρωτοκόλλου OpenFlow.

1.4.2 Η αρχιτεκτονική και τα δομικά στοιχεία του Flowvisor

Όπως το στρώμα εικονικού υλικού στους υπολογιστές, έτσι και ο Flowvisor, αρχιτεκτονικά, τοποθετείται ανάμεσα στο φυσικό εξοπλισμό του δικτύου και του λογισμικού που το ελέγχει. Καθώς τα δίκτυα στα οποία αναφερόμαστε είναι βασισμένα στο πρωτόκολλο OpenFlow, το λογισμικό που ελέγχει τις φυσικές συσκευές δεν είναι άλλο από τον OpenFlow ελεγκτή του δικτύου. Και όπως το λειτουργικό σύστημα του Hypervisor χρησιμοποιεί ένα σετ εντολών για να χειριστεί τον φυσικό υλικό κάτω από αυτόν έτσι και ο Flowvisor χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο OpenFlow για να ελέγξει τον εξοπλισμό δικτύου που βρίσκεται κάτω από αυτόν σε φυσικό επίπεδο.

Κατ' ουσίαν, το OpenFlow μεταθέτει τον έλεγχο προώθησης των πακέτων ενός switch σε έναν ελεγκτή, ο οποίος δύναται να προγραμματιστεί από τον διαχειριστή του δικτύου κατά το δοκούν. Ο Flowvisor παρεμβάλλεται μεταξύ του ελεγκτή και των μεταγωγέων που ελέγχει. Μάλιστα, παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας Κατατμήσεων (Slices) κάθε μία εκ των οποίων αντιστοιχίζεται σε έναν ελεγκτή OpenFlow. Με αυτόν τον τρόπο, ο κάθε ελεγκτής «βλέπει», ήτοι παρακολουθεί και ελέγχει, μόνο τη δική του Κατάτμηση. Έτσι καθίσταται δυνατή η απομόνωση της κάθε Κατάτμησης από τις υπόλοιπες.

Ο τρόπος με τον οποίο ο Flowvisor παρεμβάλλεται σε επίπεδο επικοινωνίας μεταξύ ενός ελεγκτή και ενός μεταγωγέα είναι τέτοιος ώστε ο μεν μεταγωγέας αντιλαμβάνεται τον Flowvisor ως ελεγκτή, ο δε ελεγκτής τον αντιλαμβάνεται ως μεταγωγέα. Αυτό καθίσταται δυνατό καθώς ο Flowvisor είναι σχεδιασμένος ως Διαμεσολαβητής (proxy), λαμβάνοντας και ανακόπτοντας τα μηνύματα ελέγχου μεταξύ του μεταγωγέα και του ελεγκτή.



Σχ. 1.4.2-1: Η θέση του Flowvisor στην αρχιτεκτονική των OpenFlow δικτύων

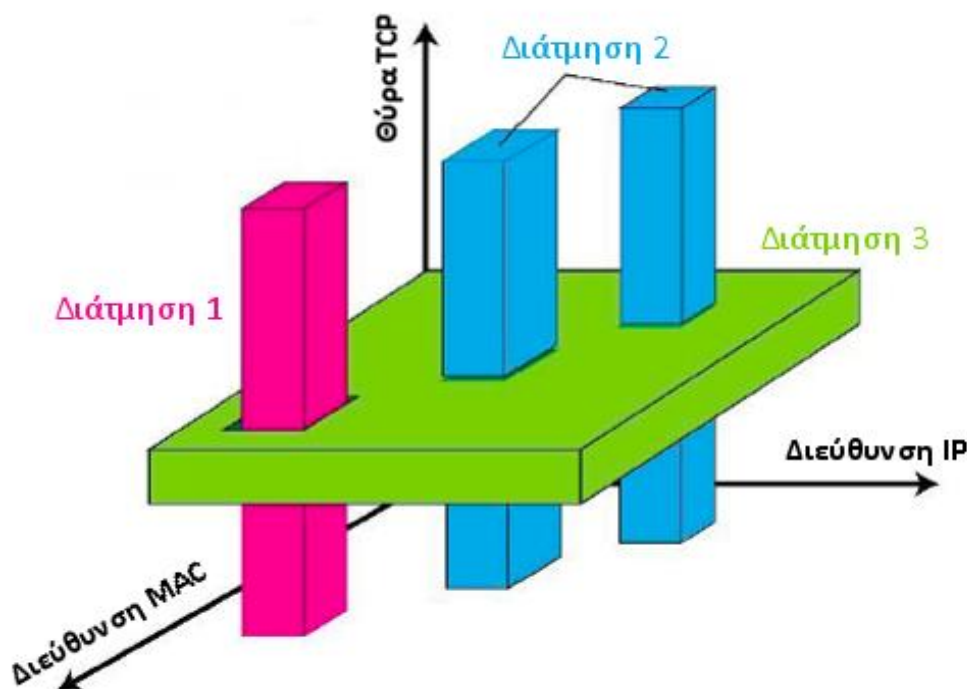
Συνοπτικά, τα κύρια χαρακτηριστικά της εικονικοποίησης που παρέχει ο Flowvisor σε ένα δίκτυο είναι:

- Διάτμηση (Slice) ονομάζεται ένα σύνολο Ροών Ελέγχου που αφορούν μία τοπολογία μεταγωγέων
- Λειτουργικά ο Flowvisor τοποθετείται ανάμεσα στον εκάστοτε Ελεγκτή και τους μεταγωγείς που ελέγχει ώστε να είναι βέβαιο ότι ο κάθε μεταγωγέας ελέγχεται από τον σωστό Ελεγκτή.
- Ο Flowvisor διαμερίζει το διαθέσιμο εύρος ζώνης (bandwidth) ορίζοντας ένα ελάχιστο εγγυημένο εύρος σε κάθε Διάτμηση.
- Ο Flowvisor διαμερίζει τον Πίνακα Ροών του κάθε μεταγωγέα παρακολουθώντας ποιες Ροές Ελέγχου ανήκουν στο κάθε Ελεγκτή.

1.4.3 Ο FlowSpace (Χώρος Ροής)

Όπως ήδη περιγράψαμε, το OpenFlow ορίζει ροές με βάση τα χαρακτηριστικά του frame και των περιεχόμενων PDUs (Protocol Defined Units) σε όλα τα επίπεδα της σουίτας TCP/IP, ακόμα και της θύρας (interface) του μεταγωγέα. Η κεφαλίδα του OpenFlow όπου περιέχονται αυτά τα στοιχεία είναι μεγέθους 256-bit. Θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε αυτά τα 256 bits ως έναν διανυσματικό χώρο. Μάλιστα, μπορούμε να περιγράψουμε έναν διανυσματικό τέτοιο χώρο αν θεωρήσουμε σταθερές τιμές για τα $254-k$ bits, ενώ τα υπόλοιπα k bits θεωρήσουμε ελεύθερες μεταβλητές. Ένα τέτοιο υποσύνολο του πλήρους διανυσματικού χώρου αποτελεί μία Λίστα Ελέγχου Πρόσβασης (Access Control List – ACL).

Καθώς ο Flowvisor ορίζει μία Διάτμηση ως ένα σύνολο Ροών Ελέγχου, θα μπορούσαμε να σκεφτούμε τη Διάτμηση ως ένα σύνολο τέτοιων περιοχών. Αυτές τις περιοχές τις αποκαλούμε FlowSpace (Χώρο Ροής) της Διάτμησης (βλ. Σχ.1.4.3-1).



Σχ. 1.4.3-1: FlowSpace: Αντιστοίχιση πακέτων σε Διατμήσεις

Αποδίδοντας το παραπάνω λίγο πιο απλά, ο Flowvisor χρησιμοποιεί τους FlowSpaces για να ορίσει τις Διατμήσεις. Δοσμένης της κεφαλίδας ενός frame, ο Flowvisor μπορεί να το αντιαραβάει με τους αποθηκευμένους FlowSpaces και με αυτόν τον τρόπο να αποφανθεί σε ποια Διάτμηση ανήκει. Με το Flowvisor είναι δυνατή η άρση των επικαλύψεων μεταξύ των FlowSpaces, και συνεπώς να διασφαλίζεται έτσι η απομόνωση μεταξύ των Διατμήσεων. Ωστόσο, επιτρέπεται σε ένα frame να ανήκει σε περισσότερες από μία Διατμήσεις, μία πρακτική που βρίσκει εφαρμογή στην παρακολούθηση μίας Διάτμησης από μία άλλη για διαχειριστικούς λόγους.

1.4.4 Σχεδιαστικοί στόχοι του Flowvisor

Ο Flowvisor σχεδιάστηκε με τρεις βασικούς άξονες. Πρώτον, η εικονικοποίηση να γίνεται με διάφανο τρόπο. Δεύτερον, να παρέχει απομόνωση μεταξύ των Διατμήσεων με ασφαλή και απόλυτο τρόπο. Τρίτον, το μηχανισμός και οι δυνατότητες διάτμησης να είναι λειτουργικές και επεκτάσιμες.

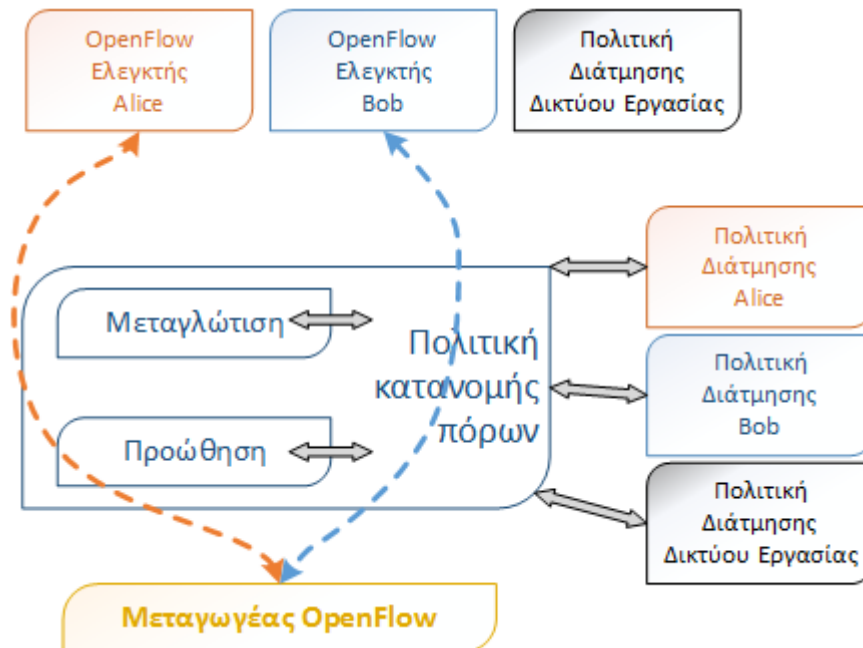
- **Διαφάνεια:** Το στρώμα εικονικοποίησης οφείλει να είναι διάφανο τόσο ως προς τους μεταγωγείς, όσο και τους ελεγκτές. Καθώς ο στόχος της ίδιας της εικονικοποίησης είναι να συνυπάρχουν πολλαπλά πειράματα παράλληλα με το δίκτυο εργασίας, θα πρέπει τα πειραματικά πρωτόκολλα να λειτουργούν όσο το δυνατόν πιο κοντά σε πραγματικές συνθήκες. Συνεπώς, οι ελεγκτές δε θα πρέπει να συμπεριφέρονται διαφορετικά από ότι αν δεν υπήρχε το στρώμα εικονικοποίησης. Επιπλέον, η τεχνολογία των ελεγκτών θα πρέπει να μπορεί να αναπτύσσεται ανεξάρτητα από αυτή των τεχνολογιών εικονικοποίησης. Ο διάφανος τρόπος λειτουργίας του Flowvisor επιτρέπει την εξέλιξη και των δύο αυτών στοιχείων με τρόπο αυτόνομο και ανεξάρτητο. Απόδειξη αυτής της λειτουργίας είναι ότι ούτε οι μεταγωγείς αλλά ούτε και οι ελεγκτές απαιτούν την παραμικρή περαιτέρω παραμετροποίηση για να λειτουργήσουν σε ένα εικονικοποιημένο δίκτυο.
- **Απομόνωση:** Η συνύπαρξη πολλαπλών τοπολογιών, μεταξύ των οποίων και τα δίκτυα εργασίας, απαιτεί ισχυρούς μηχανισμούς απομόνωσης μεταξύ των Διατμήσεων. Οι πόροι που μπορεί να καταναλώσει μία Διάτμηση θα πρέπει να μπορεί να ορίζεται με σαφήνεια και τα όρια αυτά να τηρούνται ακόμα και κάτω από ιδιαίτερα έντονη χρήση του δικτύου.
- **Επεκτασιμότητα:** Η τεχνολογία εικονικοποίησης δικτύων αποτελεί έναν τομέα υπό εξέλιξη, διαρκείς αλλαγές και νέες ανάγκες. Συνεπώς, θα πρέπει να παρέχεται ένας εύκολος μηχανισμός υιοθέτησης και ενσωμάτωσης νέων δυνατοτήτων ώστε να καλύπτονται οι όποιες νέες ανάγκες με κατά το δυνατό ευκολότερο τρόπο.

1.5 Ο Flowvisor αναλυτικά στην πράξη

1.5.1 Λειτουργική περιγραφή του Flowvisor

Όπως έχουμε δείξει στο Σχ. 1.4.2-1, ο Flowvisor μεσολαβεί στην επικοινωνία μεταξύ των OpenFlow μεταγωγέων και των αντίστοιχων ελεγκτών που τους ελέγχουν ελεγκτών. Κατ' ουσίαν, αποτελεί έναν πολύ εξειδικευμένο OpenFlow ελεγκτή. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας δεν θα μπορούσε να είναι άλλο από το OpenFlow, καθώς όπως είπαμε δεν οφείλουμε να κάνουμε καμία ιδιαίτερη παραμετροποίηση σε κανένα στοιχείο της τοπολογίας μας, μεταγωγέα ή ελεγκτή.

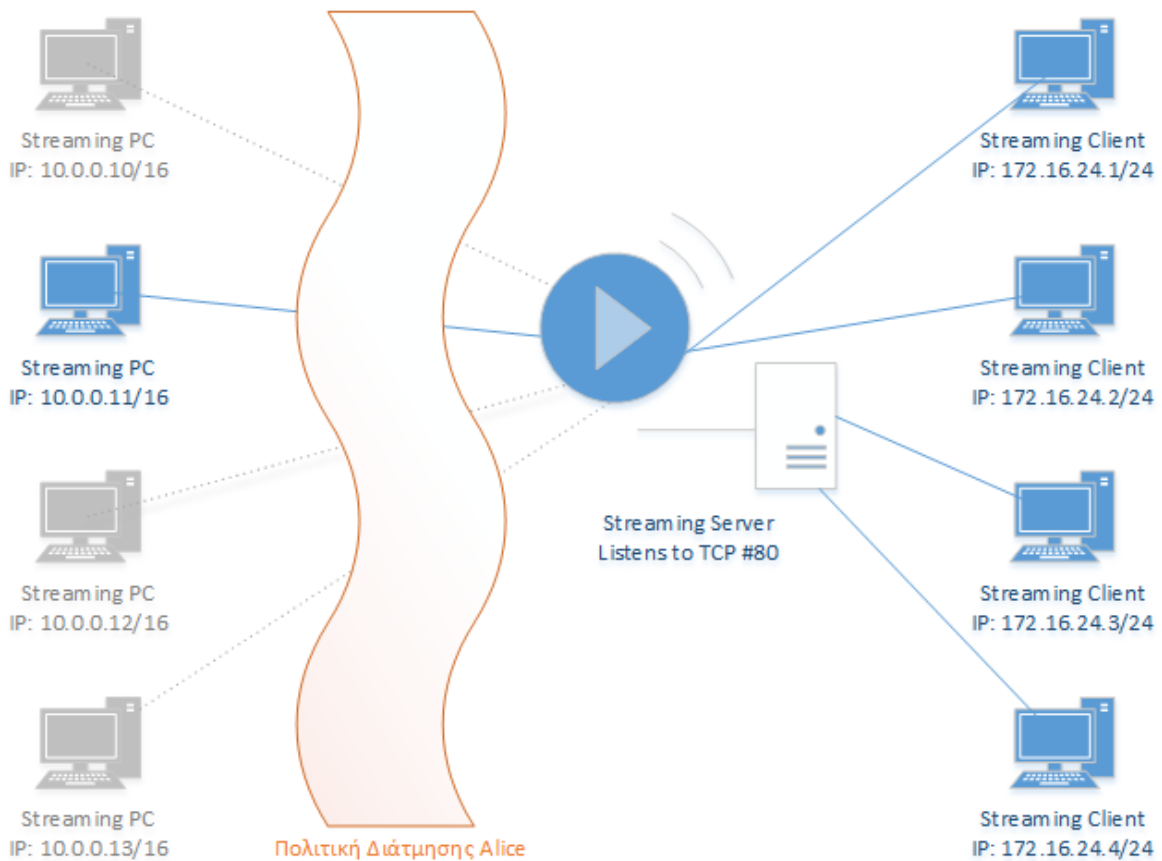
Όταν μεταγλωτίσουμε, εγκαταστήσουμε και τρέξουμε τον Flowvisor, δημιουργούνται δύο Διατμήσεις που λειτουργούν ως επίδειξη (demo) και πειραματική τοπολογία. Οι δύο αυτές Διατμήσεις ονομάζονται "Bob" και "Alice" και συνυπάρχουν με την Διάτμηση του δικτύου εργασίας. Θα χρησιμοποιήσουμε αυτές τις Διατμήσεις για να εκθέσουμε τους μηχανισμούς λειτουργίας του Flowvisor στο υπόλοιπο της ενότητας. Μία σχηματική απεικόνιση αυτής της τοπολογίας φαίνεται στο Σχ. 1.5.1-1.



Σχ. 1.5.1-1: Σχηματική απεικόνιση demo τοπολογίας

Έστω ότι ο χρήστης Alice έχει εγκαταστήσει έναν OpenFlow ελεγκτή ο οποίος δέχεται συνδέσεις στην TCP θύρα 80 ενός server από οποιαδήποτε διεύθυνση IP, ο οποίος server με τη σειρά του αναμεταδίδει την πληροφορία (streaming) σε ένα σύνολο από κόμβους.

Ο διαχειριστής του OpenFlow δικτύου, έχει δημιουργήσει μία Διάτμηση για τον χρήστη Alice, για την οποία έχει εφαρμόσει μία πολιτική που επιτρέπει να συμμετάσχουν στη Διάτμηση του χρήστη Alice συνδέσεις προς το server μόνο από μία συγκεκριμένη διεύθυνση IP. Καθώς ο Flowvisor έχει διατμήσει τη ροή της πληροφορίας, ο ελεγκτής του χρήστη Alice δε θα καταλάβει ποτέ ότι υπήρχαν και άλλοι κόμβοι που προσπαθούσαν να επικοινωνήσουν με το server στην TCP θύρα 80. Έτσι, παρότι ο χρήστης Alice μπορεί να έχει ρυθμίσει τον ελεγκτή του να προωθεί συνδέσεις από οποιαδήποτε διεύθυνση IP προς την TCP θύρα 80 του server του, τελικά θα φτάσουν πακέτα μόνο από τον συγκεκριμένο κόμβο που ανήκει στη Διάτμηση (Σχ. 1.5.1-2) . Αυτό οφείλεται στη διάφανη λειτουργία διάτμησης του δικτύου από τον Flowvisor.



Σχ. 1.5.1-2:

Πιο συγκεκριμένα, αυτό που συμβαίνει είναι το εξής (βλ. Σχ.1.5.1-1) . Ο ελεγκτής του χρήστη Alice θα στείλει στο μεταγωγέα μία Καταχώριση Ροής που θα περιγράφει κίνηση από οποιονδήποτε κόμβο προς την TCP θύρα 80 του server. Η επικοινωνία θα γίνει μέσω του Flowvisor. Ο Flowvisor θα εξετάσει αυτή την καταχώριση και θα την αντιπαραβάλει με την πολιτική της Διάτμησης του χρήστη Alice. Πριν προωθήσει την Καταχώριση Ροής στο μεταγωγέα, ο Flowvisor θα τροποποιήσει την καταχώριση έτσι ώστε αυτή να συμμορφώνεται με την πολιτική της Διάτμησης. Συγκεκριμένα, θα αντικαταστήσει την παράμετρο «από οποιονδήποτε κόμβο» με τη διεύθυνση IP που αναφέρεται στην πολιτική της Διάτμησης. Εν τέλει, ο Flowvisor θα προωθήσει στο μεταγωγέα την τροποποιημένη Καταχώριση Ροής.

Αυτό που συμβαίνει στην πράξη είναι ο ελεγκτής να ελέγχει μόνο την κίνηση που του επιτρέπεται από την εφαρμοζόμενη πολιτική και μάλιστα εν αγνοία του. Αντιστοίχως, τα μηνύματα από τον κάθε μεταγωγέα προωθούνται μόνο στους ελεγκτές των οποίων ο Flowspace αντιστοιχεί στο μήνυμα (πχ αίτημα για προώθηση Καταχώρισης Ροής σχετικά με πρωτοεμφανιζόμενη κίνηση).

