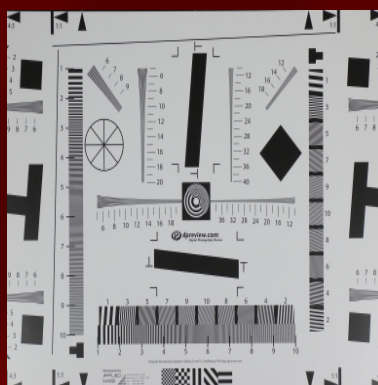
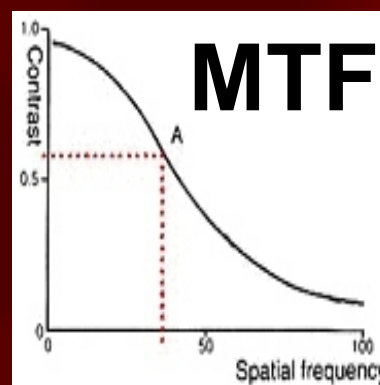
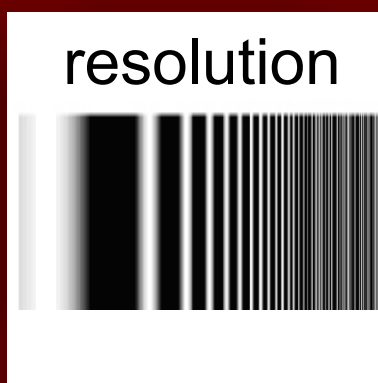
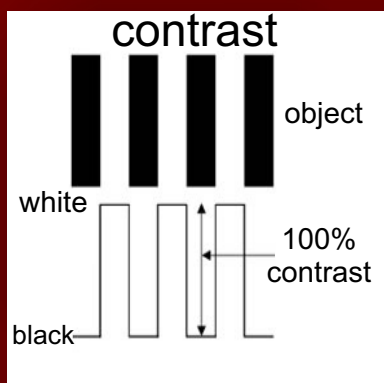


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΑΘΗΝΑ 2008

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ
ΑΠΟ ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ & ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:
ΚΑΡΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ:
ΘΕΟΥΛΑΚΗΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ

Αξιολόγηση ποιότητας εικόνων από ψηφιακές μηχανές και πειραματικοί έλεγχοι

Διπλωματική Εργασία

Θεουλάκης Κώστας

Μάρτιος 2008

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Ευχαριστίες	5
Στόχος και διάρθρωση της εργασίας	6
Φωτογραφικές μηχανές και ψηφιακή τεχνολογία	8
Εισαγωγή	9
1 ^ο Κεφάλαιο: Επικοινωνία με τους ειδικούς	13
2 ^ο Κεφάλαιο: Πώς να επιλέγει κανείς φακό για την μηχανή του	22
3 ^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή στην θεωρία καθαρότητας της εικόνας	31
3.1 Αρχές σχηματισμού εικόνας – υποβάθμιση ποιότητας της εικόνας	31
3.2 Η φύση της υποβάθμισης της ποιότητας της εικόνας	39
4 ^ο Κεφάλαιο: Καθαρότητα της εικόνας και οπτική ποιότητα	51
4.1 Καθαρότητα εικόνας	51
4.2 Οξύτητα	54
4.3 Ευκρίνεια	56
4.4 Συνάρτηση Διαμόρφωσης Μεταφοράς (MTF)	60
Κεφάλαιο 5 ^ο : Συνάρτηση Μεταφοράς Διαμόρφωσης (MTF)	69
5.1 Προσδιορισμός της Ποιότητας Εικόνας	69
5.2 Η MTF και Αναλογικές Φωτογραφικές Μηχανές	69
5.3 Συνάρτηση Μεταφοράς Διαμόρφωσης	70
5.4 SQF - Subjective Quality Factor	78
6 ^ο Κεφάλαιο: Πειραματικοί έλεγχοι, επεξεργασία και ανάλυση	84
6.1 Το λογισμικό Imatest	84
6.2 Βασική πειραματική αξιολόγηση φακών	96
6.3 Αναλυτικότερη πειραματική αξιολόγηση φακών	112
6.4 Σχολιασμός	123
6.5 Εκτίμηση καμπύλης ακτινικής διαστροφής	123
7 ^ο Κεφάλαιο: Συμπεράσματα	137
Παράρτημα Α: Λεξικό	138
Παράρτημα Β: Αποτελέσματα υπολογισμού οξύτητας και διαστροφής	
Βιβλιογραφία	156

Περίληψη

Η διπλωματική εργασία πραγματεύεται το θέμα της αξιολόγησης και σύγκρισης ψηφιακών μηχανών της αγοράς, πράγμα που αφορά όλους τους ενδιαφερόμενους, ερασιτέχνες και μη. Λόγω των εξελίξεων της ψηφιακής τεχνολογίας έχει πάψει να εξετάζεται ξεχωριστά ο φακός μιας μηχανής και το μέγεθος του αισθητήρα, τώρα πλέον μια αξιόπιστη αξιολόγηση πρέπει να εξετάζει το σύστημα φακού-αισθητήρα. Ο καλύτερος τρόπος για να γίνει αυτό είναι η απευθείας εξέταση της ποιότητας της παραγόμενης εικόνας. Έτσι, η εργασία αυτή επικεντρώνεται στην αξιολόγηση ποιότητας εικόνων.

Αλλά πριν από μια αξιόπιστη αξιολόγηση πρέπει να υπάρχει η κατάλληλη θεωρία να την υποστηρίξει. Μεγάλο μέρος της διπλωματικής αυτής εργασίας αφιερώθηκε, πρώτον, στην θεωρία της υποβάθμισης ποιότητας της εικόνας και, δεύτερον, στην κατανόηση των εννοιών που την περιγράφουν, γιατί συχνά υπάρχει σύγχυση και εσφαλμένη χρήση των εννοιών της οξύτητας, της ανάλυσης, της ευκρίνειας και της ποιότητας της εικόνας, κυρίως στο πλήθος των δημοσιεύσεων αξιολόγησης που βρίσκει κανείς στο Διαδίκτυο. Πριν από την αξιολόγηση πρέπει να μπορεί κανείς να κατανοεί τι εννοεί σε κάθε περίπτωση ο συγγραφέας του εκάστοτε άρθρου και πως χρησιμοποιεί κάθε όρο.