Στο παραπάνω παράδειγμα γίνονται αντιληπτοί δύο από τους σχεδιαστικούς άξονες, η Διαφάνεια και η Απομόνωση. Ανάλογα με την πολιτική κατανομής των πόρων στις Διατμήσεις, ο Flowvisor μπορεί να προωθεί τα μηνύματα χωρίς καμία επεξεργασία, να τα μεταγλωττίσει έτσι ώστε να ευθυγραμμίζονται με την πολιτική της Διάτμησης όπου αντιστοιχούν ή να τα απορρίπτει εντελώς αν δεν είναι δυνατό να συμμορφωθούν με

επεξεργασία, επιστρέφοντας ένα μήνυμα σφάλματος OpenFlow. Στα μηνύματα των ελεγκτών προς τους μεταγωγείς, γίνεται μέριμνα να προωθείται μόνο το κομμάτι της Καταχώρισης Ροής που αφορά κίνηση εντός των ανατεθειμένων πόρων. Στα μηνύματα από τους μεταγωγείς προς τους ελεγκτές ο Flowvisor εξετάζει το περιεχόμενο του αιτήματος για να συμπεράνει σε ποιο ελεγκτή πρέπει να προωθηθεί. Έτσι οι ελεγκτές λαμβάνουν μηνύματα μόνο για κίνηση που αφορά τη Διάτμησή τους.

1.5.2 Πολιτική Ορισμού Διάτμησης

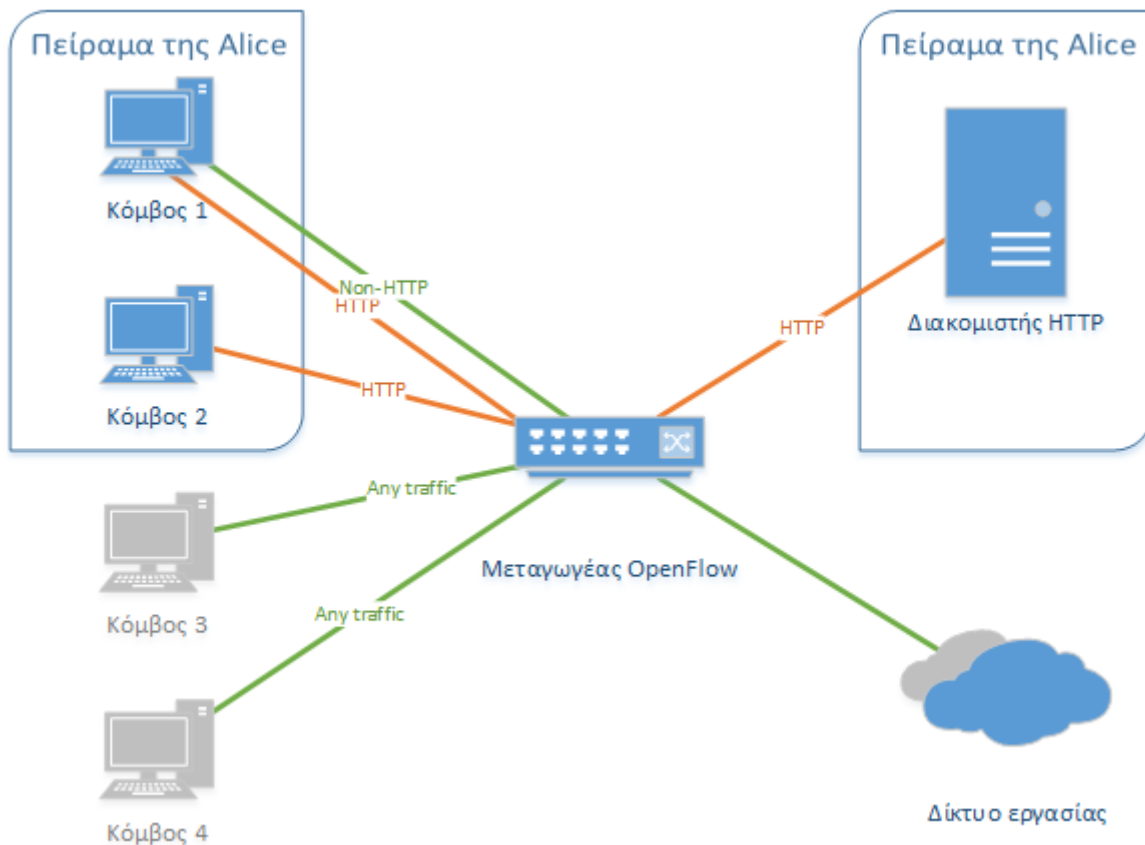
Ο ορισμός των Διατμήσεων στον Flowvisor γίνεται μέσω ενός συστήματος αρχείων. Κάθε Διάτμηση περιγράφεται σε ένα ξεχωριστό αρχείο. Κάθε Διάτμηση δεσμεύει ξεχωριστά πόρους, όπως επεξεργαστική ισχύς και πλήθος καταχωρήσεων ροών στους μεταγωγείς. Ως εκ τούτου, η κίνηση της κάθε Διάτμησης αντιστοιχίζονται σε μία ξεχωριστή κλάση QoS (Quality of Service). Η δε τοπολογία περιγράφεται ως μία λίστα κόμβων και θυρών.

Ο Flowspace κάθε Διάτμησης ορίζεται ως μία αριθμημένη λίστα καταχωρίσεων (κανόνων), όμοια με τον τρόπο που ορίζονται οι Access Control Lists (ACLs) στα συστήματα firewall. Κάθε τέτοια καταχώριση ορίζει μία ενέργεια που αντιστοιχεί στην περιγραφόμενη δικτυακή κίνηση. Οι διαθέσιμες ενέργειες είναι: *allow* (επίτρεψε), *read-only* (μόνο για ανάγνωση) και *deny* (απόκλεισε). Η λίστα των καταχωρίσεων σαρώνεται με τη λογική της πρώτης αντιστοίχισης. Δηλαδή, αν βρεθεί μία αντιστοίχιση, ο μηχανισμός του Flowvisor σταματάει την περαιτέρω αντιπαραβολή με τις υπόλοιπες καταχωρίσεις. Το σύνολο των κανόνων οφείλουν να περιγράφουν πλήρως τον Flowspace αλλά και να δίνουν έλεγχο πάνω σε άλλες Διατμήσεις για τις οποίες έχει αποδοθεί εξουσιοδότηση.

Αν ένας κανόνας είναι μόνο για ανάγνωση, τότε η Διάτμηση επιτρέπεται να λαμβάνει OpenFlow μηνύματα ελέγχου και να γίνονται ερωτήματα στατιστικών των μεταγωγέων. Ωστόσο, δεν επιτρέπεται η προώθηση καταχωρίσεων ροής στον πίνακα προώθησης. Οι κανόνες επιτρέπεται να παρουσιάζουν επικαλύψεις.

Παρατίθεται ένα παράδειγμα πάνω στις βασικές Διατμήσεις του Flowvisor για την καλύτερη κατανόηση των παραπάνω. Έστω ότι στο προηγούμενο παράδειγμα διαχειριστής του δικτύου είναι ο Bob. Ο χρήστης Alice θέλει να διεξάγει ένα συνεργατικό πείραμα σχετικά με την κίνηση στο HTTP πρωτόκολλο. Το δίκτυο του Bob είναι το δίκτυο εργασίας του campus, στο οποίο όμως υπάρχουν κόμβοι με συγκεκριμένες διευθύνσεις IP οι οποίοι θα συμμετάσχουν στο συνεργατικό πείραμα της Alice.

Η απαίτηση είναι να μπορούν οι παραπάνω κόμβοι να συμμετάσχουν στο πείραμα της Alice, το οποίο αφορά μόνο κίνηση HTTP, ενώ για όλο το υπόλοιπο είδος κίνησης το δίκτυο εργασίας (αυτό του Bob) θα συνεχίσει να λειτουργεί κανονικά. Παράλληλα, ο Bob θα μπορεί να εποπτεύει την κίνηση σε όλες τις Διατμήσεις ώστε να έχει εικόνα σχετικά με την απόδοση του δικτύου συνολικά. Η τοπολογία αποτυπώνεται σχηματικά στο Σχ. 1.5.2-1.



Σχ. 1.5.2-1: Το πείραμα της Alice στο δίκτυο εργασίας του Bob

Οι κανόνες του FlowSpace για κάθε Διατμήση θα έχουν ως κάτωθι:

Δίκτυο Πειράματος Alice: Καθώς αυτή η Διατμήση καθορίζεται από την κίνηση στο πρωτόκολλο HTTP και μάλιστα για συγκεκριμένες διευθύνσεις IP, θα πρέπει για κάθε κόμβο να υπάρχει μία καταχώριση (κανόνας) για κάθε κόμβο του πειράματος. Συγκεκριμένα, ο κανόνας θα είναι της μορφής:

```
Allow: tcp_port:80 and ip=<Host_N IP address>
```

Όσα μηνύματα OpenFlow ταιριάξουν με κάποιο από αυτούς τους κανόνες, θα προωθηθούν στον OpenFlow ελεγκτή της Alice. Αν η Alice προσπαθήσει να εισάγει μία καταχώριση, αυτή θα τροποποιηθεί κατάλληλα ώστε να ταιριάζει με αυτούς τους κανόνες.

Δίκτυο Εργασίας Bob: Οι κανόνες για το δίκτυο εργασίας θα πρέπει να περιγράφουν όλη την υπόλοιπη κίνηση. Ο πιο απλός τρόπος είναι να αποκλειστεί η κίνηση που αφορά το πείραμα της Alice και εν συνεχεία να επιτραπεί όλη η υπόλοιπη. Συνεπώς, οι κανόνες θα έχουν την παρακάτω μορφή:

```
Deny: tcp_port:80 and ip=<Host_N IP address>
```

...

```
Allow: all
```

Έτσι, στο Δίκτυο Εργασίας του Bob θα υπάρχουν μόνο πακέτα που δεν θα αφορούν το πείραμα της Alice. Ο OpenFlow ελεγκτής του δικτύου εργασίας του Bob μπορεί να εισάγει καταχωρίσεις ροών, αρκεί αυτές να μην αφορούν το πείραμα της Alice.

Δίκτυο Εποπτείας του Bob: Το δίκτυο εποπτείας θα πρέπει να έχει read-only δικαιώματα σε όλα τα δίκτυα, ώστε να είναι εφικτό να συλλέγονται τα στατιστικά στοιχεία για διαχειριστικούς λόγους. Επομένως, μία και μόνο καταχώριση αρκεί:

```
Read-only: all
```

Το Read-only δικαίωμα εξασφαλίζει ότι το δίκτυο αυτό δε συμμετέχει ενεργά πουθενά, καθώς δε μπορεί να κάνει εισαγωγή καμίας καταχώρισης ροής.

Το παραπάνω παράδειγμα αποτυπώνει τη λογική πίσω από τις πολιτικές ορισμού Διατμήσεων. Με κατάλληλους συνδυασμούς μπορεί να καλύψει ιδιαίτερα πολύπλοκα δίκτυα και μία ευρεία γκάμα απαιτήσεων. Ωστόσο, ο Flowvisor δεν έχει ενσωματωμένη αυτή την πολιτική ορισμού Διατμήσεων, αλλά τη διαθέτει ως επίθεμα (module). Έτσι, επιτρέπει την εύκολη μελλοντική επέκτασή του, ώστε να καλυφθούν ανάγκες που πιθανώς δεν καλύπτονται με τον παραπάνω τρόπο.

1.6 Μηχανισμοί απομόνωσης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η απομόνωση των δικτύων αποτελεί μείζον ζήτημα τόσο στο πρωτόκολλο OpenFlow όσο και στην εικονικοποίηση. Η απομόνωση αφορά σε πόρους όπως το εύρος ζώνης (bandwidth), την τοπολογία, την επεξεργαστική ισχύ των μεταγωγών, τον FlowSpace, τις καταχωρίσεις ροών αλλά και το ελέγχου του ίδιου του ρηωτοκόλλου OpenFlow.

1.6.1 Απομόνωση εύρους ζώνης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο Flowvisor αντιστοιχίζει την κάθε Διάτμηση με μία ξεχωριστή κλάση QoS. Υπενθυμίζεται ότι το ίδιο το πρωτόκολλο OpenFlow δεν παρέχει απευθείας έλεγχο πάνω στο QoS. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, ο Flowvisor χρησιμοποιεί τα τρία bits για την προτεραιότητα που προβλέπονται από την κεφαλίδα του IEEE 802.1q. Τα bits αυτά ονομάζονται Priority Control Point (PCP) και φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 1.6.1-1.

2 bytes	2 bytes		
16 bits	3 bits	1 bit	12 bits
Tag Protocol ID	Tag Control Information		
	Priority Control Point	Drop Eligible Indicator	VLAN Identifier

Πίνακας 1.6.1-1: Οι κεφαλίδες του 802.11q

Η κεφαλίδα PCP επιτρέπει 8 βαθμίδες προτεραιότητας (3 bits) και αποτελεί κατ' εξοχήν τρόπο κατηγοριοποίησης του QoS. Το OpenFlow επιτρέπει τη διατήρηση των κεφαλίδων

VLAN του 802.11q και μαζί τα PCP bits, επιτρέποντας έτσι στα πακέτα που ανήκουν στην ίδια ροή να έχουν μία κοινή προτεραιότητα.

Ο Flowvisor ξαναγράφει ολόκληρο τον πίνακα προώθησης των Διατμήσεων ώστε να περιληφθεί μία ενέργεια “set VLAN priority” που αντιστοιχεί στην τιμή του PCP για τηνκάθε Διάτμηση. Έτσι καταφέρνει να επιβάλει την απομόνωση σε επίπεδο εύρους ζώνης. Ωστόσο, το πώς μεταφράζεται η τιμή του PCP σε ποσοστό εύρους ζώνης είναι μία παράμετρος που πρέπει να καθορισθεί ξεχωριστά στον κάθε μεταγωγέα Ethernet με τον τρόπο που έχει προβλέψει ο κατασκευαστής του.

Τέλος, αποσαφηνίζεται ότι η παραπάνω μέθοδος απομόνωσης του εύρους ζώνης δεν αποτελεί εγγενή λειτουργία του FlowVisor ή του OpenFlow, παρά μόνο έναν τρόπο να διατηρηθεί η προτεραιότητα του 802.11q μέσα από την εικονικοποίηση του δικτύου.

1.6.2 Απομόνωση τοπολογίας

Στο πρωτόκολλο OpenFlow ο κάθε μεταγωγέας Ethernet συνδέεται στον ελεγκτή της τοπολογίας και με αυτόν τον τρόπο ο ελεγκτής μαθαίνει τους κόμβους του δικτύου και πως αυτοί διασυνδέονται. Ωστόσο, σε μία εικονικοποιημένη τοπολογία, οι μεταγωγείς Ethernet επικοινωνούν με τους ελεγκτές μέσω του Flowvisor. Είναι στην ευθύνη του Flowvisor να αναγνωρίζει σε ποια Διάτμηση ανήκει ο κάθε μεταγωγέας Ethernet και προωθεί την επικοινωνία στον αντίστοιχο ελεγκτή και μόνο σε αυτόν. Αντιστοίχως, γίνεται κατάλληλη μέριμνα για τις απαντήσεις του ελεγκτή προς τους μεταγωγείς Ethernet.

Μία βασική διαφορά στις εικονικοποιημένες τοπολογίες είναι ότι ο ελεγκτής δεν έχει άμεση πρόσβαση στα φυσικά χαρακτηριστικά του μεταγωγέα Ethernet. Πράγματι, ένας μεταγωγέας Ethernet μπορεί να έχει τις θύρες του συνδεδεμένες σε διαφορετικές Διατμήσεις. Οπότε ο Flowvisor αναφέρει στον κάθε ελεγκτή, όχι απλώς τον μεταγωγέα Ethernet, αλλά ξεχωριστά τις θύρες που συμμετέχουν στην κάθε εικονικοποιημένη τοπολογία και μόνο.

Όσο αφορά την τοπολογία συμπεριλαμβάνεται η μέριμνα για την απομόνωση του Link Layer Discovery Protocol (LLDP). Σε φυσικές τοπολογίες, ο κάθε μεταγωγέας Ethernet στέλνει ένα μήνυμα LLDP για να κάνει ανίχνευση γειτνίασης. Τα μηνύματα αυτά δεν συμπιπτουν με κανέναν κανόνα, οπότε ο αποδέκτης, επίσης μεταγωγέας Ethernet, στέλνει το μήνυμα στον ελεγκτή ώστε αυτός να του προωθήσει την κατάλληλη ροή ελέγχου. Με αυτόν τον τρόπο ο ελεγκτής μαθαίνει τις γειτνιάσεις των μεταγωγέων Ethernet. Στις εικονικοποιημένες τοπολογίες, τα μηνύματα αυτά, όταν προωθούνται στον ελεγκτή, ο Flowvisor τα διαβάζει και τα μαρκάρει κατάλληλα ώστε να ανήκουν στη σωστή Διάτμηση.

1.6.3 Απομόνωση επεξεργαστικής ισχύς μεταγωγέα

Η επεξεργαστική ισχύς ενός μεταγωγέα Ethernet είναι ένας πόρος του οποίου η εξάντληση μπορεί να δημιουργήσει σοβαρές δυσλειτουργίες. Όταν ένας μεταγωγέας Ethernet αδυνατεί να ανταπεξέλθει στο φόρτο εργασίας, θα δώσει προτεραιότητα στην προώθηση των frames, αμελώντας την επικοινωνία με τον ελεγκτή OpenFlow. Ως εκ τούτου, το πρωτόκολλο LLDP θα εξαντλεί τα χρονικά του όρια και ο ελεγκτής θα θεωρεί είτε ότι ο

μεταγωγέας Ethernet είναι εκτός λειτουργίας είτε ότι υπάρχει πρόβλημα σε φυσικό επίπεδο ζεύξης (flapping). Στην πράξη, αυτό μπορεί να μεταφράζεται έως και σε κατάρρευση του δικτύου.

Η εξάντληση της επεξεργαστικής ισχύος ενός μεταγωγέα Ethernet μπορεί να προκύψει από τέσσερις διαφορετικές πηγές. Τη δημιουργία μηνυμάτων εγκατάστασης νέων ροών, τη διαχείριση των αιτημάτων από τον ελεγκτή, την προώθηση πακέτων «αργής διαδρομής» και τη διαχείριση της εσωτερικής κατάστασης. Ανάλογα με την πηγή, απαιτείται διαφορετικός μηχανισμός απομόνωσης.

Μηνύματα εγκατάστασης νέων ροών. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, αν στο μεταγωγέα Ethernet φτάσει ένα πακέτο για το οποίο δεν υπάρχει οδηγία στον Πίνακα Ροών του, ο μεταγωγέας Ethernet θα αναγκαστεί να επικοινωνήσει με τον ελεγκτή ώστε αυτός να του στείλει την κατάλληλη Καταχώριση Ροής. Αυτή η διαδικασία απαιτεί επεξεργαστική ισχύ. Όταν το φαινόμενο αυτό λαμβάνει χώρα κατά κόρων, υπάρχει ο κίνδυνος εξάντλησης των πόρων επεξεργαστικής ισχύος. Ο Flowvisor χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο OpenFlow για να κρατήσει στατιστικά χρήσης της παραπάνω λειτουργίας. Αν ξεπεραστεί ένα κατώφλι ρυθμού εμφάνισης του φαινομένου, ο Flowvisor στέλνει στο μεταγωγέα Ethernet μία Καταχώριση Ροής που μπλοκάρει προσωρινά τα πακέτα που δημιουργούν το πρόβλημα. Αν και η τακτική αυτή μπορεί να δημιουργήσει την εντύπωση ότι προκαλεί προβλήματα επικοινωνίας, εντούτοις προστατεύει την υπόλοιπη δικτυακή κίνηση από ολική κατάρρευση του δικτύου.

Διαχείριση αιτημάτων από ελεγκτή. Ο ελεγκτής κατά διαστήματα στέλνει αιτήσεις στους μεταγωγείς Ethernet. Για παράδειγμα, μπορεί να αιτηθεί στατιστικά χρήσης ή να προωθήσει μία ή περισσότερες Καταχωρίσεις Ροών. Αυτή η διαδικασία απασχολεί τον επεξεργαστή του μεταγωγέα Ethernet. Ο Flowvisor θέτει για κάθε Διάτμηση ένα ανώτατο όριο αιτημάτων από τον ελεγκτή ανά μονάδα χρόνου για να προστατεύσει τα αποθέματα επεξεργαστικής ισχύος του ελεγκτή Ethernet.