Για τον σκοπό της αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο λογισμικό, που μπορεί να δώσει τα απαραίτητα στοιχεία για την ανάλυση ποιότητας εικόνας. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το Imatest (www.imatest.com). Απαραίτητα αποτελέσματα είναι η καμπύλη MTF, η μόνη επιστημονική μέτρηση που εφαρμόζεται “στην αγορά” και η μόνη που περιγράφει μαθηματικά την ποιότητα της εικόνας. Η καμπύλη MTF περιγράφει τον βασικό παράγοντα ποιότητας της εικόνας, την οξύτητα. Επικεντρώνοντας την προσοχή σε αυτά τα αποτελέσματα έχει κανείς μια επιστημονικά ορθή περιγραφή της καθαρότητας εικόνας στον λιγότερο δυνατό χρόνο και με το μικρότερο δυνατό κόστος, και κατ’ επέκταση μια βάσιμη αξιολόγηση ψηφιακών μηχανών με αριθμητικά αποτελέσματα που επιτρέπει μια αντικειμενική σύγκριση μεταξύ διαφορετικών ψηφιακών μηχανών. Στην εργασία περιγράφεται η σχετική θεωρία, και παρουσιάζονται και αξιολογούνται οι έλεγχοι διαφορετικών ψηφιακών μηχανών που έγιναν.

Ευχαριστίες

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής αισθανόμαστε υποχρεωμένοι να ευχαριστήσουμε:

- Τον κ. Jose Luis Ierma, Καθηγητή της Φωτογραμμετρίας στην Σχολή Γεωδαισίας, Χαρτογραφίας και Τοπογραφίας (ETSICGT) του Πολυτεχνείου της Valencia, για την βοήθειά του στα πρώτα στάδια της διπλωματικής εργασίας.
- Τον κ. Luis Angel Ruiz Fernandez, υποδιευθυντή Διεθνών Σχέσεων του ίδιου ιδρύματος.
- Την Nexus Publications AEEE που εκδίδει το περιοδικό *PHOTOnet*, για την συνολική της συνεισφορά της. Πρέπει να σημειωθεί ότι ενώ υπάρχουν και άλλες εκδόσεις στο χώρο της φωτογραφίας, μόνο η συγκεκριμένη ήταν διατεθειμένη να παρουσιάσει στον σπουδαστή της διπλωματικής εργασίας τη δουλειά της, την οποία υποστηρίζει επιστημονικά.
- Τον ειδικό επιστημονικό σύμβουλο της *Nexus Publications AEEE* κ. Μενέλαο Μελετζή, ο οποίος είχε την καλή διάθεση να υποστηρίξει με όποιο τρόπο μπορούσε την διπλωματική εργασία.
- Τον κ. Κωνσταντίνο Φλώρο, αρχισυντάκτη των περιοδικών *PHOTOnet - PHOTOnet Professional*.
- Τον τεχνικό των περιοδικών *PHOTOnet - PHOTOnet Professional* κ. Γιώργο Ατσαμετάκη για την επίλυση τεχνικών αποριών.
- Τον κ. Καρρά Γ. για την πλήρη κατανόηση του, βοήθεια και καλή διάθεση στη διάρκεια της πραγματοποίησης της διπλωματικής.
- Τους Μιχαήλου Μ., Τριαντάφυλλο Δ., Κύρκο Δ., Φλουρή Ε., Παπαδημητρίου Ε., Ντίτορα Α. Και Κύρκου Χ., συνάδελφους που συμπαραστάθηκαν σε όλα τα στάδια της διπλωματικής εργασίας τόσο στο εξωτερικό όσο και στη συνέχεια μετά την επιστροφή στην Ελλάδα.

Στόχος και διάρθρωση της εργασίας

Στόχος: Η εύρεση μεθοδολογίας για αξιόπιστη, κυρίως ποιοτική, σύγκριση διαφορετικών μηχανών. Η σύγκριση αυτή επικεντρώνεται στην ποιότητα όχι της κατασκευής αλλά του τελικού αποτελέσματος που έχει και τη μεγαλύτερη σημασία και εμπεριέχει και πιθανά σφάλματα κατασκευής (όπως τα σφάλματα του φακού). Το τελικό προϊόν μιας ψηφιακής μηχανής είναι η παραγόμενη εικόνα.

Υποστόχοι: Χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας αυτής είναι:

- Η μεθοδολογία αυτή θα έπρεπε να προορίζεται για όλους τους ενδιαφερόμενους, ερασιτέχνες και μή.
- Η εφαρμογή της μεθοδολογίας αυτής θα έπρεπε να είναι όσο το δυνατό πιο γρήγορη.
- Εύκολη πρόσβαση σε δεδομένα μέσω του Ιντερνετ.
- Να μην απαιτεί οποιοδήποτε σημαντικό κόστος.

Καθορίζοντας τους παραπάνω υποστόχους δεχόμαστε πιθανή μείωση σε ακρίβεια στα αποτελέσματα αλλά κάνουμε την διαδικασία εύκολα πραγματοποιήσιμη. Η σύγκριση δεν παύει να είναι καθ' όλα σωστή, απλώς δεν μπορούμε να υπεισέλθουμε σε ειδικές τεχνικές λεπτομέρειες, οι οποίες ούτως ή άλλως απαιτούν τη χρήση ειδικού εξοπλισμού και εργαστηρίου.

Η εργασία διαρθρώνεται ως εξής:

Κεφάλαιο 1^ο

Η συζήτηση με τεχνικό του περιοδικού *PHOTO.net* είναι ενδεικτική της κατεύθυνσης της διπλωματικής εργασίας. Υπάρχουν τόσο συζητήσεις με τεχνικούς όσο και on-line επικοινωνία με τους τεχνικούς και ιδιοκτήτες των ιστοσελίδων που ασχολούνται με την αξιολόγηση ποιότητας εικόνων.