Προώθηση Αργού-Μονοπατιού. Οι μεταγωγείς Ethernet διαθέτουν λειτουργίες/μονοπάτια που εξυπηρετούνται από εξειδικευμένο υλικό (Application Specific Integrated Circuits – ASIC) και οι οποίες ανήκουν στο Γρήγορο-Μονοπάτι (Fast-Path) καθώς και λειτουργίες που βασίζονται σε λογισμικό που τρέχει στη γενική μονάδα επεξεργασίας, οι οποίες ανήκουν στο Αργό-Μονοπάτι (Slow-Path). Ο Flowvisor όταν προωθεί μηνύματα από έναν ελεγκτή σε έναν μεταγωγέα Ethernet, αναγνωρίζει τα μηνύματα που αφορούν το Αργό-Μονοπάτι και, πριν τα προωθήσει, τα μετατρέπει σε κανόνα με προσωρινή ισχύ. Δηλαδή, κανόνα που αφορά μόνο ένα συγκεκριμένο πακέτο. Ως εκ τούτου, ο μεταγωγέας δεν αποθηκεύει στον Πίνακα Ροών του τον κανόνα. Με αυτόν τον τρόπο, η προώθηση Αργού-Μονοπατιού οφείλει κάθε φορά να περάσει τις διαδικασίες Εγκατάσταση νέων ροών και Αιτημάτων από ελεγκτή, για τις οποίες, όπως περιγράφηκε παραπάνω, ο Flowvisor παρέχει προστασία.

Εσωτερική Διαχείριση Κατάστασης. Ο κάθε μεταγωγέας Ethernet οφείλει να διατηρεί ενήμερους κάποιους εσωτερικούς μετρητές, να διαχειρίζεται συμβάντα, κλπ τα οποία απαιτούν επεξεργαστική ισχύ. Είναι στην ευθύνη του Flowvisor ώστε τα παραπάνω μέτρα

να αφήνουν το απαιτούμενο περιθώριο στον επεξεργαστή ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει και σε αυτές τις εσωτερικές λειτουργίες διαχείρισης της κατάστασής τους.

Όλες οι παραπάνω τεχνικές λειτουργούν ως εναλλακτικές ενός μηχανισμού που λείπει στην τρέχουσα έκδοση του OpenFlow. Πράγματι, το OpenFlow θα έπρεπε να ενσωματώνει τέτοιες μεθόδους προστασίας εξάντλησης. Μάλιστα, οι μηχανισμοί αυτοί αποτελούν ενεργό πεδίο ανάπτυξής του πρωτοκόλλου για τις επερχόμενες εκδόσεις του.

1.6.4 Απομόνωση του FlowSpace

Κάθε Διάτμηση οφείλει να επηρεάζει μόνο τις Ροές που ανήκουν στο δικό της FlowSpace. Για παράδειγμα, αν ένα FlowSpace αφορά μόνο τη θύρα 80 και στη Διάτμηση εισαχθεί μία Καταχώριση Ροής που αναφέρει όλη την κίνηση, τότε αυτός ο κανόνας θα πρέπει να τροποποιηθεί ώστε να μην αναφέρει τίποτα που να είναι έξω από τον FlowSpace. Συνεπώς, θα πρέπει να μετατραπεί από «όλη την κίνηση» σε «όλη την κίνηση που αφορά τη θύρα 80». Να γίνει δηλαδή πιο συγκεκριμένος. Ο FlowSpace κάνει αυτό ακριβώς το πράγμα. Ωστόσο, αν μία Καταχώριση Ροής αναφερθεί σε κίνηση που είναι απολύτως εκτός του FlowSpace, ο Flowvisor δεν προωθεί καθόλου το κανόνα και επιστρέφει στον Ελεγκτή σφάλμα.

1.6.5 Απομόνωση Καταχωρίσεων Ροών

Ο Flowvisor διατηρεί αρχείο με το τρέχον πλήθος των Καταχωρίσεων Ροών ανά Διάτμηση και φροντίζει αυτό να μην υπερβεί ένα προκαθορισμένο όριο. Επίσης, ο Flowvisor μπορεί να ελέγχει με αιτιήματα OpenFlow προς τους μεταγωγείς Ethernet την κατάσταση πληρότητας του εσωτερικού τους Πίνακα Ροών. Όταν ένας ελεγκτής υπερβεί το όριο των επιτρεπόμενων καταχωρίσεων σε μία Διάτμηση, ο Flowvisor αρνείται να δεχτεί νέες καταχωρίσεις, επιστρέφοντας ένα μήνυμα σφάλματος που αναφέρει ότι ο Πίνακας Ροών είναι πλήρης.

1.6.6 Απομόνωση στρώματος ελέγχου του OpenFlow

Εκτός των φυσικών πόρων, πρέπει να εικονικοποιηθεί και να απομονωθεί το ίδιο το στρώμα ελέγχου του OpenFlow. Για παράδειγμα, οι αύξοντες αριθμοί των μηνυμάτων του OpenFlow δεν πρέπει να συμπίπτουν μεταξύ διαφορετικών ελεγκτών. Επιπλέον, κάθε ελεγκτής πρέπει να έχει πρόσβαση μόνο στους δικούς του απομονωτές (buffers). Ομοίως, μηνύματα από τους μεταγωγείς Ethernet (πχ αλλαγή κατάστασης μίας θύρας) πρέπει να αναπαράγονται προς όλες τις Διατμήσεις που σχετίζονται με το εκάστοτε συμβάν. Για όλα αυτά μεριμνά ο Flowvisor.

1.7 Τα εργαλεία του Flowvisor

Το λογισμικό Flowvisor αποτελείται από δύο βασικά πολυεργαλεία, που επιτρέπουν την αρχικοποίηση του περιβάλλοντος του Flowvisor και τη μετέπειτα διαχείρισή του. Το εργαλείο *fvconfig* επιτρέπει ενέργειες σχετικά με τις αρχικές παραμέτρους λειτουργίας, ενώ το *fvctl* δίνει τη δυνατότητα αποστολής εντολών στον daemon του Flowvisor. Οι αρχικές

εκδόσεις του Flowvisor χρησιμοποιούσαν τη μορφή XML για να καταγράψουν τις παραμέτρους της λειτουργίας του. Ωστόσο, οι νεότερες εκδόσεις χρησιμοποιούν πλέον τη μορφή JSON. Για να καταστεί εύκολη η μετάβαση από παλαιού τύπου παραμετροποιήσεις σε νέου τύπου, υπάρχει πρόβλεψη για λειτουργία που κάνει τις απαραίτητες μετατροπές.

1.7.1 Το εργαλείο fvconfig

Το *fvconfig* επιτρέπει την αρχικοποίηση των παραμέτρων του Flowvisor. Βασική του απαίτηση είναι ο daemon του Flowvisor να μην εκτελείται, καθώς επεμβαίνει απευθείας στο αρχείο παραμέτρων. Συνήθως, η χρήση του αφορά στην αρχική ρύθμιση, παρά σε επεμβάσεις σε περιβάλλοντα εργασίας. Παρατίθεται η σύνταξή της:

```
fvconfig <command> <parameters>
```

Οι επιτρεπόμενες εντολές, με τις αντίστοιχες παραμέτρους, είναι:

- `match config.json dpid match` : Χρησιμοποιείται για αποσφαλμάτωση. Αντιπαραβάλλει τη δοσμένη δομή με τους κανόνες που υπάρχουν εγκατεστημένοι.
- `load config.json` : Μεταφορτώνει την παραμετροποίηση του δοσμένου αρχείου μορφή JSON στον Flowvisor. Αν υπάρχει ήδη παραμετροποίηση, αντικαθίσταται.
- `chpasswd config.json slicename` : Πραγματοποιεί αλλαγή του κωδικού ασφαλείας για τη δοσμένη Διάτμηση.
- `convert config.json` : Μετατρέπει ένα παλιό αρχείο παραμέτρων σε σύγχρονη μορφή.
- `query config.json dpid [slicename]` : Αν το όνομα της Διάτμησης δεν προσδιοριστεί, τότε επιστρέφονται τα ονόματα των Διατμήσεων που περιέχουν το δοσμένο αναγνωριστικό DPID. Αλλιώς, επιστρέφονται οι θύρες του αναγνωριστικού DPID που χρησιμοποιούνται από τη δοσμένη Διάτμηση.
- `generateCert [hostname]` : Δημιουργεί ένα νέο πιστοποιητικό SSL για το δοσμένο hostname. Αν το hostname δεν προσδιοριστεί, το πιστοποιητικό δημιουργείται για το όνομα που επιστρέφει η εντολή `/bin/hostname`.
- `generate newconfig.json [hostname] [admin_passwd] [of_port] [api_port]` : Δημιουργεί ένα νέο αρχείο παραμέτρων, όπου εμπεριέχονται οι Διατμήσεις Bob και Alice, ως παραδείγματα. Αν δε δοθεί κωδικός ασφαλείας για τον χρήστη admin, η εντολή θα προτρέψει τον χρήστη να εισάγει έναν. Επίσης, δύναται να οριστούν οι TCP θύρες των OpenFlow μεταγωγέων Ethernet και του διακομιστή jsonRPC. Επιπλέον, εκδίδεται ένα νέο πιστοποιητικό SSL, όμοια με την εντολή `generateCert`.

1.7.2 Το εργαλείο fvctl

Το εργαλείο `fvctl` χρησιμοποιείται για τη παραμετροποίηση, αποσφαλμάτωση, παρακολούθηση και διαχείριση ενός Flowvisor που εκτελείται. Ο Flowvisor διαθέτει έναν διακομιστή jsonRPC, μέσω του οποίου μπορεί να δεχτεί κλήσεις API (Application Programming Interface). Το εργαλείο `fvctl` ουσιαστικά είναι ένα πρόγραμμα πελάτη

jsonRPC που στέλνει εντολές απευθείας στο API του Flowvisor. Η σύνταξη της εντολής είναι η εξής:

```
fvctl [options] command [command_args]
```

Οι δυνατές επιλογές (options) είναι οι εξής:

- `-h HOST, --hostname=HOST` : Προσδιορίζει τον εξυπηρετητή του Flowvisor. Προεπιλογή: 'localhost'
- `-p PORT, --port=PORT` : Προσδιορίζει τη θύρα του διαδικτυακού περιβάλλοντος. Προεπιλογή: 8080
- `-u FV_USER, --user=FV_USER` : Προσδιορίζει το όνομα του διαχειριστή του Flowvisor. Προεπιλογή: 'fvadmin'
- `-f FV_PASSWDFILE, --passwd-file=FV_PASSWDFILE` : Προσδιορίζει το αρχείο με τον κωδικό ασφαλείας του διαχειριστή
- `-v, --version` : Εμφανίζει την έκδοση του εργαλείου
- `--help` : Εμφανίζει τη βοήθεια

Οι υποστηριζόμενες εντολές (commands) είναι οι εξής:

- `add-flowspace` : Δημιουργεί έναν νέο κανόνα Flowspace
- `add-slice` : Δημιουργεί μία νέα Διάτμηση
- `get-config` : Προβάλλει τις γενικές παραμέτρους του Flowvisor
- `list-datarath-info` : Προβάλλει πληροφορίες για τις συνδεδεμένες συσκευές
- `list-datarath-stats` : Προβάλλει στατιστικά για τις συνδεδεμένες συσκευές
- `list-dataraths` : Προβάλλει τις συσκευές
- `list-flowspace` : Προβάλλει τους Flowspace
- `list-fv-health` : Αναφέρει τη συνολική κατάσταση υγείας του Flowvisor
- `list-links` : Προβάλλει τη συνολική τοπολογία
- `list-slice-health` : Αναφέρει τη συνολική κατάσταση υγείας των Διατμήσεων
- `list-slice-info` : Προβάλλει πληροφορίες για μία Διάτμηση
- `list-slice-stats` : Προβάλλει στατιστικά για μία Διάτμηση
- `list-slices` : Προβάλλει τις καθορισμένες Διατμήσεις
- `list-version` : Προβάλλει την έκδοση του Flowvisor
- `remove-flowspace` : Αφαιρεί έναν κανόνα Flowspace
- `remove-slice` : Διαγράφει μία Διάτμηση
- `save-config` : Αποθηκεύει τις παραμέτρους λειτουργίας
- `set-config` : Ορίζει τις γενικές παραμέτρους λειτουργίας του Flowvisor
- `update-admin-password` : Ενημερώνει τον κωδικό ασφαλείας του διαχειριστή
- `update-flowspace` : Αλλάζει τις παραμέτρους των κανόνων ενός Flowspace
- `update-slice` : Ενημερώνει τις παραμέτρους μίας Διάτμησης
- `update-slice-password` : Ενημερώνει τον κωδικό ασφαλείας μίας Διάτμησης
- `list-datarath-flowdb` : Προβάλλει τα περιεχόμενα της βάσης Ροών, αν έχει ενεργοποιηθεί η λειτουργία παρακολούθησης Ροής
- `list-datarath-flowrewritedb` : Προβάλλει τις επανεγγραφές που έχει εφαρμόσει ο Flowvisor

2. Υποστήριξη πολλαπλών ελεγκτών στο OpenFlow

2.1 Περιορισμοί του Flowvisor στο διαχωρισμό τοπολογιών

Η λογική με την οποία λειτουργεί ο Flowvisor βασίζεται στην παραδοχή ότι ο διαχειριστής του δικτύου γνωρίζει εκ των προτέρων τις συσκευές που θα συνδεθούν στην τοπολογία. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι υπάρχει η γνώση όλων των DPIDs που υπάρχει περίπτωση να βρεθούν στο δίκτυο.

Στην πράξη όμως αυτό δε συμβαίνει. Συχνά οι διαχειριστές δικτύων θέλουν να μπορούν να δημιουργούν προβλέψεις (provisions) για συσκευές των οποίων τα αναγνωριστικά δεν είναι γνωστά εξ αρχής. Πράγματι, θα ήταν πολύ πρακτικό ένας διαχειριστής να μπορεί να ορίσει μία Διάτμηση ως την προεπιλεγμένη για κάθε DPID που δεν έχει προβλεφθεί στην παραμετροποίηση του Flowvisor.

Μάλιστα, αυτή η προεπιλεγμένη Διάτμηση θα ήταν πολύ χρήσιμο να μπορεί να αλλάζει με έναν εύχρηστο τρόπο σε περίπτωση που ο διαχειριστής κρίνει ότι κάτι τέτοιο τον βολεύει στη διαχείριση του δικτύου του.

Δυστυχώς, ο Flowvisor δε διαθέτει τέτοιο μηχανισμό. Για να μπορέσουμε να προσδώσουμε μία τέτοια λειτουργικότητα στο Flowvisor δημιουργήθηκαν μία σειρά από κατάλληλα scripts που αξιοποιούν την υφιστάμενη λειτουργικότητα του Flowvisor ώστε αυτή να επεκταθεί κατάλληλα.

Επιπλέον, ο Flowvisor δε διαθέτει κάποιο εύχρηστο γραφικό εργαλείο για τη διαχείριση των Διατμήσεων. Για να γίνει ευκολότερη η χρήση των παραπάνω scripts, επιλέχθηκε η χρήση HTML ώστε να δημιουργηθεί ένα εύχρηστο και κατανοητό γραφικό περιβάλλον διαχείρισης, το οποίο ονομάστηκε *FVSliceManager*. Με την ευκαιρία αυτή, ο *FVSliceManager* υλοποιεί μερικές από τις εγγενείς λειτουργίες του Flowvisor, ο οποίες έως τώρα ήταν προσβάσιμες αποκλειστικά μέσω της γραμμής εντολών.

2.2 Χειρισμός άγνωστων τοπολογιών

Τα scripts που λειτουργούν στο παρασκήνιο του *FVSliceManager* αξιοποιούν τις πληροφορίες που παρέχει ο Flowvisor. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο Flowvisor έχει δύο έτοιμες Διατμήσεις για λόγους επίδειξης (demo) με όνομα Bob και Alice. Ωστόσο, διαθέτει μία ακόμα, με όνομα *fvadmin* η οποία επιτελεί διαχειριστικό ρόλο.

Στην *fvadmin* δημιουργείται ένας κανόνας Flowspace με όνομα CatchAll ο οποίος περιλαμβάνει αδιακρίτως όλα τα DPIDs των συνδεδεμένων συσκευών. Στη συνέχεια, τα scripts διενεργούν έναν έλεγχο παράθεσης των DPIDs που ανήκουν σε κάποια Διάτμηση με αυτά που βρίσκονται στην *fvadmin*, δηλαδή με όλες τις ανιχνευμένες στο δίκτυο συσκευές. Στο τέλος συγκεντρώνονται όλα τα «ορφανά» DPIDs, δηλαδή αυτά που δε βρέθηκαν να ανήκουν σε κάποια άλλη Διάτμηση πέραν της *fvadmin*.

Στη συνέχεια, τα scripts προσθέτουν τα «ορφανά» DPIDs στην προεπιλεγμένη από το διαχειριστή Διάτμηση με βαθμό προτεραιότητας 100. Με αυτόν τον τρόπο αυτοματοποιείται η σύνδεση των άγνωστων τοπολογιών στη Διάτμηση που έχει προεπιλέξει ο διαχειριστής του δικτύου.

2.3 Η εφαρμογή FVSliceManager

Η εφαρμογή είναι προσβάσιμη μέσω κλασσικού φυλλομετρητή ιστού (web browser). Η πλοήγηση στις λειτουργίες του γίνεται μέσω ενός απλού οριζόντιου μενού στο πάνω μέρος της κάθε ιστοσελίδας (Σχ. 2.3-1).



Σχ. 2.3-1: Το μενού του FVSliceManager

Οι βασικές επιλογές είναι οι Stats, FVSlices και FlowSpace, ενώ υπάρχουν οι συμπληρωματικές Help και About. Σε κάθε μία από τις τρεις βασικές σελίδες διαχείρισης παρέχονται πληροφορίες για την τρέχουσα κατάσταση του Flowvisor αλλά και φόρμες μέσω των οποίων δύναται η παραμετροποίησή του.

- **Stats:** Η σελίδα αυτή παρέχει μία εποπτική εικόνα του Flowvisor με πληροφορίες σχετικά με τις τρέχουσες Διατμήσεις.
- **FVSlices:** Παραθέτονται στατιστικά στοιχεία των Διατμήσεων, καθώς και αναλυτική λίστα αναγνωριστικών DPIDs ανά Διάτμηση. Επιπλέον, υπάρχουν φόρμες διαχείρισης των Διατμήσεων.
- **FlowSpace:** Εμφανίζονται όλοι οι κανόνες του Flowspace. Επιπλέον, παρέχεται δυνατότητα διαχείρισης των κανόνων καθώς και ο ορισμός της προεπιλεγμένης Διάτμησης.

Στη σελίδα About υπάρχει σύνδεσμος όπου παρέχεται πρόσβαση σε όλα τα scripts που τρέχουν στο παρασκήνιο καθώς και τα αρχεία κατάστασης που αυτά δημιουργούν.

Αφού δοθεί μία λεπτομερής περιγραφή των scripts του backend, ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των λειτουργιών στις οποίες έχει πρόσβαση ο χρήστης του *FVSliceManager*.

2.4 Περιγραφή backend του FVSliceManager

Το backend του *FVSliceManager* αποτελείται από μία σειρά bash scripts που καλούν την εντολή `fnadmind` με διαφορετικές εντολές και παραμέτρους κάθε φορά. Διαβάζουν τις παραμέτρους από αρχεία κειμένου που έχουν δημιουργηθεί από τις σχετικές φόρμες του *FVSliceManager* και εξάγουν τις πληροφορίες σε αρχεία κειμένου που στη συνέχεια προβάλλονται στο γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής.

2.4.1 Go.sh

Αποτελεί το βασικό script που συνίσταται από οκτώ (8) βήματα που εκτελούνται σε έναν αέναο βρόχο. Κάθε βήμα καλεί ένα ή περισσότερα δευτερεύοντα scripts.

- Βήμα 1^ο: Επιβεβαιώνει ότι ο Flowvisor εκτελείται. Αν όχι, τον εκκινεί. Το βήμα αυτό είναι απαραίτητο, καθώς στην πράξη διαπιστώθηκε ότι συχνά η χρήση του fvsadmin μπορεί να οδηγήσει τον Flowvisor σε κατάρρευση, κάτι που οφείλεται στην πειραματική φάση που βρίσκεται το λογισμικό.
- Βήμα 2^ο: Δημιουργείται το αρχείο με το PID και τη διαδρομή του Flowvisor για τις ανάγκες της σελίδας «About».
- Βήμα 3^ο: Εδώ γίνεται κλήση τεσσάρων script, τα οποία δημιουργούν πληροφορίες σχετικά με τις τρέχουσες Διατμήσεις και τις λεπτομέρειες της κάθε μίας, των διαθέσιμων Flowspace και των κανόνων που υπάρχουν σε κάθε Flowspace.
- Βήμα 4^ο: Γίνεται κλήση του script που παραθέτει τα άγνωστα αναγνωριστικά DPIDs με τα ήδη ρυθμισμένα. Στη συνέχεια καλείται ένα script που αναλαμβάνει να εισάγει στην προεπιλεγμένη Διάτμηση όσα άγνωστα αναγνωριστικά DPIDs ανιχνεύτηκαν.
- Βήμα 5^ο: Σε περίπτωση που ο χρήστης έχει χρησιμοποιήσει τη φόρμα προσθήκης μίας Διάτμησης, καλείται το σχετικό script που αναλαμβάνει τη διεκπεραίωση.
- Βήμα 6^ο: Σε περίπτωση που ο χρήστης έχει χρησιμοποιήσει τη φόρμα διαγραφής μίας Διάτμησης, καλείται το σχετικό script που αναλαμβάνει τη διεκπεραίωση.
- Βήμα 7^ο: Αν ο χρήστης έχει εισάγει ένα νέο κανόνα σε ένα FlowSpace, καλείται το σχετικό για την εργασία script.
- Βήμα 8^ο: Αν ο χρήστης έχει ζητήσει τη διαγραφή ενός κανόνα σε ένα FlowSpace, καλείται το σχετικό για την εργασία script.

Ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή των scripts με τη σειρά που καλούνται από το βασικό script.

2.4.2 dumpAbout.sh

Το συγκεκριμένο script δημιουργεί ένα αρχείο με τη διαδρομή και το PID του Flowvisor.

Αρχεία που δημιουργούνται:

- fv-about.txt

2.4.3 dumpSlices.sh

Δημιουργούνται δύο αρχεία. Το πρώτο έχει μόνο τα ονόματα των Διατμήσεων, ενώ το δεύτερο, για κάθε διάτμηση περιλαμβάνει το όνομα χρήστη του διαχειριστή καθώς και τον ελεγκτή (FQDN και θύρα TCP).

Αρχεία που δημιουργούνται:

- slices_current-nameonly.txt
- slices_current.txt

2.4.4 dumpSlicesDetailed.sh

Για κάθε μία Διάτμηση δημιουργείται ένα αρχείο της μορφής *'Slice?.txt'*. Οι πληροφορίες που περιέχει είναι το όνομα της Διάτμησης, ο ελεγκτής στον οποίο αυτή συνδέεται, το email του διαχειριστή και η λίστα με τα αναγνωριστικά DPIDs που ανήκουν σε αυτή. Αυτό το αρχείο αποτελεί την πηγή άντλησης των αναλυτικών στοιχείων για τη συγκεκριμένη Διάτμηση. Στην έναρξη του script, διαγράφονται τα υφιστάμενα αρχεία.

Αρχεία που δημιουργούνται:

- *Slice1.txt*
- *Slice2.txt*
- *kok*

2.4.5 dumpFlowspace.sh

Για κάθε μία Διάτμηση δημιουργείται ένα αρχείο της μορφής *'Slice?-FS.txt'*. Στην πρώτη γραμμή του αρχείου αναγράφεται το όνομα της Διάτμησης, ενώ ακολουθούν αναλυτικά οι κανόνες του Flowspace για τη συγκεκριμένη Διάτμηση. Πριν δημιουργηθούν τα νέα αρχεία, διαγράφονται τα όποια υφιστάμενα.

Αρχεία που δημιουργούνται:

- *Slice1-FS.txt*
- *Slice2-FS.txt*
- *kok*

2.4.6 dumpFlowspaceRules.sh

Εδώ δημιουργείται μία λίστα με τα ονόματα όλων των Flowspace. Ο Flowspace *CatchAll* δε συμπεριλαμβάνεται.

Αρχεία που δημιουργούνται:

- *flowspaceNames.txt*

2.4.7 dumpUnknownDPIDs.sh

Το script αρχικά δημιουργεί λίστα με όλα τα DPIDs που υπάρχουν σε κάθε μία Διάτμηση. Αυτό γίνεται με αναδρομική κλήση της σχετικής ρουτίνας για κάθε Διάτμηση. Στη συνέχεια δημιουργείται μία δεύτερη λίστα με όλα τα DPIDs που έχουν καταγραφεί στη Διάτμηση *fvadmin*, σύμφωνα με τον Flowspace *CatchAll*. Εν τέλει, οι δύο λίστες αντιπαραβάλλονται και αποτυπώνονται οι εγγραφές που υπάρχουν μόνο στην *fvadmin* και όχι στην πρώτη λίστα. Αυτά είναι τα DPIDs που πρέπει να προστεθούν στην προεπιλεγμένη Διάτμηση, κάτι που γίνεται από το αμέσως επόμενο script.

Αρχεία που δημιουργούνται:

- *unknown-DPIDs-toDefaultSlice-pending.txt*

2.4.8 formAddUnknownDPIDs-toDefaultSlice.sh

Εδώ γίνεται σάρωση του παραπάνω αρχείου που δημιούργησε το προηγούμενο script. Κάθε μία εγγραφή που συναντάται προστίθεται στην προεπιλεγμένη Διάτμηση με προτεραιότητα (Priority) 100 και δικαιώματα (Rights) 6, ήτοι Ανάγνωση+Εγγραφή (Read+Write). Το script δε δημιουργεί αρχεία, παρά μόνο διαγράφει το περιεχόμενο του αρχείου κειμένου που διάβασε.

Αρχεία που διαβάζονται:

- `unknown-DPIDs-toDefaultSlice-pending.txt`

2.4.9 formAddNewSlice.sh

Αν ο χρήστης έχει επιλέξει την προσθήκη μιας νέας Διάτμησης μέσα από τη διεπαφή FVSliceManager, τότε το script αυτό αναλαμβάνει τη διεκπαιαίωση αυτής ακριβώς της διαδικασίας. Μετά την ολοκλήρωση, τα περιεχόμενα του αρχείου ανάγνωσης διαγράφονται.

Αρχεία που διαβάζονται:

- `formAddNewSlice.txt`

2.4.10 formRemoveSlice.sh

Αν ο χρήστης έχει επιλέξει τη διαγραφή μιας υφιστάμενης Διάτμησης μέσα από τη διεπαφή FVSliceManager, τότε το script αυτό αναλαμβάνει τη διεκπαιαίωση αυτής ακριβώς της διαδικασίας. Μετά την ολοκλήρωση, τα περιεχόμενα του αρχείου ανάγνωσης διαγράφονται.

Αρχεία που διαβάζονται:

- `formRemoveSlice.txt`

2.4.11 formAddNewFlowSpaceRule.sh

Αν ο χρήστης έχει επιλέξει την προσθήκη ενός νέου κανόνα FlowSpace μέσα από τη διεπαφή FVSliceManager, τότε το script αυτό αναλαμβάνει τη διεκπαιαίωση αυτής ακριβώς της διαδικασίας. Μετά την ολοκλήρωση, τα περιεχόμενα του αρχείου ανάγνωσης διαγράφονται.

Αρχεία που διαβάζονται:

- `formNewFlowSpaceRule.txt`

2.4.12 formRemoveFlowSpaceRule.sh

Αν ο χρήστης έχει επιλέξει τη διαγραφή ενός υφιστάμενου κανόνα FlowSpace μέσα από τη διεπαφή FVSliceManager, τότε το script αυτό αναλαμβάνει τη διεκπαιαίωση αυτής ακριβώς της διαδικασίας. Μετά την ολοκλήρωση, τα περιεχόμενα του αρχείου ανάγνωσης διαγράφονται.

Αρχεία που διαβάζονται:

- `formRemoveFlowSpaceRule.txt`

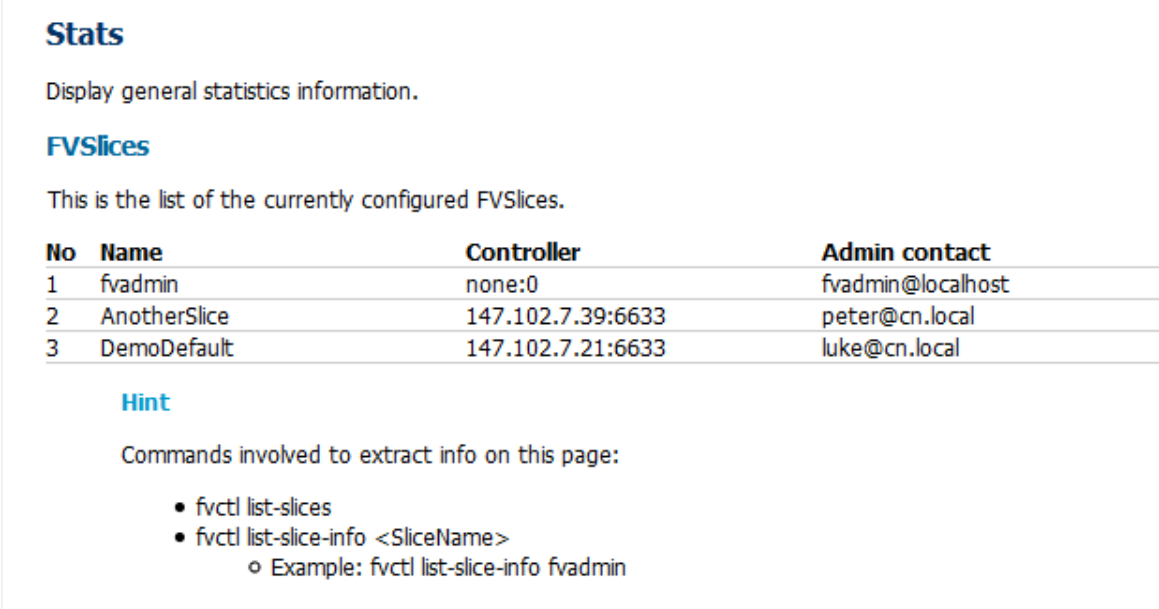
2.5 Περιγραφή λειτουργίας της διεπαφής FVSliceManager

Στην ενότητα 2.3 έγινε συνοπτική αποτύπωση των ενότητων του FVSliceManager. Εδώ θα γίνει μία πιο λεπτομερής περιγραφή της κάθε ενότητας και των λειτουργιών που υπάρχουν διαθέσιμες.

2.5.1 Σελίδα Stats

Η σελίδα Stats αποτελεί την αρχική σελίδα του FVSliceManager και είναι μία ενημερωτική ενότητα. Ως εκ τούτου, προβάλλει μονάχα πληροφορία, χωρίς να παρέχει κάποια φόρμα εισαγωγής ή αλλαγής των στοιχείων του Flowvisor.

Η πληροφορία που δίνει αφορά τις Διατμήσεις κατά σειρά δημιουργίας τους. Παράλληλα, για κάθε μία από αυτές παρουσιάζει τη διεύθυνση FQDN του OpenFlow ελεγκτή καθώς και τη διεύθυνση του διαχειριστή. (βλ. Σχ.2.5.1-1)



Stats

Display general statistics information.

FVSlices

This is the list of the currently configured FVSlices.

No	Name	Controller	Admin contact
1	fvadmin	none:0	fvadmin@localhost
2	AnotherSlice	147.102.7.39:6633	peter@cn.local
3	DemoDefault	147.102.7.21:6633	luke@cn.local

Hint

Commands involved to extract info on this page:

- `fvctl list-slices`
- `fvctl list-slice-info <SliceName>`
 - Example: `fvctl list-slice-info fvadmin`

Σχ.2.5.1-1: Το περιεχόμενο της σελίδας Stats

Στο Σχ.2.5.1-1 φαίνονται, εκτός της *fvadmin*, ακόμα δύο Διατμήσεις με ονόματα *AnotherSlice* και *DemoDefault* των χρηστών *peter* και *luke* αντίστοιχα. Οι Διατμήσεις αυτές θα χρησιμοποιηθούν για όλη την περιγραφή του FVSliceManager στην παρούσα ενότητα.

Ένα ακόμα στοιχείο που αποτυπώνεται στη σελίδα είναι οι εντολές που λαμβάνουν χώρα στα `scripts` που τρέχουν στο παρασκήνιο ώστε να δημιουργηθεί το περιεχόμενο της πληροφορίας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι εντολές του `fvctl` που χρησιμοποιούνται είναι οι `list-slices` και `list-slice-info` με τη σύνταξη που φαίνεται στο Σχ. 2.5.1-1. Η πρακτική της παράθεσης σύντομων χρήσιμων πληροφοριών ακολουθείται και στις υπόλοιπες σελίδες.

2.5.2 Σελίδα FVSlices

Η σελίδα αυτή αποτυπώνει και διαχειρίζεται πληροφορία που αφορά τις Διατμήσεις. Υπάρχουν δύο φόρμες, η “Add New FVSlice” και η “Remove existing FVSlice”. (βλ. Σχ.2.5.2-1)

Η φόρμα “Add New FVSlice” επιτρέπει την εισαγωγή μία νέας Διάτμησης. Τα στοιχεία που απαιτούνται είναι το όνομα, η διεύθυνση URL του OpenFlow ελεγκτή, η διεύθυνση email του Διαχειριστή και ο κωδικός ασφαλείας. Αυτές οι απαιτήσεις απορρέουν από την ίδια την εντολή *add-slice* του εργαλείου *fvctl*.

Η δεύτερη φόρμα, με τίτλο “Remove existing FVSlice” επιτρέπει τη διαγραφή μίας υπάρχουσας Διάτμησης. Ο χρήστης επιλέγει από τη λίστα των διαθέσιμων Διατμήσεων αυτή που επιθυμεί να διαγράψει και πατάει το κουμπί Remove.

FVSlices

Display and manage FVSlices.

Summary

Summary information for Flowvisor Slices (FVSlices). See below for detailed info for each individual FVSlice.

Total number of FVSlices: 3

Name of Default FVSlice for unknown DPIDs: DemoDefault

Add new FVSlice

Slice Name: Controller URL: Admin Email: Password:

Example: **Slice Name:** MySlice **Controler URL:** 192.168.1.1:6633 **Admin Emal:** myself@somewhere.com **Password:** mypass

Remove existing FVSlice

Select FVSlice to remove. Note that you cannot remove Default Slice (set Default Slice at the FlowSpace page).

Slice to remove:

Σχ.2.5.2-1: Οι δύο φόρμες της σελίδας FVSlices

Μετά τις φόρμες ακολουθούν κάποιες πληροφορίες που αφορούν την ορολογία του Flowvisor και το ρόλο της Διάτμησης *fvadmin*. (βλ. Σχ. 2.5.2-2)

Hint

Flowvisor uses the term "Slice" to define a topology (a set of DPIDs) that is connected to an OpenFlow controller. However, this is not to be confused with the OpenFlow slices! OpenFlow uses the same term "Slice" to define the portion of a network that is isolated from the rest of the network and is defined by a set of rules, called "Flows". To avoid the confusion between Flowvisor Slices and OpenFlow Slices, we use the term FVSlice, so that is clear that we refer to the Flowvisor term.

Hint

Keep in mind that we use slice "fvadmin" as a CatchAll pool for all connected devices. This is achieved by a single FlowSpace rule for fvadmin that matches any DPIDs (*all_dpids*). Then, we use this information in order to redirect any "unknown" DPID to the Default slice. Note that Flowvisor does not support anything like "Default slice". So, we had to implement this functionality by ourselves and thus we need this pool of all connected DPIDs. However, as we have not connected fvadmin slice to any OpenFlow controller (observe that Controller is set to none:0) this has no actual effect on Flowvisor's functionality.

Σχ. 2.5.2-2: Οι σύντομες χρήσιμες πληροφορίες της σελίδας FVSlices

Τέλος, γίνεται μία παράθεση αναλυτικών πληροφοριών για την κάθε Διάτμηση. Αναφέρεται το όνομα, η διεύθυνση URL του OpenFlow ελεγκτή, η email διεύθυνση του Διαχειριστή και η λίστα των αναγνωριστικών DPIDs που ανήκουν σε αυτή. Στο τέλος, αναφέρεται το πλήθος των αναγνωριστικών DPIDs ανά Διάτμηση. (βλ. Σχ.2.5.2-3)

Σημειώνεται ότι η Διάτμηση fvadmin περιέχει όλα τα αναγνωριστικά DPIDs όλων των υπολοίπων Διατμήσεων.

Slice: fvadmin

Controller: none:0

Admin contact: fvadmin@localhost

Devices list (DPIDs):

```
12:34:56:00:ab:cd:0a:01
12:34:56:00:ab:cd:0a:02
12:34:56:00:ab:cd:0a:03
12:34:56:00:ab:cd:0a:04
22:22:22:00:00:00:00:01
22:22:22:00:00:00:00:02
22:22:22:00:00:00:00:03
22:22:22:00:00:00:00:04
```

Total DPIDs population on this slice: 8

Slice: AnotherSlice

Controller: 147.102.7.39:6633

Admin contact: peter@cn.local

Devices list (DPIDs):

```
22:22:22:00:00:00:00:01
22:22:22:00:00:00:00:02
22:22:22:00:00:00:00:03
22:22:22:00:00:00:00:04
```

Total DPIDs population on this slice: 4

Slice: DemoDefault

Controller: 147.102.7.21:6633

Admin contact: luke@cn.local

Devices list (DPIDs):

```
12:34:56:00:ab:cd:0a:01
12:34:56:00:ab:cd:0a:02
12:34:56:00:ab:cd:0a:03
12:34:56:00:ab:cd:0a:04
22:22:22:00:00:00:00:01
22:22:22:00:00:00:00:02
22:22:22:00:00:00:00:03
22:22:22:00:00:00:00:04
```

Total DPIDs population on this slice: 8

Σχ.2.5.2-3: Η λίστα με τα αναγνωριστικά DPIDs ανά Διάτμηση

2.5.3 Σελίδα FlowSpace

Η σελίδα αφορά τη διαχείριση του FlowSpace. Για το σκοπό αυτό, πέραν των πληροφοριών που παρέχει, διαθέτει τρεις φόρμες.

Η πρώτη φόρμα (βλ. Σχ. 2.5.3-1), με τίτλο “Add FlowSpace Rule”, επιτρέπει την εισαγωγή ενός νέου κανόνα FlowSpace. Τα στοιχεία που απαιτούνται είναι το όνομα του κανόνα, το οποίο μπορεί να είναι νέο ή υφιστάμενο, η λίστα με τα αναγνωριστικά DPIDs των συσκευών

που θα αφορά ο κανόνας, ο βαθμός προτεραιότητας (priority), το αλφαριθμητικό ταιριάσματος (match), η Διάτμηση στην οποία θα εφαρμοστεί ο κανόνας και τα δικαιώματα.

Add FlowSpace Rule

FlowSpace Name: (type an existing or a new name)

List of DPIDs (one DPID per line):

Priority (1-10000): Match:

FVSlice to add rule to: Slice permissions:

Σχ.2.5.3-1: Η φόρμα εισαγωγής νέου κανόνα FlowSpace

Το αποτέλεσμα της χρήσης της φόρμας είναι η εισαγωγή ενός νέου κανόνα, σύμφωνα με τα στοιχεία που εισήχθησαν.

Η δεύτερη φόρμα (βλ. Σχ.2.5.3-2) επιτρέπει στο χρήστη τη διαγραφή ενός ολόκληρου FlowSpace.

Remove existing FlowSpace

Note you cannot remove the "CatchAll" FlowSpace.

FlowSpace to remove:

Σχ.2.5.3-2: Η φόρμα διαγραφής υφιστάμενου FlowSpace

Η τρίτη και τελευταία φόρμα αφορά τη λειτουργία της ίδιας της εφαρμογής FVSliceManager, καθώς επιτρέπει τον ορισμό της προεπιλεγμένης Διάτμησης για τα άγνωστα αναγνωριστικά DPIDs. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τη Διάτμηση που επιθυμεί να οριστεί ως προεπιλεγμένη από μία λίστα. Στη λίστα δεν περιλαμβάνεται η τρέχουσα προεπιλεγμένη Διάτμηση, ούτε η *fvadmin*.

Set Default Slice

Set the Slice that will be the Default for any unknown DPIDs.

Current Default Slice: **DemoDefault**

Set new Defalut Slice:

Σχ.2.5.3-3: Η φόρμα ορισμού προεπιλεγμένης Διάτμησης

Εκτός από τις φόρμες, πρατίζονται διάφορες πληροφορίες που αφορούν τον FlowSpace. Συγκεκριμένα, παρατίθενται ονομαστικά όλοι οι FlowSpaces, εκτός της *CatchAll* που αφορά την *fvadmin*. (βλ. Σχ.2.5.3-4)

Existing FlowSpace

List of available FlowSpace. Note that "CatchAll" is not included, neither it is offered to be managed.