Κεφάλαιο 2^ο

Εδώ παρουσιάζεται συνοπτικά η διαδικασία επιλογής φακού/μηχανής. Εάν έπρεπε να επιλέξουμε ένα κεφάλαιο που να συμπυκνώνει τη διπλωματική εργασία αυτό θα ήταν το 2^ο. Το κεφάλαιο αυτό βασίζεται σε ένα επεξεργασμένο και τροποποιημένο άρθρο από το Διαδίκτυο. Ο λόγος που τοποθετήθηκε στην αρχή είναι γιατί περιέχει όλα τα

βήματα που πρέπει να γίνουν στην αξιολόγηση, σύγκριση και τελική επιλογή ψηφιακής μηχανής.

Κεφάλαιο 3^ο

Το πρόβλημα της καθαρότητας μιας εικόνας έχει σημαντική θεωρία που το ακολουθεί. Το κεφάλαιο αποτελεί μια περιγραφή της θεωρίας αυτής. Η θεωρία αναφέρεται σε ορισμένους φυσικούς νόμους και μαθηματικές τεχνικές. Χρησιμοποιούνται στοιχεία από την οπτική, την κυματική, τα εφαρμοσμένα μαθηματικά, την φωτογραφία, την φυσιολογία της όρασης και της επεξεργασίας εικόνας. Τελικά δεν υπάρχει όριο που να σταματά κανείς να εμβαθύνει τις γνώσεις του στο συγκεκριμένο θέμα.

Κεφάλαιο 4^ο

Αποσαφηνίζονται οι κύριες φωτογραφικές έννοιες που σχετίζονται με την ποιότητα εικόνας και η σχέση μεταξύ τους. Γενικά, επικρατεί μία ασάφεια και πολλές φορές μια αυθαίρετη χρησιμοποίηση των εννοιών αυτών. Αυτές είναι η ανάλυση, η οξύτητα, η ευκρίνεια, η ποιότητα. Το 4^ο κεφάλαιο έχει τη μεγαλύτερη σημασία στη διπλωματική αυτή εργασία. Οι επαγγελματίες τεχνικοί φωτογράφοι γνωρίζουν τι είναι κάθε έννοια αλλά αδυνατούν να την κάνουν σαφή στον απλό χρήστη. Όποιος λοιπόν ασχοληθεί σε μεγαλύτερο βάθος με την ποιότητα εικόνας θα περάσει θέλοντας και μη από τα στάδια που περάσαμε και εμείς μέχρι να κατανοήσει την ερμηνεία των παραγόντων ποιότητας εικόνας. Όλος αυτός ο χρόνος που αφιερώθηκε μετουσιώθηκε σε αυτό το κεφάλαιο, το οποίο ελπίζουμε να αποτελεί ένα καλό ξεκίνημα για κάποιον που ασχολείται για πρώτη φορά με την αξιολόγηση ποιότητας εικόνας. Τέλος, όλα οδηγούν στη θεωρία της Συνάρτησης Διαμόρφωσης Μεταφοράς – MTF, την πλέον σημαντική επιστημονική εκτίμηση ποιότητας εικόνας.

Κεφάλαιο 5^ο

Είναι αφιερωμένο στη Συνάρτηση Διαμόρφωσης Μεταφοράς (MTF), δηλαδή την δημιουργία, επεξήγηση και ανάλυση των γραφημάτων MTF. Ακόμα γίνεται αναφορά στον υποκειμενικό παράγοντα ποιότητας εικόνας (SQF) και τη σχέση του με την καμπύλη MTF.

Κεφάλαιο 6^ο

Γίνεται μια σύντομη αναφορά των δυνατοτήτων του λογισμικού Imatest, που είναι το πλέον αναγνωρισμένο στην αξιολόγηση ποιότητας εικόνας αλλά ήταν και το πλέον κατάλληλο για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας. Τα γραφήματα που παράγει χρησιμοποιούνται από όλους τους γνωστούς δικτυακούς τόπους (στον τομέα της φωτογραφίας). Περιγράφεται ο τρόπος εργασίας μέσω του Imatest και γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 7^ο

Αναλύονται τα τελικά αποτελέσματα από το Imatest για τις εξής ψηφιακές μηχανές: Canon Pro 1, Canon EOS D60 και Kodak P880.

Κεφάλαιο 8^ο

Η ακτινική διαστροφή του φακού είναι ουσιαστικά η μόνη γεωμετρική παραμόρφωση που αντιμετωπίζεται στο πρόγραμμα Imatest. Επειδή η γεωμετρική παραμόρφωση δεν πάει να απασχολεί τους Τοπογράφους Μηχανικούς, στο κεφάλαιο αυτό αξιολογείται η απόδοση του λογισμικού απέναντι σε μια δοκιμασμένη φωτογραμμετρική τεχνική προσδιορισμού της διαστροφής.

Εισαγωγή

Το ζητούμενο ήταν κατά πόσον μπορεί ένας απλός χρήστης να συγκρίνει δυο ψηφιακές φωτογραμμετρικές μηχανές και να επιλέξει την καλύτερη με βάση τις εργασίες που έχει να κάνει. Γνωρίζοντας τις ιδιαίτερες απαιτήσεις ενός Τοπογράφου Μηχανικού που ασχολείται με τη Φωτογραμμετρία, θα είχαμε κατ' αρχάς κάποια πρώτα δεδομένα από την γενική ανάλυση της απόδοσης των μηχανών. Αυτή αφορά στοιχεία όπως είναι η ανάλυσή τους, το γωνιακό τους άνοιγμα ή η εστιακή απόσταση του φακού. Βαθμονομώντας την μηχανή θα είχε κανείς πρόσθετα στοιχεία, όπως η ακτινική διαστρόφη του φακού, ενώ ο έλεγχος απόδοσης της γεωμετρικής πληροφορίας για τις διαφορετικές μηχανές θα έδινε ένα γενικότερο αποτέλεσμα για την σύγκριση των μηχανών. Με τον τρόπο αυτό, θα μπορούσαμε να βγάλουμε ένα τελικό αποτέλεσμα για το ποια μηχανή ικανοποιεί καλύτερα τις απαιτήσεις, κυρίως όσον αφορά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους που ενδιαφέρουν τον Τοπογράφο Μηχανικό. Αλλά τι συμβαίνει με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, τα οποία επίσης θα έπρεπε να τον αφορούν, ενώ ταυτόχρονα ενδιαφέρουν και τον οποιοδήποτε φωτογράφο/χρήστη; Με ποιόν τρόπο θα μπορούσε κανείς να αξιολογήσει ποιοτικά και να συγκρίνει, με μεθόδους κατά το δυνατόν απλές και προσιτές στον καθένα, διάφορες ψηφιακές μηχανές;