- AnotherSlice_Rule
- DemoDefault_Rule

Σχ.2.5.3-4: Η λίστα με τους διαθέσιμους FlowSpaces

Στη συνέχεια, για κάθε Διάτμηση δίνεται λίστα με όλους τους κανόνες, με όλα τα αναλυτικά τους στοιχεία, όπως όνομα, δικαιώματα, προτεραιότητα, κλπ. (βλ. Σχ.2.5.3-5)

Slice: AnotherSlice

```
{"force-enqueue": -1, "name": "AnotherSlice_Rule", "slice-action": [{"slice-name": "AnotherSlice", "permission": 6}], "queues": [], "priority": 100, "dpid": "22:22:22:00:00:00:01", "id": 438, "match": {"wildcards": 4194303}}
{"force-enqueue": -1, "name": "AnotherSlice_Rule", "slice-action": [{"slice-name": "AnotherSlice", "permission": 6}], "queues": [], "priority": 100, "dpid": "22:22:22:00:00:00:02", "id": 439, "match": {"wildcards": 4194303}}
{"force-enqueue": -1, "name": "AnotherSlice_Rule", "slice-action": [{"slice-name": "AnotherSlice", "permission": 6}], "queues": [], "priority": 100, "dpid": "22:22:22:00:00:00:03", "id": 440, "match": {"wildcards": 4194303}}
{"force-enqueue": -1, "name": "AnotherSlice_Rule", "slice-action": [{"slice-name": "AnotherSlice", "permission": 6}], "queues": [], "priority": 100, "dpid": "22:22:22:00:00:00:04", "id": 441, "match": {"wildcards": 4194303}}
```

Total FlowSpaces population on this slice: 4

Σχ.2.5.3-5: Η λίστα με τους διαθέσιμους FlowSpaces

Τέλος, γίνεται αναφορά στις εντολές που χρησιμοποιούνται από τα scripts για την παραγωγή των στοιχείων της σελίδας, καθώς και την επεξεργασία των φορμών. (βλ. Σχ.2.5.3-6)

Hint

Commands involved to extract info on this page:

- fvctl list-flowSpace

Commands involved to manage FlowSpace rules through this page:

- fvctl add-flowSpace
- fvctl remove-flowSpace

Σχ.2.5.3-6: Οι εντολές που χρησιμοποιούνται από τη σελίδα FlowSpaces

2.5.4 Σελίδα About

Η σελίδα «About» περιέχει τεχνικές πληροφορίες που αφορούν το λογισμικό που χρησιμοποιείται. Φαίνεται η έκδοση του ίδιου του *FVSliceManager*, η έκδοση, η διαδρομή και η κατάσταση του Flowvisor, καθώς και ένας σύνδεσμος προς όλα τα παραγόμενα αρχεία από τα scripts.

About

FVSliceManager web application

FVSliceManager version: 0.1.9 [Alpha] (2014-11-03)

Created by Lefteris Mourikis (aka finrod) for **Computer Network Lab NTUA (2014)**

Flowvisor information

Flowvisor version: **flowvisor-1.4.0**

Flowvisor path: **/usr/local/sbin/flowvisor**

Flowvisor daemon status: **FlowVisor is running as PID 17498**

Debug: Text files listing

Get a list of all configuraion and status files [here](#).

Links

- Computer Network Lab NTUA
- Confluence

Σχ.2.5.4-1: Οι εντολές που χρησιμοποιούνται από τη σελίδα FlowSpaces

3. Συμπεράσματα

Σημειώνεται ότι η διαχειριστική αξία της παραπάνω περιγραφόμενης λειτουργικότητας είναι μεγάλη, ειδικά όταν πρόκειται να γίνει μία μαζική εισαγωγή νέων συσκευών. Ας υποθέσουμε ότι ένας διαχειριστής θέλει να προσθέσει 200 νέες συσκευές, εκ των οποίων οι 100 να συνδεθούν στη Διάτμηση *Alice* και οι υπόλοιπες 100 στη Διάτμηση *Bob*. Χωρίς τη χρήση του *FVSliceManager* ο διαχειριστής θα πρέπει να πληκτρολογήσει τα 200 DPIDs και στη συνέχεια να τα ενσωματώσει ως παραμέτρους σε 200 εντολές `fvctl` χρησιμοποιώντας κάποιο επεξεργαστή κειμένου. Αυτή είναι μία ιδιαίτερα χρονοφόρα διαδικασία, η οποία ενέχει τον κίνδυνο ανθρώπινου σφάλματος κατά τον πληκτρισμό των DPIDs.

Με τον *FVSliceManager* η εισαγωγή καθίσταται εύκολη υπόθεση. Πράγματι, ο διαχειριστής μέσα από το γραφικό περιβάλλον ορίζει αρχικά τη Διάτμηση *Alice* ως την προεπιλεγμένη. Στη συνέχεια συνδέει τις 100 πρώτες συσκευές που θέλει να συνδεθούν με αυτή τη Διάτμηση. Αφού αυτό γίνει και το επιβεβαιώσει με εύκολο τρόπο μέσα από το γραφικό περιβάλλον ή, αν προτιμά, μέσω του `fvctl` από τη γραμμή εντολών, αλλάζει την προεπιλεγμένη Διάτμηση σε *Bob*. Στη συνέχεια συνδέει τις υπόλοιπες 100 συσκευές και εντέλει επιβεβαιώνει ότι αυτές έχουν συνδεθεί.

Η παραπάνω διαδικασία γλιτώνει πολυτιμο χρόνο στο Διαχειριστή, τον οποίο μπορεί να αξιοποιήσει σε πολύ πιο εποικοδομητικές εργασίες από τον πληκτρισμό DPIDs. Επιπλέον, αποφεύγονται λάθη που αναπόφευκτα θα γίνουν όταν το πλήθος των DPIDs φτάνει τόσο μεγάλα νούμερα.

Παράρτημα Α: Πηγαίος κώδικας backend εφαρμογών Shell Scripts

Go.sh

```
#!/bin/bash
## Script for FVSliceManager WebUI
## This script performs all the backoffice job
## The communication between the fvctr tool and the Web UI is achieved
via simple text files
## The whole project is a quick and dirty way, that acts both as a lab
tool as well as a
## proof of concept of how a Web Interface for Flowvisor could be
constructed and act.
##
## Created by Lefteris Mourikis [l.mourikis@ctlab.gr] (Oct 2014) for
Computer Network Lab NTUA

## 0 step: Make any preparations
fvScriptsPath='/var/lib/fv-scripts'

## *** START OF LOOP ***
while [ 1 ]
do

## 1st step: Make sure flowvisor daemon is up'n'running
sudo /bin/bash `echo $fvScriptsPath`/checkFlowvisorDaemon.sh

## 2nd step: Run dumpAbout.sh
## Text files created: fv-about.txt
/bin/bash `echo $fvScriptsPath`/dumpAbout.sh

## 3rd step: Run informational scripts that read info from running
flowvisor
## dumpSlices.sh dumpSlicesDetailed.sh dumpFlowspace.sh
dumpFlowspaceRules.sh
## Text files created: slices_current.txt slices_current-nameonly.txt
Slice?.txt Slice?-FS.txt
/bin/bash `echo $fvScriptsPath`/dumpSlices.sh
/bin/bash `echo $fvScriptsPath`/dumpSlicesDetailed.sh
/bin/bash `echo $fvScriptsPath`/dumpFlowspace.sh
/bin/bash `echo $fvScriptsPath`/dumpFlowspaceRules.sh

## 4th step: Run script for Default FVSlice
```

```

## Text file read: fv-DefaultSlice.txt unknown-DPIDs-toDefaultSlice-
pending.txt
/bin/bash `echo $fvScriptsPath`/dumpUnknownDPIDs.sh
/bin/bash `echo $fvScriptsPath`/formAddUnknownDPIDs-toDefaultSlice.sh

## 5th step: Poll for any NewSlice request
## Text file read: formAddNewSlice.txt
/bin/bash `echo $fvScriptsPath`/formAddNewSlice.sh

## 6th step: Poll for any RemoveSlice request
## Text file read: formRemoveSlice.txt
/bin/bash `echo $fvScriptsPath`/formRemoveSlice.sh

## 7th step: Poll for any NewFlowSpaceRule request
## Text file read: formNewFlowSpaceRule.txt
/bin/bash `echo $fvScriptsPath`/formAddNewFlowSpaceRule.sh

## 8th step: Poll for any RemoveFlowSpaceRule request
## Text file read: formRemoveFlowSpaceRule.txt
/bin/bash `echo $fvScriptsPath`/formRemoveFlowSpaceRule.sh

## *** END OF LOOP ***
sleep 3
done

```

checkFlowvisorDaemon.sh

```

#!/bin/bash

# Check daemon status
fvDaemonStatus=$(/etc/init.d/flowvisor status | grep PID)
fvDaemonStatusLength=${#fvDaemonStatus}

if [ "$fvDaemonStatusLength" -lt 2 ]; then
# Oops! Flowvisor is not running, so let's get it started
    echo "Flowvisor seems to be stoped. Restarting it..."
    /etc/init.d/flowvisor restart
    sleep 2
##else
# We have a PID, so flowvisor is running
##    echo "Flowvisor is runing. Nothing to be done"
fi

```

dumpAbout.sh

```

#!/bin/bash

FV_TXTPATH="/var/www/txt"

# First, dump the flowvisor version
flowvisor -h 2>&1 >/dev/null | grep version | awk '{ print $3 }' >
`echo $FV_TXTPATH`/fv-about.txt.tmp

```

```

# Then dump the flowvisor path
which flowvisor >> `echo $FV_TXTPATH`/fv-about.txt.tmp

# Dump flowvisor status and PID
/etc/init.d/flowvisor status >> `echo $FV_TXTPATH`/fv-about.txt.tmp

mv `echo $FV_TXTPATH`/fv-about.txt.tmp `echo $FV_TXTPATH`/fv-
about.txt

```

dumpSlices.sh

```

#!/bin/bash

FV_TXTPATH="/var/www/txt"

# Create slices_current-nameonly.txt
fvctl --user=fvadmin --passwd-file=/var/lib/fv-scripts/fv.passwd list-
slices | grep enabled | awk '{ print $1 }' > `echo
$FV_TXTPATH`/slices_current-nameonly.txt.tmp

mv `echo $FV_TXTPATH`/slices_current-nameonly.txt.tmp `echo
$FV_TXTPATH`/slices_current-nameonly.txt

# Insert Controller and Admin contact for eaech Slice into
slices_current.txt
rm -f `echo $FV_TXTPATH`/slices_current.txt
while IFS= read -r LINE; do
    fv_CurrentAdminContact=$(fvctl --user=fvadmin --passwd-
file=/var/lib/fv-scripts/fv.passwd list-slice-info "$LINE" | grep
admin-contact | awk '{ print $2 }' | sed 's/\\,\\/g' | sed 's/\\/\\/g')
    fv_CurrentController=$(fvctl --user=fvadmin --passwd-
file=/var/lib/fv-scripts/fv.passwd list-slice-info "$LINE" | grep
controller-url | awk '{ print $2 }' | sed 's/\\,\\/g' | sed 's/\\/\\/g' |
sed 's/tcp\\:\\/g')
    echo "$LINE $fv_CurrentAdminContact $fv_CurrentController" >>
`echo $FV_TXTPATH`/slices_current.txt.tmp
done < `echo $FV_TXTPATH`/slices_current-nameonly.txt
##rm -f `echo $FV_TXTPATH`/slices_current-tmp.txt

mv `echo $FV_TXTPATH`/slices_current.txt.tmp `echo
$FV_TXTPATH`/slices_current.txt

```

dumpSlicesDetailed.sh

```

#!/bin/bash

FV_TXTPATH="/var/www/txt"

# Each Slice has its own file.
# Initializing Slice info files
rm -f `echo $FV_TXTPATH`/Slice?.txt
rm -f `echo $FV_TXTPATH`/Slice??.txt

fv_i=0;
while IFS= read -r LINE; do

```

```

    let fv_i=fv_i+1;
    fv_SliceFilename=Slice`echo $fv_i`.txt;
    fv_currentSlice=$(echo $LINE | awk '{ print $1 }');
    echo $fv_currentSlice > `echo $FV_TXTPATH`/\`echo
$fv_SliceFilename`;
    echo $LINE | awk '{ print $3}' >> `echo $FV_TXTPATH`/\`echo
$fv_SliceFilename`;
    echo $LINE | awk '{ print $2}' >> `echo $FV_TXTPATH`/\`echo
$fv_SliceFilename`;
    fvctl --user=fvadmin --passwd-file=/var/lib/fv-scripts/fv.passwd
list-slice-health $fv_currentSlice | grep -i '[0-9A-F]\{2\}\(:[0-9A-
F]\{2\}\)\{7\}' | sed 's/,//g' | sed 's/"/"/g' | awk '{ print $1 }' |
sort >> `echo $FV_TXTPATH`/\`echo $fv_SliceFilename`;
done < `echo $FV_TXTPATH`/slices_current.txt

```

dumpFlowspace.sh

```

#!/bin/bash

FV_TXTPATH="/var/www/txt"

# Each Slice has its own FS file.
# Initializing Flowspace info files
rm -f `echo $FV_TXTPATH`/Slice?-FS.txt
rm -f `echo $FV_TXTPATH`/Slice??-FS.txt

fv_i=0;
while IFS= read -r LINE; do
    let fv_i=fv_i+1;
    fv_FlowSpaceFilename=Slice`echo $fv_i`-FS.txt;
    fv_currentSlice=$(echo $LINE | awk '{ print $1 }');
    echo $fv_currentSlice > `echo $FV_TXTPATH`/\`echo
$fv_FlowSpaceFilename`;
    fvctl --user=fvadmin --passwd-file=/var/lib/fv-scripts/fv.passwd
list-flowSpace | grep $fv_currentSlice | grep force-enqueue >> `echo
$FV_TXTPATH`/\`echo $fv_FlowSpaceFilename`;
done < `echo $FV_TXTPATH`/slices_current-nameonly.txt

```

dumpFlowSpaceRules.sh

```

#!/bin/bash

FV_TXTPATH="/var/www/txt"

# List all unique flowSpace names and strip empty lines and CatchAll
fvctl --user=fvadmin --passwd-file=/var/lib/fv-scripts/fv.passwd list-
flowSpace | awk '{ print $4 }' | sort | uniq | grep -v CatchAll | grep
-e '^$' -v | sed 's/,//g' | sed 's/"/"/g' > `echo
$FV_TXTPATH`/flowSpaceNames.txt.tmp

mv `echo $FV_TXTPATH`/flowSpaceNames.txt.tmp `echo
$FV_TXTPATH`/flowSpaceNames.txt

```

dumpUnknownDPIDs.sh

```
#!/bin/bash

FV_TXTPATH="/var/www/txt"

cd `echo $FV_TXTPATH`

# Make sure knownDPIDs-temp.txt file is empty but created
rm -f knownDPIDs-temp.txt
touch knownDPIDs-temp.txt
chmod 644 knownDPIDs-temp.txt

# Find all configured Slices
ls -l Slice*.txt | grep -v FS | while read x; do
    if [ $(head -n1 $x) != "fvadmin" ]
    then
        # For all Slices, except 'fvadmin', dump DPIDs to
knownDPIDs-temp.txt
        tail -n+4 $x >> `echo $FV_TXTPATH`/knownDPIDs-temp.txt;
    else
        # For 'fvadmin' (CatchAll) Slice, dump DPIDs to allDPIDs-
temp.txt . This is ALL DPIDs, known_and_unknown ones.
        tail -n+4 $x > `echo $FV_TXTPATH`/allDPIDs-temp.txt
    fi
done

# Before we compare files with comm command, we must sort files
cat `echo $FV_TXTPATH`/knownDPIDs-temp.txt | sort > `echo
$FV_TXTPATH`/knownDPIDs-temp-sorted.txt
cat `echo $FV_TXTPATH`/allDPIDs-temp.txt | sort > `echo
$FV_TXTPATH`/allDPIDs-temp-sorted.txt

# Now, let's find the unknwn DPIDs by comparing the two created files.
comm -23 "`echo $FV_TXTPATH`/allDPIDs-temp-sorted.txt" "`echo
$FV_TXTPATH`/knownDPIDs-temp-sorted.txt" > `echo $FV_TXTPATH`/unknown-
DPIDs-toDefaultSlice-pending.txt

# Finally, cleanup temp files
rm -f `echo $FV_TXTPATH`/knownDPIDs-temp.txt
rm -f `echo $FV_TXTPATH`/allDPIDs-temp.txt
rm -f `echo $FV_TXTPATH`/knownDPIDs-temp-sorted.txt
rm -f `echo $FV_TXTPATH`/allDPIDs-temp-sorted.txt
```

formAddUnknownDPIDs-toDefaultSlice.sh

```
#!/bin/bash

FV_TXTPATH="/var/www/txt"

fvDefaultFVslice=$(head -n1 `echo $FV_TXTPATH`/fv-DefaultSlice.txt);
fvDefaultFVsliceRule=$(echo "`echo $fvDefaultFVslice`_Rule" );

fvDefaultFVsliceLength=${#fvDefaultFVslice}
if [ "$fvDefaultFVsliceLength" -gt 2 ]; then
```

```

        cat `echo $FV_TXTPATH`/unknown-DPIDs-toDefaultSlice-pending.txt
| while read x;
    do
        fvctl --user=fvadmin --passwd-file=/var/lib/fv-
scripts/fv.passwd add-flowspace `echo $fvDefaultFVSliceRule` `echo $x`
100 any `echo $fvDefaultFVSlice`=6
    done
    echo "" > `echo $FV_TXTPATH`/unknown-DPIDs-toDefaultSlice-
pending.txt
    sleep 4
fi

```

formAddNewSlice.sh

```

#!/bin/bash

FV_TXTPATH="/var/www/txt"

# Create requested slice variables
fvAddSliceRequest=$(cat `echo $FV_TXTPATH`/formAddNewSlice.txt);
#fvNewSliceName=$(echo $fvAddSliceRequest | awk '{ print $1 }');
#fvNewSliceControllerURL=$(echo $fvAddSliceRequest | awk '{ print $2
}');
#fvNewSliceAdminEmail=$(echo $fvAddSliceRequest | awk '{ print $3 }');

# Check of request file is not empty
fvRequestLength=${#fvAddSliceRequest}
if [ "$fvRequestLength" -gt 10 ]; then
# Run fvctl command
    fvctl --user=fvadmin --passwd-file=/var/lib/fv-scripts/fv.passwd
add-slice $fvAddSliceRequest
# Cleaning up request file formAddNewSlice.txt
    echo "" > `echo $FV_TXTPATH`/formAddNewSlice.txt
    sleep 4
fi

```

formRemoveSlice.sh

```

#!/bin/bash

FV_TXTPATH="/var/www/txt"

# Create requested slice variables
fvRemoveSliceRequest=$(cat `echo $FV_TXTPATH`/formRemoveSlice.txt |
head -n1);
#fvNewSliceName=$(echo $fvAddSliceRequest | awk '{ print $1 }');
#fvNewSliceControllerURL=$(echo $fvAddSliceRequest | awk '{ print $2
}');
#fvNewSliceAdminEmail=$(echo $fvAddSliceRequest | awk '{ print $3 }');

# Check of request file is not empty
fvRequestLength=${#fvRemoveSliceRequest}
if [ "$fvRequestLength" -gt 2 ]; then
# Run fvctl command

```

```

        fvctl --user=fvadmin --passwd-file=/var/lib/fv-scripts/fv.passwd
remove-slice $fvRemoveSliceRequest
# Cleaning up request file formAddNewSlice.txt
    echo "" > `echo $FV_TXTPATH`/formRemoveSlice.txt
    sleep 4
fi

```

formAddNewFlowSpaceRule.sh

```

#!/bin/bash

FV_TXTPATH="/var/www/txt"

while IFS= read -r LINE; do
    if [ ${#LINE} -gt 10 ]; then
        fvctl --user=fvadmin --passwd-file=/var/lib/fv-
scripts/fv.passwd $LINE
        ##echo "fvctl --user=fvadmin --passwd-file=/var/lib/fv-
scripts/fv.passwd $LINE"
        ##echo "Char count: ${#LINE}"
        ##echo "fvctl --user=fvadmin --passwd-file=/var/lib/fv-
scripts/fv.passwd add-flowspace `echo $LINE | sed 's/DELIMITER.*//'`"
> lakis.txt
        sleep 1
    fi
done < `echo $FV_TXTPATH`/formNewFlowSpaceRule.txt

# Cleaning up formNewFlowSpaceRule.txt
echo "" > `echo $FV_TXTPATH`/formNewFlowSpaceRule.txt

sleep 2

```

formRemoveFlowSpaceRule.sh

```

#!/bin/bash

FV_TXTPATH="/var/www/txt"

# Read request file
fvFlowSpaceToRemove=$(cat `echo
$FV_TXTPATH`/formRemoveFlowSpaceRule.txt | head -n1);

# Check of request file is not empty
fvFlowSpaceToRemoveLength=${#fvFlowSpaceToRemove}
if [ "$fvFlowSpaceToRemoveLength" -gt 2 ]; then
# Run fvctl command
    fvctl --user=fvadmin --passwd-file=/var/lib/fv-scripts/fv.passwd
remove-flowspace $fvFlowSpaceToRemove
# Cleaning up request file formAddNewSlice.txt
    echo "" > `echo $FV_TXTPATH`/formRemoveFlowSpaceRule.txt
    sleep 4
fi