Το θέμα ξεκίνησε σαν μια αναγνωριστική εργασία στο θέμα της σύγκρισης ψηφιακών μηχανών, στα πλαίσια ολιγόμηνων σπουδών μου στο εξωτερικό (στο πλαίσιο του Erasmus), και συγκεκριμένα στο Πολυτεχνείο της Βαλένθια με εκεί επιβλέποντα καθηγητή τον κ. J. L. Lerma, που ήταν σε συνεργασία με τον εδώ επιβλέποντα κ. Γ. Καρρά. Σε αυτήν συμπεριλαμβάνονταν εφαρμογές του μετασχηματισμού Fourier και θέματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας, πάντοτε σχετικά με την ψηφιακή φωτογραμμετρία, θέματα άλλωστε με τα οποία είχα κάπως ασχοληθεί στο πλαίσιο των σπουδών μου στο ΕΜΠ, κυρίως στο 9^ο εξάμηνο σπουδών (θέματα εξαμήνου).

Στην πορεία διαπιστώθηκε πως αυτή δεν ήταν μια απλή διαδικασία. Δεν υπήρχε μια παγιωμένη μέθοδος για αξιολόγηση της απόδοσης των ψηφιακών μηχανών, αντιθέτως κάθε εταιρία εφάρμοζε και μια διαφορετική μέθοδο. Επίσης, καμία δεν υποστήριζε ότι η δική της ήταν 100% αξιόπιστη, απλώς θεωρούσε ότι υπερτερούσε έναντι των υπολοίπων. Ακόμα, χρειάστηκε να εμβαθύνουμε σε θέματα από τον χώρο της Φωτογραφίας, κάτι που απαιτούσε εξοικείωση με νέους όρους και κατανόηση της αλληλεπίδρασής τους. Όσο περισσότερο ασχολούμασταν με το συγκεκριμένο θέμα, τόσο πε-

ρισσότεροι παράγοντες προέκυπταν που επηρέαζαν την αξιολόγηση μιας μηχανής και τόσο πιο υποκειμενικό έμοιαζε να είναι το τελικό αποτέλεσμα.

Έτσι, πέρα από την ανάγκη του καθηγητή κ. Legma να μπορέσει να βγάλει ένα τελικό συμπέρασμα για το ποια από τις δυο μηχανές που κατείχε ήταν καλύτερη, αποφασίστηκε να γίνει η προσπάθεια να βρεθεί ένας τρόπος, τον οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιεί κάθε ασχολούμενος με τη Φωτογραμμετρία προκειμένου να βγάλει ένα συμπέρασμα για την μηχανή που τον ενδιαφέρει. Φυσικά, η αξιολόγηση αυτή της μηχανής θα έπρεπε να εξυπηρετεί και έναν απλό χρήστη, ο οποίος βέβαια θα είχε διαφορετικά κριτήρια από τον Φωτογραμμέτη. Ένα άλλο ζητούμενο ήταν η σύγκριση των μηχανών να είναι διαδικασία εύκολη, γρήγορη και με το μικρότερο δυνατόν κόστος. Αναζητώντας στο Διαδίκτυο, εντοπίσαμε ιστοτόπους που ασχολούνται με αυτά ακριβώς τα θέματα. Εκεί, πολλοί έμπειροι χρήστες παρουσίαζαν τα αποτελέσματά τους και ανέλυαν τις διάφορες μηχανές της αγοράς. Μπορεί, έτσι, στο Διαδίκτυο να έβρισκε κανείς μια πλήρη ανάλυση δυο διαφορετικών μηχανών, όμως δεν ήταν ξεκάθαρο ποια είναι καλύτερη. Ίσως δικαιολογημένα, γιατί αυτό εξαρτάται από τις ανάγκες κάθε χρήστη. Ωστόσο, διαπιστώθηκε μια καθολική αποδοχή ορισμένων μετρήσεων ως δεικτών για την ποιότητα μιας ψηφιακής μηχανής. Η πιο σημαντική προσέγγιση βασίζεται στην *Συνάρτηση Μεταφοράς Διαμόρφωσης* (Modulation Transfer Function – MTF). Η γραφική παράσταση της MTF υπάρχει σε όλες τις αναλύσεις μηχανών και είναι μια επιστημονικά αποδεκτή μέτρηση της οξύτητας του φακού – του υπ' αριθμόν ένα παράγοντα για την ποιότητα της παραγόμενης εικόνας όσον αφορά την καθαρότητά της (που είναι και ζητούμενο και για έναν Τοπογράφο Μηχανικό).

Επόμενο βήμα ήταν να βρεθεί ένα λογισμικό που θα παράγει τις ζητούμενες καμπύλες MTF. Το πλέον διαδεδομένο στην κοινότητα της Φωτογραφίας του Διαδικτύου είναι το **Imatest** (ιστότοπος: imatest.com), το οποίο έχει το πλεονέκτημα ότι είχε γίνει σε Matlab (περιβάλλον που γνωρίζουμε από την ενασχόλησή μας στο κύκλο σπουδών του ΕΜΠ). Το λογισμικό αυτό είναι μικρού κόστους και αγοράστηκε. Τέλος, έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος για να έχουμε στην διάθεσή μας φωτογραφημένους στόχους ISO για την ανάλυση της οξύτητας των απεικονίσεων. Στο Διαδίκτυο υπάρχουν ιστοτόποι που προσφέρουν ελεύθερη πρόσβαση σε τέτοιους στόχους, φωτογραφημένους υπό ίδιες συνθήκες λήψης (φωτισμός, τρίποδας) για όλες τις ψηφιακές μηχανές της αγοράς. Υπήρχαν λοιπόν όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την εκπόνηση της εργασίας,

αφού βρέθηκαν οι πηγές μέσω των οποίων θα μπορούσε να αξιολογήσει κανείς, με ελάχιστο κόστος, όποια μηχανή της αγοράς τον ενδιέφερε. Το μόνο που χρειαζόταν από εκεί και πέρα ήταν να κατεβάσει κανείς από την ιστοσελίδα την εικόνα του κάθε φωτογραφημένου στόχου και να την αξιολογήσει με το Imatest. Μετά από αυτό, θα μπορούσαν να συγκριθούν όλες οι υπό αξιολόγηση μηχανές.

Λόγω της αναγνωρισιμότητας του Imatest στην κοινότητα της Φωτογραφίας στο Διαδίκτυο, η εργασία πήρε, κατά ένα μέρος, και τη μορφή της αξιολόγησης του συγκεκριμένου λογισμικού όσον αφορά τα εργαλεία που διαθέτει και παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τον Τοπογράφο Μηχανικό. Εκτός λοιπόν από την ανάλυση της οξύτητας των εικόνων, έγινε και έλεγχος και των αποτελεσμάτων για την ακτινική διαστρόφη του φακού που δίνει το λογισμικό. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τις καμπύλες ακτινικής διαστρόφης, όπως αυτές προσδιορίζονται συνήθως με φωτογραμμετρικό λογισμικό.

- Στην εργασία παρατίθενται τα συμπεράσματα της μελέτης, η θεωρία σχετικά με βασικές έννοιες, οι δυσκολίες στην αναζήτηση και κατανόηση των στοιχείων που επεξεργαστήκαμε, μαζί με όλες τις μετρήσεις και αξιολογήσεις που έγιναν.

Φωτογραφικές μηχανές και ψηφιακή τεχνολογία

Η ψηφιακή φωτογραφική μηχανή, εδώ και περίπου επτά χρόνια, κερδίζει όλο και περισσότερους φίλους. Είναι ένα εργαλείο απαραίτητο για τον σύγχρονο επαγγελματία και παράλληλα μια πολύ ενδιαφέρουσα ασχολία για τον ερασιτέχνη φωτογράφο και χρήστη ηλεκτρονικού υπολογιστή. Ακόμη βέβαια δεν τίθεται θέμα σύγκρισης ποιότητας αναλογικών (ονομάσαμε έτσι τις κλασικές φωτογραφικές μηχανές που δέχονται φιλμ) και ψηφιακών μηχανών, οι πρώτες βρίσκονται ακόμη σε υψηλότερα επίπεδα. Πάντως και στις ψηφιακές η ποιότητα εικόνας βελτιώνεται δραματικά, συνεχώς βλέπουμε νέα μοντέλα με περισσότερα megarixels, και θα πρέπει ασφαλώς να θεωρήσουμε δεδομένο ότι το επίπεδο τους θα συνεχίσει ανεβαίνει με ραγδαίους ρυθμούς. Να σημειώσουμε εδώ ότι τα megarixels, δηλαδή η ανάλυση μιας ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής, δεν έχει σχέση με την ποιότητα αλλά με το μέγεθος της εκτυπωμένης φωτογραφίας και θεωρείται ότι το φιλμ μπορεί να παράγει γιγαντιαία μεγέθη εκτύπωσης σε σχέση με την υπάρχουσα τεχνολογία και αριθμό megarixels. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές δεν διαφέρουν σε λειτουργία από τις αναλογικές. Δηλαδή σε κάθε περίπτωση έχουμε έναν φακό, ένα διάφραγμα και έναν φωτοφράκτη. Το σύστημα φωτομέτρησης, όσο και αν διαφέρει τεχνολογικά σε ορισμένους κατασκευαστές, έχει πάντα την ίδια αποστολή: τον υπολογισμό της σωστής τιμής διαφράγματος και κλείστρου, ανάλογα με τις φωτιστικές συνθήκες που επικρατούν κλπ. Η θεμελιώδης διαφορά είναι ότι, στην περίπτωση της ψηφιακής μηχανής, το φως δεν εστιάζεται πάνω σε ένα φιλμ με φωτοευαίσθητη ουσία (emulsion), αλλά πάνω σε ένα φωτοευαίσθητο μικροεπεξεργαστή (chip) που ονομάζεται CCD (Charged Coupled Device) ή αλλιώς **οπτικός αισθητήρας**. Αμέσως μετά τη λήψη και επεξεργασία της εικόνας από την ψηφιακή μηχανή η εικόνα αποθηκεύεται, σε ψηφιακή πλέον μορφή, σε κάποιο μέσο αποθήκευσης: Compact Flash Card, Smartmedia Card, Multimedia Card, IBM Microdrive, Memory Stick ή ακόμη και σε CD ROM. Το **CCD** είναι ένα λεπτό ορθογώνιο chip, στη μία πλευρά του (φωτοευαίσθητη επιφάνεια) βρίσκονται χιλιάδες ή εκατομμύρια (mega) εικονοστοιχεία (pixels) που έχουν κατασκευαστεί με κύριο υλικό τη σιλικόνη. Τα pixels (εικονοστοιχεία) έχουν την ιδιότητα να προκαλούν μια μικρή ηλεκτρική ενέργεια, ένα αναλογικό σήμα αν προτιμάτε, κάθε φορά που πραγματοποιείται έκθεση στο φως. Αν έχουμε μεγαλύτερη ένταση φωτός, τότε σημειώνεται και μεγαλύτερη ηλεκτρική τάση. Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται μέχρι τον μετατροπέα A/D (ένας ακόμη επεξεργαστής) ώστε να μετατραπεί το ηλεκτρικό (αναλογικό) σήμα σε ψηφιακό και να αποθηκευτεί στην κάρτα μνήμης. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια ενός CCD (η διαγώνιος αν προτιμάτε) τόσο πιο καθαρές εικόνες παίρνουμε, ενώ η απόδοση των χρωμάτων είναι επίσης καλύτερη. Για να έχουμε μεγάλες εικόνες και κατ' επέκταση μεγαλύτερες εκτυπώσεις, χρειαζόμαστε όσο το δυνατόν περισσότερα pixels. 5 Megapixels είναι αρκετά για μια εκτύπωση μεγέθους A5 (210 x 148 mm) με output 300 dpi.