```

Παράρτημα Β: Πηγαίος κώδικας Διαδικτυακής εφαρμογής FVSliceManager

index.php

```
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" style="height: 100%;"><!--
InstanceBegin template="/Templates/MainTemplate.dwt"
codeOutsideHTMLOIsLocked="false" -->
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
<!-- InstanceBeginEditable name="doctitle" -->
<title>FVSliceManager Stats</title>
<!-- InstanceEndEditable -->
<!-- InstanceBeginEditable name="head" -->
<!-- InstanceEndEditable -->
<style type="text/css">
body,td,th {
    font-family: Tahoma, Geneva, sans-serif;
    font-size: 12px;
    color: #000;
}
body {
    background-color: #EEE;
    margin-left: 0px;
    margin-top: 0px;
    margin-right: 0px;
    margin-bottom: 0px;
}
h1,h2,h3,h4,h5,h6 {
    font-weight: bold;
}
h1 {
    font-size: 16px;
    color: #036;
}
h2 {
    font-size: 14px;
    color: #069;
}
h3 {
    font-size: 12px;
    color: #09C;
}
</style>
<link href="css/site.css" rel="stylesheet" type="text/css" />
</head>

<body style="height: 100%;">
```



```

<table align="center" width="780" style="height:100%; border=0;
cellpadding:0; cellspacing:4; background-color:white">
  <tr>
    <td height="50" align="left" valign="middle" bgcolor="#CCFF33">
      <table width="750" border="0" align="center" cellpadding="0"
cellspacing="0">
        <tr>
          <td width="150" align="center" valign="middle"><a
href="index.php" class="menuLinks"></a> </td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="fvsllices.php" class="menuLinks"></a><a href="index.php"
class="menuLinks">Stats</a></h1></td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="flowspace.php" class="menuLinks"></a><a href="fvsllices.php"
class="menuLinks">FVSLices</a></h1></td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="help.php" class="menuLinks"></a><a href="flowspace.php"
class="menuLinks">FlowSpace</a></h1></td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="about.php" class="menuLinks"></a><a href="help.php"
class="menuLinks">Help</a></h1></td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><a
href="about.php" class="menuLinks">About</a></td>
        </tr>
      </table></td>
    </tr>
    <tr>
      <td align="center" valign="middle" class="MainCellBgImage">
        <table width="100%" border="0" cellspacing="0" cellpadding="20">
          <tr>
            <td>
              <!-- InstanceBeginEditable name="EditRegion1_Main" -->
              <h1>Stats</h1>
              <p>Display general statistics information.</p>
              <h2>FVSLices</h2>
              <p>This is the list of the currently configured FVSLices.</p>
              <table width="600" border="0" cellpadding="0" cellspacing="0">
                <tr class="row">
                  <td width="40" align="left"><strong>No</strong></td>
                  <td width="300" align="left"><strong>Name</strong></td>
                  <td width="260"
align="left"><strong>Controller</strong></td>
                  <td width="260" align="left"><strong>Admin
contact</strong></td>
                </tr>
              <?php
                $i=0;
                $handle = fopen("txt/slices_current.txt", "r");
              if ($handle) {
                while (($line = fgets($handle)) !== false) {
                  $i++;
                  // process the line read.
                  $cols = explode(' ', $line);
                  //print("C1:" . $cols[0] . " C2:" . $cols[1] . "<br />"); ?>
                  <tr class="row">
                    <td align="left"><?php print($i); ?></td>

```

```

        <td align="left"><?php print($cols[0]); ?></td>
        <td align="left"><?php print($cols[2]); ?></td>
        <td align="left"><?php print($cols[1]); ?></td>
    </tr>
    <?php
    }
} else {
    // error opening the file.
}
fclose($handle); ?>
</table>
<blockquote>
    <h3>Hint</h3>
    <p>Commands involved to extract info on this page:</p>
    <ul>
        <li>fvctl list-slices</li>
        <li>fvctl list-slice-info &lt;SliceName&gt;
            <ul>
                <li>Example: fvctl list-slice-info fvadmin</li>
            </ul>
        </li>
    </ul>
</blockquote>
<h2>FlowSpace</h2>
<p>Display FlowSpace info - Not yet decided exactly what info
should be placed here. In the end, maybe nothing! :)</p>
    <!-- InstanceEndEditable -->
</td>
</tr>
</table>
</tr>
<tr>
    <td height="20" align="center">Created by Lefteris Mourikis (aka
finrod) for <a href="http://www.cn.ntua.gr/" target="_blank">Computer
Network Lab NTUA</a> (2014)</td>
</tr>
</table>
</body>
<!-- InstanceEnd --></html>

```

fvsllices.php

```

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" style="height: 100%;"><!--
InstanceBegin template="/Templates/MainTemplate.dwt"
codeOutsideHTMLIsLocked="false" -->
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
<!-- InstanceBeginEditable name="doctitle" -->
<title>FVSliceManager FVSlices</title>
<!-- InstanceEndEditable -->
<!-- InstanceBeginEditable name="head" -->
<script src="SpryAssets/SpryValidationTextField.js"
type="text/javascript"></script>
<link href="SpryAssets/SpryValidationTextField.css" rel="stylesheet"
type="text/css" />

```

```

<!-- InstanceEndEditable -->
<style type="text/css">
body,td,th {
    font-family: Tahoma, Geneva, sans-serif;
    font-size: 12px;
    color: #000;
}
body {
    background-color: #EEE;
    margin-left: 0px;
    margin-top: 0px;
    margin-right: 0px;
    margin-bottom: 0px;
}
h1,h2,h3,h4,h5,h6 {
    font-weight: bold;
}
h1 {
    font-size: 16px;
    color: #036;
}
h2 {
    font-size: 14px;
    color: #069;
}
h3 {
    font-size: 12px;
    color: #09C;
}
</style>
<link href="css/site.css" rel="stylesheet" type="text/css" />
</head>

<body style="height: 100%;">
<table align="center" width="780" style="height:100%; border=0;
cellpadding:0; cellspacing:4; background-color:white">
<tr>
<td height="50" align="left" valign="middle" bgcolor="#CCFF33">
<table width="750" border="0" align="center" cellpadding="0"
cellspacing="0">
<tr>
<td width="150" align="center" valign="middle"><a
href="index.php" class="menuLinks"></a> </td>
<td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="fvslices.php" class="menuLinks"></a><a href="index.php"
class="menuLinks">Stats</a></h1></td>
<td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="flowspace.php" class="menuLinks"></a><a href="fvslices.php"
class="menuLinks">FVSlices</a></h1></td>
<td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="help.php" class="menuLinks"></a><a href="flowspace.php"
class="menuLinks">FlowSpace</a></h1></td>
<td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="about.php" class="menuLinks"></a><a href="help.php"
class="menuLinks">Help</a></h1></td>

```

```

        <td width="120" align="center" valign="middle"><a
href="about.php" class="menuLinks">About</a></td>
    </tr>
</table></td>
</tr>
<tr>
    <td valign="top" class="MainCellBgImage">
        <table width="100%" border="0" cellspacing="0" cellpadding="20">
            <tr>
                <td>
                    <!-- InstanceBeginEditable name="EditRegion1_Main" -->
                    <h1>FVSlices</h1>
                    <p>Display and manage FVSlices.
<?php
$i=0;
$handle = fopen("txt/slices_current.txt", "r");
if ($handle) {
    while (($line = fgets($handle)) !== false) {
        $i++;
    }
} else {
    // error opening the file.
}
fclose($handle);
$totalSlices = $i;
?><?php
$handle = fopen("txt/fv-DefaultSlice.txt", "r");
$fvDefaultSlice = "";
if ($handle) { $fvDefaultSlice = fgets($handle);
} else {
    // error opening the file.
}
fclose($handle);
?>
                </p>
                <h2>Summary</h2>
                <p>Summary information for Flowvisor Slices (FVSlices). Se below for
detailed info for each individual FVSlice.</p>
                <p><strong>Total number of FVSlices:</strong> <?php print($i); ?><br /
>
                <strong>Name of Default FVSlice for unknown DPIDs:</strong> <?php
print($fvDefaultSlice); ?>
                <p><br />
                <h2>Add new FVSlice</h2>
                <form action="fvslicesAddNewSlice.php" method="post"
name="formAddNewSlice" target="_self" id="formAddNewSlice">
                    <span id="fvNewSliceName_spry">
                        <label for="fvNewSliceName">Slice Name:</label>
                        <input name="fvNewSliceName" type="text" class="FormFiledsl"
id="fvNewSliceName" tabindex="1" size="10" />
                        <span class="textfieldRequiredMsg">A value is required.</span><span
class="textfieldMinCharsMsg">Minimum number of characters not
met.</span><span class="textfieldMaxCharsMsg">Exceeded maximum number
of characters.</span></span> <span id="fvNewSliceControllerURL_spry">
                        <label for="fvNewSliceControllerURL2">Controller URL:</label>
                        <input name="fvNewSliceControllerURL" type="text"
class="FormFiledsl" id="fvNewSliceControllerURL2" tabindex="2"
size="18" />

```

```

    <span class="textfieldRequiredMsg">A value is required.</span><span
class="textfieldMinCharsMsg">Minimum number of characters not
met.</span></span>
<span id="fvNewSliceAdminEmail_spry">
<label for="fvNewSliceAdminEmail2">Admin Email:</label>
<input name="fvNewSliceAdminEmail" type="text" class="FormFiledsl"
id="fvNewSliceAdminEmail2" tabindex="3" size="14" />
<span class="textfieldRequiredMsg">A value is required.</span><span
class="textfieldInvalidFormatMsg">Please enter a valid email
address.</span><span class="textfieldMinCharsMsg">Minimum number of
characters not met.</span></span>
    <span id="sprytextfield4">
    <label for="fvNewSlicePassword">Password:</label>
    <input name="fvNewSlicePassword" type="text" class="FormFiledsl"
id="fvNewSlicePassword" tabindex="3" size="6" />
    <span class="textfieldRequiredMsg">A value is required.</span><span
class="textfieldMinCharsMsg">Minimum number of characters not
met.</span></span>
    <input name="SubmitButton" type="submit" class="FormFiledsl"
id="SubmitButton" value="Add" />
    <br />
    <p>Example: <strong>Slice Name:</strong> <em>MySlice</em>
<strong>Controler URL:</strong> <em>192.168.1.1:6633</em>
<strong>Admin Emai:</strong> <em>myself@somewhere.com</em>
<strong>Password:</strong> <em>mypass</em></p>
</form><br />
<h2>Remove existing FVSlice</h2>
<p>Select FVSlice to remove. Note that you cannot remove Default Slice
(set Default Slice at the FlowSpace page).</p>
<form action="fvsllicesRemoveSlice.php" method="post"
name="formRemoveSlice" target="_self" id="formRemoveSlice">
<?php
$handleDefaultSliceName = fopen("txt/fv-DefaultSlice.txt", "r");
if ($handleDefaultSliceName) {
    $defaultSliceName = fgets($handleDefaultSliceName);
} else {
    // error opening the file.
    $defaultSliceName = "";
}
fclose($handleDefaultSliceName);
?>
<?php
$handle = fopen("txt/slices_current-nameonly.txt", "r");
if ($handle) {
?>
    <label for="fvSliceNameToRemove">Slice to remove:</label>
    <select name="fvSliceNameToRemove" class="FormFiledsl"
id="fvSliceNameToRemove">
<?php
    while (($line = fgets($handle)) !== false) {
        if (($line <> "fvadmin\n") && ($line <> $defaultSliceName))
    {
?>
        <option value="<?php print($line); ?>"><?php print($line);
?></option>
<?php
    }
}
}

```

```

} else {
    // error opening the file.
}
fclose($handle);
$totalSlices = $i;
?>
</select>
<input name="SubmitButton" type="submit" class="FormFields1"
id="SubmitButton" value="Remove" />
</form>
<br />
<blockquote>
    <h3>Hint</h3>
    <p>Flowvisor uses the term &quot;Slice&quot; to define a topology (a
set of DPIDs) that is connected to an OpenFlow controller. However,
this is not to be confused with the OpenFlow slices! OpenFlow uses the
same term &quot;Slice&quot; to define the portion of a network that is
isolated from the rest of the network and is defined by a set of
rules, called &quot;Flows&quot;. To avoid the confusion between
Flowvisor Slices and OpenFlow Slices, we use the term FVSlice, so that
is clear that we refer to the Flowvisor term.</p>
    <h3>Hint</h3>
    <p>Keep in mind that we use slice &quot;fvadmin&quot; as a CatchAll
pool for all connected devices. This is achieved by a single FlowSpace
rule for fvadmin that matches any DPIDs (<i>all_dpids</i>). Then, we
use this information in order to redirect any &quot;unknown&quot; DPID
to the Default slice. Note that Flowvisor does not support anything
like "Default slice". So, we had to implement this functionality by
ourselves and thus we need this pool of all connected DPIDs. However,
as we have not connected fvadmin slice to any OpenFlow controller
(observe that Controller is set to none:0) this has no actual effect
on Flowvisor's functionality.</p>
</blockquote>
<p>&nbsp;</p>
<?php
for ($x=1; $x<=$totalSlices; $x++) {
    $handle = fopen("txt/Slice" . $x . ".txt", "r");
    //print("txt/Slice" . $x . ".txt");
    if ($handle) {
?>
    <h2><strong>Slice:</strong> <?php $line = fgets($handle);
print($line); ?></h2>
    <p><strong>Controller:</strong> <?php $line = fgets($handle);
print($line); ?><br />
    <strong>Admin contact:</strong> <?php $line = fgets($handle);
print($line); ?><br />
    <strong>Devices list (DPIDs):</strong><br />
    <table width="200" border="0" cellpadding="0" cellspacing="0">
<?php $i=0; while (($line = fgets($handle)) !== false) { ?>
        <tr class="row">
            <td width="200" align="left"><span
class="ParagraphCode"><?php $i++; print($line); ?></span></td>
        </tr>
<?php } ?>
    </table>
    Total DPIDs population on this slice: <?php print($i); ?><br
/><br /><br />
</p>

```

```

<?php
    } else {
        // error opening the file.
    }
}
fclose($handle);
?>

<p>&nbsp;</p>
<script type="text/javascript">
var sprytextfield1 = new
Spry.Widget.ValidationTextField("fvNewSliceName_spry", "none",
{minChars:3, maxChars:20});
var sprytextfield2 = new
Spry.Widget.ValidationTextField("fvNewSliceControllerURL_spry",
"none", {minChars:5});
var sprytextfield3 = new
Spry.Widget.ValidationTextField("fvNewSliceAdminEmail_spry", "email",
{minChars:3});
var sprytextfield4 = new
Spry.Widget.ValidationTextField("sprytextfield4", "none",
{minChars:3});
</script>
        <!-- InstanceEndEditable -->
    </td>
</tr>
</table>
</tr>
<tr>
    <td height="20" align="center">Created by Lefteris Mourikis (aka
finrod) for <a href="http://www.cn.ntua.gr/" target="_blank">Computer
Network Lab NTUA</a> (2014)</td>
</tr>
</table>
</body>
<!-- InstanceEnd --></html>

```

fvsllicesAddNewSlice.php

```

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" style="height: 100%;"><!--
InstanceBegin template="/Templates/MainTemplate.dwt"
codeOutsideHTMLOIsLocked="false" -->
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
<!-- InstanceBeginEditable name="doctitle" -->
<title>New Slice Submit</title>
<!-- InstanceEndEditable -->
<!-- InstanceBeginEditable name="head" -->
<!-- InstanceEndEditable -->
<style type="text/css">

```

```

body,td,th {
    font-family: Tahoma, Geneva, sans-serif;
    font-size: 12px;
    color: #000;
}
body {
    background-color: #EEE;
    margin-left: 0px;
    margin-top: 0px;
    margin-right: 0px;
    margin-bottom: 0px;
}
h1,h2,h3,h4,h5,h6 {
    font-weight: bold;
}
h1 {
    font-size: 16px;
    color: #036;
}
h2 {
    font-size: 14px;
    color: #069;
}
h3 {
    font-size: 12px;
    color: #09C;
}
</style>
<link href="css/site.css" rel="stylesheet" type="text/css" />
</head>

<body style="height: 100%;">
<table align="center" width="780" style="height:100%; border=0;
cellpadding:0; cellspacing:4; background-color:white">
<tr>
<td height="50" align="left" valign="middle" bgcolor="#CCFF33">
<table width="750" border="0" align="center" cellpadding="0"
cellspacing="0">
<tr>
<td width="150" align="center" valign="middle"><a
href="index.php" class="menuLinks"></a> </td>
<td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="fvslices.php" class="menuLinks"></a><a href="index.php"
class="menuLinks">Stats</a></h1></td>
<td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="flowspace.php" class="menuLinks"></a><a href="fvslices.php"
class="menuLinks">FVSlices</a></h1></td>
<td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="help.php" class="menuLinks"></a><a href="flowspace.php"
class="menuLinks">FlowSpace</a></h1></td>
<td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="about.php" class="menuLinks"></a><a href="help.php"
class="menuLinks">Help</a></h1></td>
<td width="120" align="center" valign="middle"><a
href="about.php" class="menuLinks">About</a></td>
</tr>

```



```

        </table></td>
</tr>
<tr>
    <td valign="top" class="MainCellBgImage">
        <table width="100%" border="0" cellspacing="0" cellpadding="20">
            <tr>
                <td>
                    <!-- InstanceBeginEditable name="EditRegion1_Main" -->
                    <h1>New Slice Submit</h1>
<?php
// Let's strip any whitespaces. The rest of the checks will be
performed by the bash script
$fvNewSliceName = str_replace(' ', '', $_POST["fvNewSliceName"]);
$fvNewSliceControllerURL = str_replace(' ', '',
$_POST["fvNewSliceControllerURL"]);
$fvNewSliceAdminEmail = str_replace(' ', '',
$_POST["fvNewSliceAdminEmail"]);
$fvNewSlicePassword = str_replace(' ', '',
$_POST["fvNewSlicePassword"]);
// Now we open our file for writing
$handle = fopen("txt/formAddNewSlice.txt", "w");
if ($handle) {
    fwrite($handle, "--password=" . $fvNewSlicePassword . " " .
$fvNewSliceName . " tcp:" . $fvNewSliceControllerURL . " " .
$fvNewSliceAdminEmail . "\n");
?>
                <p>New slice succesfully submitted. Please allow system
at least 10 seconds to
                insert your newly created slice.</p>
                <p><a href="fvsllices.php" target="_self">Return to
FVSlices page</a></p>
                <blockquote>
                    <h3>Hint</h3>
                    <p>Command submitted:</p>
                    <ul>
                        <li>fvctl add-slice --password=<?php
print($fvNewSlicePassword); ?> <?php print($fvNewSliceName); ?> <?php
print($fvNewSliceControllerURL); ?> <?php
print($fvNewSliceAdminEmail); ?></li>
                    </ul>
                    <p>&nbsp;</p>
                </blockquote>
<?php } else {
// error opening the file.
?>
                We are very sorry. There was a problem submitting your request.
Please contact your technical administrator.
<?php
}
fclose($handle);
?>
                    <!-- InstanceEndEditable -->
                </td>
            </tr>
        </table>
    </tr>
</tr>
<tr>

```

```

        <td height="20" align="center">Created by Lefteris Mourikis (aka
        finrod) for <a href="http://www.cn.ntua.gr/" target="_blank">Computer
        Network Lab NTUA</a> (2014)</td>
    </tr>
</table>
</body>
<!-- InstanceEnd --></html>

```

fvslicesRemoveSlice.php

```

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" style="height: 100%;"><!--
InstanceBegin template="/Templates/MainTemplate.dwt"
codeOutsideHTMLOIsLocked="false" -->
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
<!-- InstanceBeginEditable name="doctitle" -->
<title>Remove Slice Submit</title>
<!-- InstanceEndEditable -->
<!-- InstanceBeginEditable name="head" -->
<!-- InstanceEndEditable -->
<style type="text/css">
body,td,th {
    font-family: Tahoma, Geneva, sans-serif;
    font-size: 12px;
    color: #000;
}
body {
    background-color: #EEE;
    margin-left: 0px;
    margin-top: 0px;
    margin-right: 0px;
    margin-bottom: 0px;
}
h1,h2,h3,h4,h5,h6 {
    font-weight: bold;
}
h1 {
    font-size: 16px;
    color: #036;
}
h2 {
    font-size: 14px;
    color: #069;
}
h3 {
    font-size: 12px;
    color: #09C;
}
</style>
<link href="css/site.css" rel="stylesheet" type="text/css" />
</head>

<body style="height: 100%;">
<table align="center" width="780" style="height:100%; border=0;
cellpadding:0; cellspacing:4; background-color:white">