Κωνσταντίνος Γεράκης
προσφορά του περιοδικού [Macland](#)
Οκτώβριος 2002
(πηγή 9: <http://www.dpgr.gr>)

Κεφάλαιο 1^ο: Επικοινωνία με τους ειδικούς

Φοιτητής: Για κάποιον που τον ενδιαφέρει ουσιαστικά το να μπορεί να διακρίνει ακμές και σημεία πάνω στην εικόνα, όπως γωνίες και ακμές κτιρίων, τι είναι πιο σημαντικό να κοιτάξει πριν αγοράσει μια ψηφιακή κάμερα; Για παράδειγμα, το χρώμα δεν νομίζω να παίζει ρόλο σε αυτή την περίπτωση. Ενώ ανάλυση, οξύτητα, θόρυβος...

Τεχνικός: Ο θόρυβος δεν παίζει ρόλο.

Φοιτητής: Το αντίθετο μιας “sharp” εικόνας... πώς ονομάζουμε μια “sharp” εικόνα στα ελληνικά;

Τεχνικός: Οξεία

Φοιτητής: Το αντίθετο μιας οξείας εικόνας είναι μια θολή εικόνα, σωστά;

Τεχνικός: Ναι

Φοιτητής: Αν ένας Τοπογράφος θέλει να αγοράσει μια ψηφιακή κάμερα για φωτογραμμετρική χρήση, δεν αρκεί να πάρει μία πχ. των 10 megapixel γιατί έχει την μεγαλύτερη ανάλυση από αυτές που κυκλοφορούν στην αγορά, σωστά;

Τεχνικός: Όχι η ανάλυση δεν έχει καμία σχέση.

Φοιτητής: Το να έχει μεγαλύτερη ανάλυση βοηθάει στην ποιότητα όμως...

Τεχνικός: Δεν έχει σχέση...

Φοιτητής: Όχι;

Τεχνικός: Η καλύτερη compact που υπάρχει αυτή τη στιγμή είναι μια Fují, η F30, που είναι στα 6 megapixel.

Φοιτητής: Άρα το “καλύτερη εικόνα” το λέμε βάσει της πείρας, βλέποντας την εικόνα.

Τεχνικός: Είναι η φυσική οξύτητα.

Φοιτητής: Και όταν λέμε φυσική οξύτητα εννοούμε την οξύτητα που βλέπουμε στην πραγματικότητα να την βλέπουμε στην εικόνα;

Τεχνικός: Ναι. Όταν βγεις έξω τι βλέπεις και τι βλέπει η κάμερα.

Με την τελευταία κουβέντα κατάλαβα ότι ήμουν στο σωστό δρόμο για την εργασία μου αλλά και ότι θα ήταν δύσκολο να καταλήξω σε ένα απόλυτο συμπέρασμα. Η παραπάνω συζήτηση έγινε με τον κ. Γ. Ατσαμετάκη, έναν από τους τεχνικούς του περιοδικού *Photonet*, το οποίο κάνει σοβαρή δουλειά στον χώρο της Ψηφιακής Φωτογρα-

φίας και χρησιμοποιεί διεθνή στάνταρ σχετικά με την αξιολόγηση ψηφιακών μηχανών. Είναι ενδεικτική του πού θα οδηγηθεί κάποιος που θα ψάξει πίσω από την επιφάνεια το θέμα της ποιότητας της εικόνας. Και φυσικά θα βρεθεί αντιμέτωπος με διάφορες εκτιμήσεις και ασαφείς ερμηνείες που είναι περισσότερο εμπειρικές και δύσκολο να εξηγηθούν. Η ακόλουθη πρόχειρη σταχυολόγηση εκτιμήσεων και εκφράσεων από περιοδικά που ασχολούνται με την Φωτογραφία είναι χαρακτηριστική:

Η ευκρίνεια είναι εκπληκτική

Η ποιότητα εικόνων είναι πολύ καλή

Στον τομέα της οξύτητας τα αρχεία έχουν μια διακριτική απαλότητα

Η μηχανή είναι απόλυτα κατάλληλη για ακριβή αναπαραγωγή λεπτομερειών

Η ευκρίνεια που δίνει η μηχανή είναι πολύ φυσική

Η στρατηγική αυτή παρέχει υψηλή ακρίβεια.

Το κοινό σε όλες τις παραπάνω φράσεις είναι ότι είναι γενικές εκτιμήσεις, δηλαδή δεν υπάρχει κοινό μέτρο σύγκρισης, κάποια μέτρηση που θα ξεχωρίσει την μια μηχανή από την άλλη με αντικειμενικό τρόπο (η βαθμολογία που δίνεται στην ευκρίνεια, για παράδειγμα, στις περισσότερες περιπτώσεις είναι από εμπειρική παρατήρηση – η οποία ενδεχομένως να είναι και η πιο σωστή, αλλά αυτό δεν μπορεί κανείς να το αποδείξει). Οποιοσδήποτε ενδιαφερθεί να εμβαθύνει στο τεχνικό μέρος της Φωτογραφίας και της αξιολόγησής της θα έρθει αντιμέτωπος με δυσνόητες έννοιες και αντικρουόμενες ερμηνείες αυτών των εννοιών. Τι κάνει μια εικόνα καλή; Πότε μια εικόνα είναι ποιοτική, και τι σημαίνει “ποιοτική” εικόνα; Γιατί όλοι αναφέρονται στην οξύτητα; Ποια η σχέση μεταξύ οξύτητας και ποιότητας; Μόνο η οξύτητα είναι δείκτης ποιότητας; Η ανάλυση της εικόνας επηρεάζει την οξύτητα; Την ποιότητα; Η ανάλυση είναι η οξύτητα ή είναι ευκρίνεια; Η οξύτητα μπορεί να μετρηθεί ή προκύπτει από απλή παρατήρηση; Εάν μπορεί να μετρηθεί, με ποια ακρίβεια γίνεται αυτό; Τι ρόλο παίζει το μέγεθος του αισθητήρα; Αξίζει να ασχοληθεί κάποιος σε βάθος με την μέτρηση της οξύτητας ή οι διαφορές είναι αμελητέες εάν δεν είναι διακριτές με απλή παρατήρηση; Οι απαντήσεις στα ερωτήματα αυτά είναι σημαντικές γιατί εκεί θα φτάσει κάποιος που θέλει να γνωρίζει σε βάθος αν η αγορά του αντιστοιχεί στα χρήματα που θα δώσει και στις ιδιαίτερες ανάγκες του.

Η μετάφραση στα ελληνικά για κάθε μια από ορισμένες έννοιες αποτελεί σημαντικό πρόβλημα. Για παράδειγμα, η λέξη sharp υπάρχει στα λεξικά του Διαδικτύου ως οξύτητα, ενώ έχει συναντηθεί και ως ευκρίνεια. Κανείς όμως δεν αναφέρεται στην acutance, που κάλλιστα θα μπορούσε να μεταφραστεί επίσης ως οξύτητα. Θα δυσκολευ-

τεί επίσης κάποιος να ξεκαθαρίσει τι ακριβώς είναι η οξύτητα για τους φωτογράφους, πέρα από τον θεωρητικό ορισμό της. Σε κανένα από τα αγγλο-ελληνικά λεξικά που βρέθηκαν στο Διαδίκτυο δεν βρέθηκε η ερμηνεία της οξύτητας (sharpness) αλλά μόνο του sharpen.

“Sharpen: Όξυνση. Λειτουργία τονισμού των περιγραμμάτων που αποβλέπει στο να δοθεί η αίσθηση της μεγαλύτερης ευκρίνειας στις λεπτομέρειες.”

Από τον παραπάνω ορισμό είναι μάλλον απίθανο να κατανοήσει κάποιος πολλά για την οξύτητα και γιατί αυτή είναι σημαντική για ποιότητα μιας εικόνας. Μετά από αρκετή αναζήτηση στο Διαδίκτυο και την βιβλιογραφία εντοπίστηκαν έγκυρα άρθρα για την ερμηνεία της οξύτητας.

Άλλα συχνά ερωτήματα που συναντάει κανείς είναι :

- Είναι ο φακός της μηχανής μου οξύς;
- Είναι ο ένας φακός πιο οξύς από τον άλλο;
- Ποια μηχανή από αυτές που υπάρχουν στο εμπόριο, πχ. στα 6 megapixel, είναι καλύτερη για να την αγοράσω;
- Ποιά ανταποκρίνεται καλύτερα στις δικές μου ιδιαίτερες ανάγκες;
- Η κάμερα/φακός αξίζουν τα λεφτά τους ή μπορώ να έχω το ίδιο αποτέλεσμα με έναν πιο φτηνό φακό;

“Go to any of the on-line discussion boards. You will find that talk about lens sharpness represents probably half the discussions — most of it filled with unsubstantiated opinions and mistruths.”

Το παραπάνω είναι από έναν από τους πιο γνωστούς ιστότοπους του Internet σχετικά με το θέμα, με όνομα *The Luminous Landscape*, και είναι από ένα άρθρο για την κατανόηση της Οξύτητας του φακού με τίτλο: “Lens sharpness, the never-ending quest” (<http://www.luminous-landscape.com/tutorials/sharp.shtml>). Και αυτό που λέει είναι ότι εάν ψάξει κανείς σε όλα τα forum σχετικά με τη φωτογραφία θα ανακαλύψει ότι η Οξύτητα του φακού αποτελεί θέμα πιθανόν των μισών συζητήσεων που γίνονται και ότι τα περισσότερα που λέγονται είναι αβάσιμες απόψεις και ανακρίβειες. Αυτή είναι μια πραγματικότητα η οποία αντιμετωπίστηκε και εδώ. Επί πλέον, πρέπει να προστεθεί ότι δεν υπάρχει σαφής τρόπος με τον οποίο μπορεί κανείς να είναι σίγουρος 100% για τα αποτελέσματά του σχετικά με την οξύτητα, εκτός κι αν χρησιμοποιεί τα ακριβά όργανα που υπάρχουν μόνο σε εξειδικευμένα εργαστήρια. Με λίγα λόγια, ούτε αυτές οι ιστοσελίδες προσφέρουν την λύση στους ενδιαφερόμενους. Απλά προσφέρουν την

άποψη τους στο θέμα, βάσει της εμπειρίας τους, και πολλές φορές οι απόψεις στους διαφορετικούς δικτυακούς τόπους δίστανται.

Παρατίθεται εδώ η επικοινωνία που είχαμε με δυο από τα πιο δημοφιλή πρόσωπα (ή εκπροσώπους) του Διαδικτύου σχετικά με την αξιολόγηση ψηφιακών μηχανών, οι οποίοι χρησιμοποιούν στοιχεία ο ένας από τον άλλο. Ο λόγος είναι ότι υπάρχουν διαφορετικές απόψεις που κρίνουμε ότι πρέπει να παρατεθούν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Είναι απαντήσεις σε ερωτήματα που έχουν γίνει από τον συγγραφέα της διπλωματικής εργασίας (με όνομα χρήστη *Kos Theo*). Οι δυο ιστότοποι είναι το www.imatest.com του Norman Koren και το www.imaging-resource.com, όπου και μας απάντησε ο David Etchells (Publisher, Editor). Έχει υπογραμμιστεί η διαφωνία του David Etchells με την άποψη του Norman Koren ότι η MTF50 (θα εξηγηθεί στην συνέχεια) δίνει μια ικανοποιητική μέτρηση της οξύτητας όπως την αντιλαμβάνεται το μάτι (perceptual sharpness). Με λίγα λόγια, από τη μια έχουμε έναν γνωστό επιστήμονα της φωτογραφίας, τον Norman Koren, που έχει δημιουργήσει μια σελίδα αφιερωμένη στην αξιολόγηση ψηφιακών μηχανών και ένα λογισμικό για αυτόν το σκοπό (το οποίο και πουλάει), που υποστηρίζει ότι είναι δυνατό να γίνουν αντικειμενικές μετρήσεις ποιότητας (άρα οξύτητας, εκτός των άλλων) εικόνων – και από την άλλη, έναν υπεύθυνο ενός ιστοτόπου με παρουσιάσεις και αξιολογήσεις μηχανών, που μάλιστα χρησιμοποιεί αποτελέσματα του λογισμικού του Norman Koren στις εκτιμήσεις διαφόρων μηχανών, αλλά διατηρεί επιφυλάξεις για το κατά πόσο μπορεί κανείς να είναι βέβαιος για τα αποτελέσματα (όχι μόνο του συγκεκριμένου λογισμικού αλλά γενικότερα οποιασδήποτε ανάλυσης ποιότητας που επιχειρεί να δώσει μετρήσεις εργαστηρίου).