```

```

<tr>
  <td height="50" align="left" valign="middle" bgcolor="#CCFF33">
    <table width="750" border="0" align="center" cellpadding="0"
cellspacing="0">
      <tr>
        <td width="150" align="center" valign="middle"><a
href="index.php" class="menuLinks"></a> </td>
        <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="fvsllices.php" class="menuLinks"></a><a href="index.php"
class="menuLinks">Stats</a></h1></td>
        <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="flowspace.php" class="menuLinks"></a><a href="fvsllices.php"
class="menuLinks">FVSllices</a></h1></td>
        <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="help.php" class="menuLinks"></a><a href="flowspace.php"
class="menuLinks">FlowSpace</a></h1></td>
        <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="about.php" class="menuLinks"></a><a href="help.php"
class="menuLinks">Help</a></h1></td>
        <td width="120" align="center" valign="middle"><a
href="about.php" class="menuLinks">About</a></td>
      </tr>
    </table></td>
  </tr>
  <tr>
    <td valign="top" class="MainCellBgImage">
      <table width="100%" border="0" cellspacing="0" cellpadding="20">
        <tr>
          <td>
            <!-- InstanceBeginEditable name="EditRegion1_Main" -->
            <h1>Remove existing Slice Submit</h1>
            <?php
$fvSliceNameToRemove = str_replace(' ', '',
$_POST["fvSliceNameToRemove"]);
// Perform some further cleanup to our variable (CR LF removal, etc)
$fvSliceNameToRemove= str_replace (array("\r\n", "\n", "\r"), ' ',
$fvSliceNameToRemove);
// Now we open our file for writing
$handle = fopen("txt/formRemoveSlice.txt", "w");
if ($handle) {
    fwrite($handle, $fvSliceNameToRemove . "\n");
?>
            <p>Slice removal succesfully submitted. Please allow system
at least 10 seconds to
            remove the slice.</p>
            <p><a href="fvsllices.php" target="_self">Return to
FVSllices page</a></p>
            <blockquote>
              <h3>Hint</h3>
              <p>Command submitted:</p>
              <ul>
                <li>fvctl remove-slice <?php
print($_POST["fvSliceNameToRemove"]); ?></li>
              </ul>
              <p>&nbsp;</p>
            </blockquote>
          </td>
        </tr>
      </table>
    </td>
  </tr>

```

```

                <?php } else {
// error opening the file.
?>
We are very sorry. There was a problem submitting your request. Please
contact your technical administrator.
<?php
}
fclose($handle);
?>
                <!-- InstanceEndEditable -->
                </td>
            </tr>
        </table>
    </tr>
    <tr>
        <td height="20" align="center">Created by Lefteris Mourikis (aka
finrod) for <a href="http://www.cn.ntua.gr/" target="_blank">Computer
Network Lab NTUA</a> (2014)</td>
    </tr>
</table>
</body>
<!-- InstanceEnd --></html>

```

flowspace.php

```

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" style="height: 100%;"><!--
InstanceBegin template="/Templates/MainTemplate.dwt"
codeOutsideHTMLOIsLocked="false" -->
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
<!-- InstanceBeginEditable name="doctitle" -->
<title>FVSliceManager Flowspace</title>
<!-- InstanceEndEditable -->
<!-- InstanceBeginEditable name="head" -->
<script src="SpryAssets/SpryValidationTextField.js"
type="text/javascript"></script>
<script src="SpryAssets/SpryValidationTextarea.js"
type="text/javascript"></script>
<link href="SpryAssets/SpryValidationTextField.css" rel="stylesheet"
type="text/css" />
<link href="SpryAssets/SpryValidationTextarea.css" rel="stylesheet"
type="text/css" />
<!-- InstanceEndEditable -->
<style type="text/css">
body,td,th {
    font-family: Tahoma, Geneva, sans-serif;
    font-size: 12px;
    color: #000;
}
body {
    background-color: #EEE;
    margin-left: 0px;
    margin-top: 0px;
    margin-right: 0px;
    margin-bottom: 0px;
}

```

```

}
h1,h2,h3,h4,h5,h6 {
    font-weight: bold;
}
h1 {
    font-size: 16px;
    color: #036;
}
h2 {
    font-size: 14px;
    color: #069;
}
h3 {
    font-size: 12px;
    color: #09C;
}
</style>
<link href="css/site.css" rel="stylesheet" type="text/css" />
</head>

<body style="height: 100%;">
<table align="center" width="780" style="height:100%; border=0;
cellpadding:0; cellspacing:4; background-color:white">
  <tr>
    <td height="50" align="left" valign="middle" bgcolor="#CCFF33">
      <table width="750" border="0" align="center" cellpadding="0"
cellspacing="0">
        <tr>
          <td width="150" align="center" valign="middle"><a
href="index.php" class="menuLinks"></a> </td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="fvsllices.php" class="menuLinks"></a><a href="index.php"
class="menuLinks">Stats</a></h1></td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="flowspace.php" class="menuLinks"></a><a href="fvsllices.php"
class="menuLinks">FVSllices</a></h1></td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="help.php" class="menuLinks"></a><a href="flowspace.php"
class="menuLinks">FlowSpace</a></h1></td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="about.php" class="menuLinks"></a><a href="help.php"
class="menuLinks">Help</a></h1></td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><a
href="about.php" class="menuLinks">About</a></td>
        </tr>
      </table></td>
    </tr>
    <tr>
      <td valign="top" class="MainCellBgImage">
        <table width="100%" border="0" cellspacing="0" cellpadding="20">
          <tr>
            <td>
              <!-- InstanceBeginEditable name="EditRegion1_Main" -->
              <h1>FlowSpaces</h1>
              <p>Display and manage FlowSpaces</p>
              <h2>Existing FlowSpace</h2>

```

```

<?php
$totalNumberOfRules = 0;
$handleRules = fopen("txt/flowspaceNames.txt", "r");
if ($handleRules) { ?>List of available FlowSpace. Note that
    &quot;CatchAll&quot;; is not included, neither it is offered to be
    managed.
    <ul>
<?php
    while (($line = fgets($handleRules)) !== false) {
        $totalNumberOfRules++;
        ?>
        <li><?php print($line); ?></li>
    <?php
    } ?>
    </ul>
    <?php
} else {
    // error opening the file.
}
fclose($handleRules);
?>
    <p>&nbsp;</p>
    <h2>Add FlowSpace Rule</h2>
    <form action="flowspaceAddFlowSpace.php" method="post"
name="formAddFlowSpace" target="_self" id="formAddFlowSpace">
        <span id="sprytextfield3">
            <label for="fvAddFlowSpaceName">FlowSpace Name:</label>
            <input name="fvAddFlowSpaceName" type="text"
class="FormFiledsl" id="fvAddFlowSpaceName" tabindex="1" />
            (type an existing or a new name)<br /><br />
            <span class="textfieldRequiredMsg">A value is
required.</span><span class="textfieldMinCharsMsg">Minimum number of
characters not met.</span><span class="textfieldMaxCharsMsg">Exceeded
maximum number of characters.</span></span> <span id="sprytextareal">
            <label for="fvAddFlowSpaceDPIDs">List of DPIDs (one DPID per
line):</label>
            <br />
<textarea name="fvAddFlowSpaceDPIDs" cols="24" rows="5"
class="FormFiledsl" id="fvAddFlowSpaceDPIDs" tabindex="2"></textarea>
            <span class="textareaRequiredMsg">A value is
required.</span><span class="textareaMaxCharsMsg">Exceeded maximum
number of characters.</span></span>
            <br /><br />
            <span id="sprytextfield1">
            <label for="fvAddFlowSpacePriority">Priority (1-
10000):</label>
            <input name="fvAddFlowSpacePriority" type="text"
class="FormFiledsl" id="fvAddFlowSpacePriority" tabindex="3"
value="10" size="6" maxlength="6" />
            <span class="textfieldRequiredMsg">A value is
required.</span><span class="textfieldInvalidFormatMsg">Invalid
format.</span><span class="textfieldMinValueMsg">The entered value is
less than the minimum required.</span><span
class="textfieldMaxValueMsg">The entered value is greater than the
maximum allowed.</span><span class="textfieldMinCharsMsg">Minimum
number of characters not met.</span></span>
            <span id="sprytextfield2">
            <label for="fvAddFlowSpaceMatch">Match:</label>

```

```

        <input name="fvAddFlowSpaceMatch" type="text"
class="FormFiledsl" id="fvAddFlowSpaceMatch" tabindex="4" value="any"
size="15" />
        <span class="textfieldRequiredMsg">A value is
required.</span><span class="textfieldMinCharsMsg">Minimum number of
characters not met.</span></span>
        <label for="fvAddFlowSpaceFVSlice"><br /><br />
        FVSlice to add rule to:</label>
        <select name="fvAddFlowSpaceFVSlice" class="FormFiledsl"
id="fvAddFlowSpaceFVSlice" tabindex="5">
        <?php
// First we need to count how many slices we have. We take that info
from file slices_current-nameonly.txt
// Also, we use this info to fill the fvAddFlowSpaceName menu item in
our form.
$totalNumberOfSlices = 0;
$handleSlices = fopen("txt/slices_current-nameonly.txt", "r");
if ($handleSlices) {
    while (($line = fgets($handleSlices)) !== false) {
        $totalNumberOfSlices++;
        ?>
        <?php if ($line <> "fvadmin\n") { ?>
        <option value="<?php print($line); ?><?php if
($totalNumberOfSlices == 1) { print(" selected=\"selected\"); }
?>"><?php print($line); ?></option>
        <?php } ?>
        <?php }
    } else {
        // error opening the file.
    }
}
fclose($handleSlices);
?>
        </select>
        <label for="fvAddFlowSpacePermission">Slice
permissions:</label>
        <select name="fvAddFlowSpacePermission" class="FormFiledsl"
id="fvAddFlowSpacePermission" tabindex="6">
        <option value="1">1 (Delegate)</option>
        <option value="2">2 (Read)</option>
        <option value="4">4 (Write)</option>
        <option value="3">3 (Delegate+Read)</option>
        <option value="5">5 (Delegate+Write)</option>
        <option value="6" selected="selected">6
(Read+Write)</option>
        <option value="7">7 (All)</option>
        </select>
        <br />
        <br />
<input name="fvAddFlowSpaceSubmit" type="submit" class="FormFiledsl"
id="fvAddFlowSpaceSubmit" tabindex="7" value="Add" />
</form>
<p>
</p><br /><p>&nbsp;</p>
<h2>Remove existing FlowSpace </h2>
<p>Note you cannot remove the &quot;CatchAll&quot;
FlowSpace.</p>
        <form action="flowSpaceRemoveFlowSpace.php" method="post"
name="fvRemoveFlowSpace" target="_self" id="fvRemoveFlowSpace">

```

```

        <label for="fvFlowSpaceToRemove">FlowSpace to remove:</label>
        <select name="fvFlowSpaceToRemove" class="FormFiledsl"
id="fvFlowSpaceToRemove" tabindex="1">
<?php
$handleRules2 = fopen("txt/flowspaceNames.txt", "r");
if ($handleRules2) { ?>
<?php
$totalNumberOfSlices2 = 0;
    while (($line = fgets($handleRules2)) !== false) {
        $totalNumberOfSlices2++;
        ?>
        <option value="<?php print($line); ?><?php if
($totalNumberOfRules2 == 1) { print(" selected=\"selected\"); }
?>"><?php print($line); ?></option>
        <?php
    }
} else {
    // error opening the file.
}
fclose($handleRules2);
?>

</select>
<input name="RemoveFlowspaceSubmit" type="submit"
class="FormFiledsl" id="RemoveFlowspaceSubmit" tabindex="2"
value="Remove" />
</form>
<br />
<p>&nbsp;</p>
<h2>Set Default Slice </h2>
<p>Set the Slice that will be the Default
for any unknown DPIDs.</p>
<?php
$handleExistingDefaultSliceName = fopen("txt/fv-DefaultSlice.txt",
"r");
if ($handleExistingDefaultSliceName) {
    $existingDefaultSliceName =
fgets($handleExistingDefaultSliceName);
} else {
    // error opening the file.
    $existingDefaultSliceName = "";
}
fclose($handleExistingDefaultSliceName);
?>

<p>Current Default Slice: <strong><?php
print($existingDefaultSliceName); ?></strong></p>
<form action="flowspaceSetNewDefaultSlice.php" method="post"
name="fvSetDefaultSlice" target="_self" id="fvSetDefaultSlice">
<label for="fvNewDefaultSlice">Set new Defalut Slice: </label>
<select name="fvNewDefaultSlice" class="FormFiledsl"
id="fvNewDefaultSlice" tabindex="1">
<?php
$existingDefaultSliceName = str_replace(' ', '',
$existingDefaultSliceName) . "\n";
$handleSetNewDefaultSlice = fopen("txt/slices_current-nameonly.txt",
"r");
if ($handleSetNewDefaultSlice) {
    while (($line = fgets($handleSetNewDefaultSlice)) !== false) {

```



```

                if (($line <> "fvadmin\n") && ($line <>
$existingDefaultSliceName)) {
?>
                <option value="<?php print($line); ?>"><?php print($line);
?></option>
<?php
                }
        }
    } else {
        // error opening the file.
    }
fclose($handleSetNewDefaultSlice);
?>
        </select>
        <input name="SetNewDefaultSlice" type="submit"
class="FormFiledsl" id="SetNewDefaultSlice" tabindex="2" value="Set"
/>
        </form>
        <p>&nbsp;</p>
        <p>&nbsp;</p>
        <p>
            <?php
for ($x=1; $x<=$totalNumberOfSlices; $x++) {
    $handle = fopen("txt/Slice" . $x . "-FS.txt", "r");
    if ($handle) {
        $line = fgets($handle); ?>
        </p>
        <p>&nbsp;</p>
        <h2>Slice: <?php print($line); ?></h2>
        <table width="700" border="0" cellspacing="0" cellpadding="0">
<?php
            $i=0;
            while (($line = fgets($handle)) !== false) { ?>
                <tr class="row">
                    <td><?php $i++; print($line . "<br />"); ?></td>
                </tr>
<?php
            }
?>
        </table>
<?php
        print("<br />");
        print("<strong>Total Flowspaces population on this
slice:</strong> " . $i . "<br /><br />");
        } else {
            // error opening the file.
        }
    }
fclose($handle); ?>
        <blockquote>
            <h3>Hint</h3>
            <p>Commands involved to extract info on this page: </p>
            <ul>
                <li>fvctl list-flowspace</li>
            </ul>
            <p>Commands involved to manage FlowSpace rules through this
page:</p>
            <ul>

```

```

        <li>fvctl add-flowspace</li>
        <li>fvctl remove-flowspace</li>
    </ul>
</blockquote>
<script type="text/javascript">
var sprytextareal = new
Spry.Widget.ValidationTextArea("sprytextareal", {minChars:0,
maxChars:500});
var sprytextfield1 = new
Spry.Widget.ValidationTextField("sprytextfield1", "integer",
{minValue:1, maxValue:10000, minChars:1});
var sprytextfield2 = new
Spry.Widget.ValidationTextField("sprytextfield2", "none",
{minChars:1});
var sprytextfield3 = new
Spry.Widget.ValidationTextField("sprytextfield3", "none", {minChars:3,
maxChars:20});
</script>
        <!-- InstanceEndEditable -->
    </td>
</tr>
</table>
</tr>
<tr>
    <td height="20" align="center">Created by Lefteris Mourikis (aka
finrod) for <a href="http://www.cn.ntua.gr/" target="_blank">Computer
Network Lab NTUA</a> (2014)</td>
</tr>
</table>
</body>
<!-- InstanceEnd --></html>

```

flowspaces.php

```

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" style="height: 100%;"><!--
InstanceBegin template="/Templates/MainTemplate.dwt"
codeOutsideHTMLOIsLocked="false" -->
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
<!-- InstanceBeginEditable name="doctitle" -->
<title>FVSliceManager Flowspaces</title>
<!-- InstanceEndEditable -->
<!-- InstanceBeginEditable name="head" -->
<script src="SpryAssets/SpryValidationTextField.js"
type="text/javascript"></script>
<link href="SpryAssets/SpryValidationTextField.css" rel="stylesheet"
type="text/css" />
<!-- InstanceEndEditable -->
<style type="text/css">
body,td,th {
    font-family: Tahoma, Geneva, sans-serif;
    font-size: 12px;
    color: #000;
}
body {

```

```

        background-color: #EEE;
        margin-left: 0px;
        margin-top: 0px;
        margin-right: 0px;
        margin-bottom: 0px;
    }
    h1,h2,h3,h4,h5,h6 {
        font-weight: bold;
    }
    h1 {
        font-size: 16px;
        color: #036;
    }
    h2 {
        font-size: 14px;
        color: #069;
    }
    h3 {
        font-size: 12px;
        color: #09C;
    }
</style>
<link href="css/site.css" rel="stylesheet" type="text/css" />
</head>

<body style="height: 100%;">
<table align="center" width="780" style="height:100%; border=0;
cellpadding:0; cellspacing:4; background-color:white">
    <tr>
        <td height="50" align="left" valign="middle" bgcolor="#CCFF33">
            <table width="750" border="0" align="center" cellpadding="0"
cellspacing="0">
                <tr>
                    <td width="150" align="center" valign="middle"><a
href="index.php" class="menuLinks"></a> </td>
                    <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="fvslices.php" class="menuLinks"></a><a href="index.php"
class="menuLinks">Stats</a></h1></td>
                    <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="flowspace.php" class="menuLinks"></a><a href="fvslices.php"
class="menuLinks">FVSlices</a></h1></td>
                    <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="help.php" class="menuLinks"></a><a href="flowspace.php"
class="menuLinks">FlowSpaces</a></h1></td>
                    <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="about.php" class="menuLinks"></a><a href="help.php"
class="menuLinks">Help</a></h1></td>
                    <td width="120" align="center" valign="middle"><a
href="about.php" class="menuLinks">About</a></td>
                </tr>
            </table></td>
        </tr>
        <tr>
            <td valign="top" class="MainCellBgImage">
                <table width="100%" border="0" cellspacing="0" cellpadding="20">
                    <tr>

```

```

        <td>
            <!-- InstanceBeginEditable name="EditRegion1_Main" -->
            <h1>FlowSpaces</h1>
            <p>Display and manage FlowSpaces</p>
            <?php
            // First we need to count how many slices we have. We take that info
            from file slices_current-nameonly.txt
            $totalNumberOfSlices = 0;
            $handleSlices = fopen("txt/slices_current-nameonly.txt", "r");
            if ($handleSlices) {
                while (($line = fgets($handleSlices)) !== false) {
                    $totalNumberOfSlices++;
                }
            } else {
                // error opening the file.
            }
            fclose($handleSlices);
            ?>

            <?php
            for ($x=1; $x<=$totalNumberOfSlices; $x++) {
                $handle = fopen("txt/Slice" . $x . "-FS.txt", "r");
                if ($handle) {
                    $line = fgets($handle); ?>
                    <h2>Slice: <?php print($line); ?></h2>
                    <table width="700" border="0" cellspacing="0" cellpadding="0">
            <?php
                    $i=0;
                    while (($line = fgets($handle)) !== false) { ?>
                        <tr class="row">
                            <td><?php $i++; print($line . "<br />"); ?></td>
                        </tr>
            <?php
                    }
            ?>
                    </table>
            <?php
                    print("<br />");
                    print("<strong>Total Flowspace population on this
            slice:</strong> " . $i . "<br /><br />");
                    } else {
                        // error opening the file.
                    }
            }
            fclose($handle); ?>
            <blockquote>
                <h3>Hint</h3>
                <p>Commands involved to extract info on this page: </p>
                <ul>
                    <li>fvctl list-flowspace </li>
                </ul>
            </blockquote>
            <!-- InstanceEndEditable -->
            </td>
        </tr>
    </table>
</tr>
<tr>

```

```

        <td height="20" align="center">Created by Lefteris Mourikis (aka
        finrod) for <a href="http://www.cn.ntua.gr/" target="_blank">Computer
        Network Lab NTUA</a> (2014)</td>
    </tr>
</table>
</body>
<!-- InstanceEnd --></html>

```

flowspaceAddFlowSpace.php

```

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" style="height: 100%;"><!--
InstanceBegin template="/Templates/MainTemplate.dwt"
codeOutsideHTMLOIsLocked="false" -->
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
<!-- InstanceBeginEditable name="doctitle" -->
<title>Add FlowSpace Submit</title>
<!-- InstanceEndEditable -->
<!-- InstanceBeginEditable name="head" -->
<!-- InstanceEndEditable -->
<style type="text/css">
body,td,th {
    font-family: Tahoma, Geneva, sans-serif;
    font-size: 12px;
    color: #000;
}
body {
    background-color: #EEE;
    margin-left: 0px;
    margin-top: 0px;
    margin-right: 0px;
    margin-bottom: 0px;
}
h1,h2,h3,h4,h5,h6 {
    font-weight: bold;
}
h1 {
    font-size: 16px;
    color: #036;
}
h2 {
    font-size: 14px;
    color: #069;
}
h3 {
    font-size: 12px;
    color: #09C;
}
</style>
<link href="css/site.css" rel="stylesheet" type="text/css" />
</head>

<body style="height: 100%;">
<table align="center" width="780" style="height:100%; border=0;
cellpadding:0; cellspacing:4; background-color:white">

```

```

<tr>
  <td height="50" align="left" valign="middle" bgcolor="#CCFF33">
    <table width="750" border="0" align="center" cellpadding="0"
cellspacing="0">
      <tr>
        <td width="150" align="center" valign="middle"><a
href="index.php" class="menuLinks"></a> </td>
        <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="fvsllices.php" class="menuLinks"></a><a href="index.php"
class="menuLinks">Stats</a></h1></td>
        <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="flowspace.php" class="menuLinks"></a><a href="fvsllices.php"
class="menuLinks">FVSlices</a></h1></td>
        <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="help.php" class="menuLinks"></a><a href="flowspace.php"
class="menuLinks">FlowSpace</a></h1></td>
        <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="about.php" class="menuLinks"></a><a href="help.php"
class="menuLinks">Help</a></h1></td>
        <td width="120" align="center" valign="middle"><a
href="about.php" class="menuLinks">About</a></td>
      </tr>
    </table></td>
  </tr>
<tr>
  <td align="center" class="MainCellBgImage">
    <table width="100%" border="0" cellspacing="0" cellpadding="20">
      <tr>
        <td>
          <!-- InstanceBeginEditable name="EditRegion1_Main" -->
          <h1>Add FlowSpace Submit</h1>
        </td>
      </tr>
    </table>
  </td>
</tr>
<?php
// Let's put the POST variables to our variables
// ...while, at the same time, performing some cleanup to our variable
(CR LF removal, etc)
$fvAddFlowSpaceName = str_replace (array("\r\n", "\n", "\r", ' '), '',
$_POST["fvAddFlowSpaceName"]);
$fvAddFlowSpaceDPIDs = $_POST["fvAddFlowSpaceDPIDs"];
$fvAddFlowSpacePriority = str_replace (array("\r\n", "\n", "\r", ' '),
'', $_POST["fvAddFlowSpacePriority"]);
$fvAddFlowSpaceMatch = str_replace (array("\r\n", "\n", "\r", ' '),
'', $_POST["fvAddFlowSpaceMatch"]);
$fvAddFlowSpaceFVSlice = str_replace (array("\r\n", "\n", "\r", ' '),
'', $_POST["fvAddFlowSpaceFVSlice"]);
$fvAddFlowSpacePermission = str_replace (array("\r\n", "\n", "\r", '
'), '', $_POST["fvAddFlowSpacePermission"]);

// We open our file for writing
$handle = fopen("txt/formNewFlowSpaceRule.txt", "w");
if ($handle) { ?>
<p>Request for new FlowSpace succesfully submitted. Please allow system
at least 10 seconds to
          process your request.</p>
<h2>Hint</h2>
<blockquote>
  <p>Commands submitted:</p>

```

```

<ul>
<?php
    $fvAddFlowSpaceDPIDsList = array();
    $fvctlCommand = array();
    $j=0;
    foreach(preg_split("/((\r?\n)|(\r\n?))/", $fvAddFlowSpaceDPIDs)
as $strLine){
        // Now we have to make sure that each line contains a valid
DPID. We perform a regex search with preg_match
        // If the line is consisted by a DPID, everyting is fine.
        // If it contains a DPID, as well as, other characters we
keep just the DPID, stripping off the rest part.
        // If we don't find any DPID inside the line, we just skip
this line.
        preg_match( '/[0-7]{1}[0-9A-Fa-f]{1}(:[0-9A-Fa-f]{2}){7}/',
$strLine, $match );
        if(strlen($match[0]) > 1) { $fvAddFlowSpaceDPIDsList[$j] =
$match[0]; $j++; }
    }
    $fvOutputToFile = "";
    for ($z=0; $z<count($fvAddFlowSpaceDPIDsList); $z++ ) {
        // Now we have a "clean" array chich contains only valid
DPIDs
        // So, let's build the commands array $fvctlCommand
        $fvctlCommand[$z] = "add-flowspace " . $fvAddFlowSpaceName
. " " . $fvAddFlowSpaceDPIDsList[$z] . " " . $fvAddFlowSpacePriority .
" " . $fvAddFlowSpaceMatch . " " . $fvAddFlowSpaceFVSlice . "=" .
$fvAddFlowSpacePermission . "\n";
        // $fvctlCommand[$z] = str_replace (array("\r"), '',
$fvctlCommand[$z]);
        $fvOutputToFile = $fvOutputToFile . $fvctlCommand[$z];
        ?><li>fvctl add-flowspace <?php print($fvctlCommand[$z]);
?></li>
<?php
    }
    //print("Commands: " . $fvOutputToFile . "<br />");
    fwrite($handle, $fvOutputToFile);

    //print("Count: " . count($fvAddFlowSpaceDPIDsList) . "<br />");
?>
</ul>
</blockquote>
<p><a href="flowSpace.php" target="_self">Return to FlowSpace page</a>
</p>

<?php } else {
// error opening the file.
?>
    We are very sorry. There was a problem submitting your request.
Please contact your technical administrator.
<?php
}
fclose($handle);
?>
        <!-- InstanceEndEditable -->
        </td>
        </tr>
    </table>
</tr>

```

```

    <tr>
      <td height="20" align="center">Created by Lefteris Mourikis (aka
finrod) for <a href="http://www.cn.ntua.gr/" target="_blank">Computer
Network Lab NTUA</a> (2014)</td>
    </tr>
</table>
</body>
<!-- InstanceEnd --></html>

```

flowSpaceRemoveFlowSpace.php

```

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" style="height: 100%;"><!--
InstanceBegin template="/Templates/MainTemplate.dwt"
codeOutsideHTMLOIsLocked="false" -->
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
<!-- InstanceBeginEditable name="doctitle" -->
<title>Remove FlowSpace Submit</title>
<!-- InstanceEndEditable -->
<!-- InstanceBeginEditable name="head" -->
<!-- InstanceEndEditable -->
<style type="text/css">
body,td,th {
    font-family: Tahoma, Geneva, sans-serif;
    font-size: 12px;
    color: #000;
}
body {
    background-color: #EEE;
    margin-left: 0px;
    margin-top: 0px;
    margin-right: 0px;
    margin-bottom: 0px;
}
h1,h2,h3,h4,h5,h6 {
    font-weight: bold;
}
h1 {
    font-size: 16px;
    color: #036;
}
h2 {
    font-size: 14px;
    color: #069;
}
h3 {
    font-size: 12px;
    color: #09C;
}
</style>
<link href="css/site.css" rel="stylesheet" type="text/css" />
</head>

<body style="height: 100%;">

```



```

<table align="center" width="780" style="height:100%; border=0;
cellpadding:0; cellspacing:4; background-color:white">
  <tr>
    <td height="50" align="left" valign="middle" bgcolor="#CCFF33">
      <table width="750" border="0" align="center" cellpadding="0"
cellspacing="0">
        <tr>
          <td width="150" align="center" valign="middle"><a
href="index.php" class="menuLinks"></a> </td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="fvsllices.php" class="menuLinks"></a><a href="index.php"
class="menuLinks">Stats</a></h1></td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="flowspace.php" class="menuLinks"></a><a href="fvsllices.php"
class="menuLinks">FVSllices</a></h1></td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="help.php" class="menuLinks"></a><a href="flowspace.php"
class="menuLinks">FlowSpace</a></h1></td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="about.php" class="menuLinks"></a><a href="help.php"
class="menuLinks">Help</a></h1></td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><a
href="about.php" class="menuLinks">About</a></td>
        </tr>
      </table></td>
    </tr>
    <tr>
      <td align="center" valign="top" class="MainCellBgImage">
        <table width="100%" border="0" cellspacing="0" cellpadding="20">
          <tr>
            <td>
              <!-- InstanceBeginEditable name="EditRegion1_Main" -->
              <h1>Remove FlowSpace Submit</h1>
            </td>
          </tr>
        </table>
      </td>
    </tr>
  </table>
</table>
<?php
// Let's get the FlowSpace name to remove from the POST variable
// while, at the same time, performing some cleanup to our variable
(CR LF removal, etc)
$fvFlowSpaceToRemove= str_replace (array("\r\n", "\n", "\r", ' '), '',
$_POST["fvFlowSpaceToRemove"]);

// We open our file for writing
$handle = fopen("txt/formRemoveFlowSpaceRule.txt", "w");
if ($handle) {
  fwrite($handle, $fvFlowSpaceToRemove);
?>
      <p>Request for FlowSpace removal succesfully submitted.
Please allow system at least 10 seconds to
      process your request.</p>
      <p><a href="flowspace.php" target="_self">Return to
FlowSpace page</a>      </p>
<?php } else {
// error opening the file.
?>
      We are very sorry. There was a problem submitting your request.
Please contact your technical administrator.
<?php

```

```

}
fclose($handle);
?>         <!-- InstanceEndEditable -->
            </td>
        </tr>
    </table>
</tr>
<tr>
    <td height="20" align="center">Created by Lefteris Mourikis (aka
finrod) for <a href="http://www.cn.ntua.gr/" target="_blank">Computer
Network Lab NTUA</a> (2014)</td>
    </tr>
</table>
</body>
<!-- InstanceEnd --></html>

```

flowSpaceSetNewDefaultSlice.php

```

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" style="height: 100%;"><!--
InstanceBegin template="/Templates/MainTemplate.dwt"
codeOutsideHTMLOIsLocked="false" -->
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
<!-- InstanceBeginEditable name="doctitle" -->
<title>Set New Default Slice Submit</title>
<!-- InstanceEndEditable -->
<!-- InstanceBeginEditable name="head" -->
<!-- InstanceEndEditable -->
<style type="text/css">
body,td,th {
    font-family: Tahoma, Geneva, sans-serif;
    font-size: 12px;
    color: #000;
}
body {
    background-color: #EEE;
    margin-left: 0px;
    margin-top: 0px;
    margin-right: 0px;
    margin-bottom: 0px;
}
h1,h2,h3,h4,h5,h6 {
    font-weight: bold;
}
h1 {
    font-size: 16px;
    color: #036;
}
h2 {
    font-size: 14px;
    color: #069;
}
h3 {
    font-size: 12px;
    color: #09C;
}

```

```

}
</style>
<link href="css/site.css" rel="stylesheet" type="text/css" />
</head>

<body style="height: 100%;">
<table align="center" width="780" style="height:100%; border=0;
cellpadding:0; cellspacing:4; background-color:white">
  <tr>
    <td height="50" align="left" valign="middle" bgcolor="#CCFF33">
      <table width="750" border="0" align="center" cellpadding="0"
cellspacing="0">
        <tr>
          <td width="150" align="center" valign="middle"><a
href="index.php" class="menuLinks"></a> </td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="fvsllices.php" class="menuLinks"></a><a href="index.php"
class="menuLinks">Stats</a></h1></td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="flowspace.php" class="menuLinks"></a><a href="fvsllices.php"
class="menuLinks">FVSLices</a></h1></td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="help.php" class="menuLinks"></a><a href="flowspace.php"
class="menuLinks">FlowSpace</a></h1></td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="about.php" class="menuLinks"></a><a href="help.php"
class="menuLinks">Help</a></h1></td>
          <td width="120" align="center" valign="middle"><a
href="about.php" class="menuLinks">About</a></td>
        </tr>
      </table></td>
    </tr>
    <tr>
      <td align="top" class="MainCellBgImage">
        <table width="100%" border="0" cellspacing="0" cellpadding="20">
          <tr>
            <td>
              <!-- InstanceBeginEditable name="EditRegion1_Main" -->
              <h1>Set Default Slice Submit</h1>
            </td>
          </tr>
        </table>
      </td>
    </tr>
  </table>
  <?php
  // Let's get the new Deafult Slice Name from the POST variable
  // while, at the same time, performing some cleanup to our variable
  (CR LF removal, etc)
  $fvNewDefaultSliceName= str_replace (array("\r\n", "\n", "\r", ' '),
  '', $_POST["fvNewDefaultSlice"]);

  // We open our file for writing
  $handle = fopen("txt/fv-DefaultSlice.txt", "w");
  if ($handle) {
    fwrite($handle, $fvNewDefaultSliceName);
  }?>
  <p>New Default Slice succesfully submitted. Please allow
system at least 10 seconds to
  set your new Default Slice.</p>
  <p><a href="flowspace.php" target="_self">Return to
FlowSpace page</a>
  </p>

```

```

<?php } else {
// error opening the file.
?>
    We are very sorry. There was a problem submitting your request.
Please contact your technical administrator.
<?php
}
fclose($handle);
?>
        <!-- InstanceEndEditable -->
        </td>
    </tr>
</table>
</tr>
<tr>
    <td height="20" align="center">Created by Lefteris Mourikis (aka
finrod) for <a href="http://www.cn.ntua.gr/" target="_blank">Computer
Network Lab NTUA</a> (2014)</td>
    </tr>
</table>
</body>
<!-- InstanceEnd --></html>

```

help.php

```

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" style="height: 100%;"><!--
InstanceBegin template="/Templates/MainTemplate.dwt"
codeOutsideHTMLOisLocked="false" -->
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
<!-- InstanceBeginEditable name="doctitle" -->
<title>FVSLiceManager Help</title>
<!-- InstanceEndEditable -->
<!-- InstanceBeginEditable name="head" -->
<!-- InstanceEndEditable -->
<style type="text/css">
body,td,th {
    font-family: Tahoma, Geneva, sans-serif;
    font-size: 12px;
    color: #000;
}
body {
    background-color: #EEE;
    margin-left: 0px;
    margin-top: 0px;
    margin-right: 0px;
    margin-bottom: 0px;
}
h1,h2,h3,h4,h5,h6 {
    font-weight: bold;
}
h1 {
    font-size: 16px;
    color: #036;
}
h2 {

```

```

        font-size: 14px;
        color: #069;
    }
    h3 {
        font-size: 12px;
        color: #09C;
    }
</style>
<link href="css/site.css" rel="stylesheet" type="text/css" />
</head>

<body style="height: 100%;">
<table align="center" width="780" style="height:100%; border=0;
cellpadding:0; cellspacing:4; background-color:white">
    <tr>
        <td height="50" align="left" valign="middle" bgcolor="#CCFF33">
            <table width="750" border="0" align="center" cellpadding="0"
cellspacing="0">
                <tr>
                    <td width="150" align="center" valign="middle"><a
href="index.php" class="menuLinks"></a> </td>
                    <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="fvsllices.php" class="menuLinks"></a><a href="index.php"
class="menuLinks">Stats</a></h1></td>
                    <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="flowspace.php" class="menuLinks"></a><a href="fvsllices.php"
class="menuLinks">FVSllices</a></h1></td>
                    <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="help.php" class="menuLinks"></a><a href="flowspace.php"
class="menuLinks">FlowSpace</a></h1></td>
                    <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="about.php" class="menuLinks"></a><a href="help.php"
class="menuLinks">Help</a></h1></td>
                    <td width="120" align="center" valign="middle"><a
href="about.php" class="menuLinks">About</a></td>
                </tr>
            </table></td>
        </tr>
        <tr>
            <td align="center" class="MainCellBgImage">
                <table width="100%" border="0" cellspacing="0" cellpadding="20">
                    <tr>
                        <td>
                            <!-- InstanceBeginEditable name="EditRegion1_Main" -->
                            <h1>Help</h1>
                            <p>[FVSliceManager minihelp]</p>
                            <!-- InstanceEndEditable -->
                        </td>
                    </tr>
                </table>
            </td>
        </tr>
        <tr>
            <td height="20" align="center">Created by Lefteris Mourikis (aka
finrod) for <a href="http://www.cn.ntua.gr/" target="_blank">Computer
Network Lab NTUA</a> (2014)</td>
        </tr>
    </table>

```

```
</table>
</body>
<!-- InstanceEnd --></html>
```

about.php

```
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" style="height: 100%;"><!--
InstanceBegin template="/Templates/MainTemplate.dwt"
codeOutsideHTMLOIsLocked="false" -->
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
<!-- InstanceBeginEditable name="doctitle" -->
<title>FVSLiceManager About</title>
<!-- InstanceEndEditable -->
<!-- InstanceBeginEditable name="head" -->
<!-- InstanceEndEditable -->
<style type="text/css">
body,td,th {
    font-family: Tahoma, Geneva, sans-serif;
    font-size: 12px;
    color: #000;
}
body {
    background-color: #EEE;
    margin-left: 0px;
    margin-top: 0px;
    margin-right: 0px;
    margin-bottom: 0px;
}
h1,h2,h3,h4,h5,h6 {
    font-weight: bold;
}
h1 {
    font-size: 16px;
    color: #036;
}
h2 {
    font-size: 14px;
    color: #069;
}
h3 {
    font-size: 12px;
    color: #09C;
}
</style>
<link href="css/site.css" rel="stylesheet" type="text/css" />
</head>

<body style="height: 100%;">
<table align="center" width="780" style="height:100%; border=0;
cellpadding:0; cellspacing:4; background-color:white">
    <tr>
        <td height="50" align="left" valign="middle" bgcolor="#CCFF33">
            <table width="750" border="0" align="center" cellpadding="0"
cellspacing="0">
```

```

        <tr>
            <td width="150" align="center" valign="middle"><a
href="index.php" class="menuLinks"></a> </td>
            <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="fvsllices.php" class="menuLinks"></a><a href="index.php"
class="menuLinks">Stats</a></h1></td>
            <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="flowspace.php" class="menuLinks"></a><a href="fvsllices.php"
class="menuLinks">FVSllices</a></h1></td>
            <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="help.php" class="menuLinks"></a><a href="flowspace.php"
class="menuLinks">FlowSpace</a></h1></td>
            <td width="120" align="center" valign="middle"><h1><a
href="about.php" class="menuLinks"></a><a href="help.php"
class="menuLinks">Help</a></h1></td>
            <td width="120" align="center" valign="middle"><a
href="about.php" class="menuLinks">About</a></td>
        </tr>
    </table></td>
</tr>
<tr>
    <td valign="top" class="MainCellBgImage">
        <table width="100%" border="0" cellspacing="0" cellpadding="20">
            <tr>
                <td>
                    <!-- InstanceBeginEditable name="EditRegion1_Main" -->
                    <h1>About</h1>
                    <h2>FVSliceManager web application</h2>
                    <p><strong>FVSliceManager version:</strong> 0.1.9 [Alpha] (2014-
11-03)</p>
                    <p>Created by Lefteris Mourikis (aka finrod) for
<strong>Computer Network Lab NTUA
(2014)</strong></p>
                    <h2>Flowvisor information </h2>
                    <p>
                        <?php
$handle = fopen("txt/fv-about.txt", "r");
if ($handle) {
?>
                            Flowvisor version: <strong><?php $line = fgets($handle);
print($line); ?></strong><br />
                            Flowvisor path: <strong><?php $line = fgets($handle);
print($line); ?></strong><br />
                            Flowvisor daemon status: <strong><?php $line = fgets($handle);
print($line); ?></strong></p>
                        <?php
                    } else {
                        // error opening the file.
                    }
                    fclose($handle);
                ?>
                    <h2>Debug: Text files listing</h2>
                    <p>Get a list of all configuraion and status files <a
href="txt/" target="_blank">here</a>.</p>
                    <h2>Links</h2>
                    <ul>

```

```

        <li>Computer Network Lab NTUA</li>
        <li>Confluence</li>
    </ul>
        <!-- InstanceEndEditable -->
    </td>
</tr>
</table>
</tr>
<tr>
    <td height="20" align="center">Created by Lefteris Mourikis (aka
finrod) for <a href="http://www.cn.ntua.gr/" target="_blank">Computer
Network Lab NTUA</a> (2014)</td>
    </tr>
</table>
</body>
<!-- InstanceEnd --></html>

```

site.css

```

.menuLinks {
    font-family: Tahoma, Geneva, sans-serif;
    font-size: 16px;
    font-style: normal;
    font-weight: bold;
    color: #036;
    text-decoration: none;
}
.MainCellBgImage {
    background-image: url(../images/logoConfluence.png);
    background-repeat: no-repeat;
    background-position: 431px 0px;
}
tr.row td {
    border-top-width: 1px;
    border-right-width: 0;
    border-bottom-width: 1px;
    border-left-width: 0;
    border-top-style: none;
    border-right-style: none;
    border-bottom-style: solid;
    border-left-style: none;
    border-top-color: #CCC;
    border-right-color: #CCC;
    border-bottom-color: #CCC;
    border-left-color: #CCC;
}.ParagraphCode {
    font-family: "Courier New", Courier, monospace;
    font-size: 12px;
}
.FormFiledsl {
    font-family: Tahoma, Geneva, sans-serif;
    font-size: 12px;
}

```


Βιβλιογραφία

1. Nick McKeown, Tom Anderson, Hari Balakrishnan, Guru Parulkar, Larry Peterson, Jennifer Rexford, Scott Shenker, Jonathan Turner, "OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks", 03/2008
2. OPEN NETWORK FOUNDATION, "OpenFlow Switch Specification Version 1.0.0 (Wire Protocol 0x01)", 12/2009
3. Rob Sherwood, Glen Gibby, Kok-Kiong Yapy, Guido Appenzellery, Martin Casado, Nick McKeowny, Guru Parulkar, "FlowVisor: A Network Virtualization Layer", 10/2009