Ακολουθεί η επικοινωνία και με τους δυο. Υπενθυμίζεται ότι σκοπός ήταν να βρεθεί η πλέον εύκολη και γρήγορη μέθοδος, με την οποία θα έβγαιναν συμπεράσματα για το ποια ψηφιακή μηχανή με τον φακό που διατίθεται στην αγορά είναι η καλύτερη. Γι' αυτό η ερώτηση αφορά έτοιμες εικόνες για ανάλυση που παρέχονται στο Internet. Επιδίωξη ήταν να διαπιστωθεί αν μπορούμε να τις χρησιμοποιήσουμε χωρίς κόστος σε ακρίβεια (λόγω συμπίεσης του jpeg – το format στο οποίο παρέχονται).

[Show unread posts since last visit.](#)

[Show new replies to your posts.](#)

Total time logged in: 27 minutes.

News: SMF - Just Installed!


[Home](#) [Help](#) [Search](#) [Profile](#) [My Messages](#) [Members](#) [Logout](#)

[Imatest](#) > [Imatest Forums](#) > [Questions and Support](#) (Moderator: [Henry](#)) > [Can I use the resolution charts provided for download?](#)

[« previous](#) [next »](#)

Pages: [1]

[Reply](#) | [Notify](#) | [Mark unread](#) | [Print](#)

 Author Topic: Can I use the resolution charts provided for download? (Read 81 times)

[Kos Theo](#) 

Posts: 1

[Can I use the resolution charts provided for download?](#)
« on: November 09, 2006, 09:08:15 am [Quote](#) [Modify](#)
» [Remove](#)

Hi,


I am starting a project on comparison of digital cameras with MTF analysis. I would like to know if I can use the resolution charts provided from sites like

dpreview.com or
imaging-resource.com

for downloading. Are these charts trustworthy to use for SFR analysis or do I have to print a target and take my own pictures?

Do you have any recommendations or any advice?

Thanks,
Kos

 [87.203.118.141](#)

[normkoren](#)
Administrator
Newbie
☆☆☆☆☆
Posts: 199



[Can I use the resolution charts provided for download?](#)
« Reply #1 on: November 09, 2006, 10:21:01 pm » [Quote](#)

Kos, These charts are trustworthy as long as you are aware of their limitations. They are generally made with one lens-- typically a high quality prime lens at optimum aperture, i.e., a 50 or 100 mm lens at around f/8 for DSLRS; f/4 to f/5.6 for compacts.

They also probably use the standard (default) built-in raw converter settings. Sharpness is affected by these settings, which make it difficult to compare cameras based on simple measurements like MTF50.

 [Logged](#)

Resolution charts

Original Topic Message



Kos Theo - 10:51am Nov 9, 2006 EST

Hi this is Kos,

I am doing a project on Digital cameras comparison. I am using the resolution charts provided by this site (among others).

Downloading the images of these charts is ok, or the image loses information or is compressed for downloading? Are these charts for use ?

Just to let you know, I am using Imatest.com software and I am doing an analysis on sharpness with MTF charts.

Please inform me if downloading the charts images is the right thing to do or should I take my own photos on a printed target?

Thank you,
Kos

< [Previous Discussion](#) | [Next Discussion](#) >



sysop - 10:19am Nov 10, 2006 EST (#1 of 3)

Kos:

Dave writes: __

Hi Kos –

Thanks for asking permission, I really appreciate it. Is this for a personal project, for another website, for school, or for a company? For personal interest, I have no problem whatsoever: Our copyright info states straight up that readers are free to download images and do whatever they like with them, for personal use and edification.

If it's for one of the other scenarios, I'd like to know a little more. School is probably fine, another site or a company, we should talk.

As to the images, they should be fine for that usage: All the JPEGs are exactly as they came from the camera, there's been no additional compression or other modification made to them. One caution though: If you connect through AOL, they used to recompress images to speed flow over their network. I don't know if they still do this or not, but it really made a hash of our test images. Also, if you use an "internet accelerator" program, it's probably doing much the same thing, so could affect image quality. Normal internet connections should be just fine though, you'll get the images exactly as if you shot them yourself.

Best,
- Dave E.

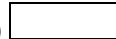
—

Hope this helps.

Forum Admin



Kos Theo - 09:48am Nov 14, 2006 EST (#2 of 3)



Hi Dave E,

this has to do with my diploma thesis which is a comparison of the digital cameras that they use in this university, focused on lens testing, basically. I am going to check the results given by these charts and then I am going to do a more in-depth analysis that they already do here and has to do with accuracy (calibration etc). The purpose is to see if both ways present the same digital camera as better than the others. The department, in case you know it, is Photogrammetry.

So, I hope there is no problem with it. Also in case you happen to know anything more on the subject, like where else to look for, I will be glad to know.

Thank you for the reply,

Regards,
Kos



sysop - 05:14pm Nov 14, 2006 EST (#3 of 3)

Kos:

Dave writes:

—

Hi Kos -

That sounds like a perfectly OK usage of our images, good luck on your thesis! It's an interesting subject, the edge profile sharpness in camera images doesn't necessarily correlate with spatial frequency response, and neither is necessarily a good measurement of perceptual sharpness. **Norm Koren (Imatest author) feels that the MTF 50 criteria correlates well, but I don't think there's a single good measure out there.** (Also interesting to see is how varying amounts of unsharp masking affect both perceptual sharpness and the various quantitative measurements.)

Good luck, sounds like an interesting project!

Best,
- Dave E.

—

Hope this helps.

Forum Admin

[< Previous Discussion](#) | [Next Discussion >](#)

[The Imaging Resource Forums](#) > [Imaging Resource Site Comments](#) >
Resolution charts

Κεφάλαιο 2^ο: Πώς να επιλέγει κανείς φακό για την μηχανή του

Πριν αναφερθεί η εργασία σε βασικές έννοιες, ιδίως όσον αφορά την MTF (βλ. Κεφ. 5), επιλέχθηκε να παρατεθούν στοιχεία από μία μάλλον περιγραφική αλλά κατανοητή δημοσίευση (http://www.fotogenetic.dearingfilm.com/how_to_choose_a_lens.html) η οποία αναφέρεται στα βήματα που θα πρέπει να ακολουθήσει κανείς για να κάνει σωστή επιλογή φακού στηριζόμενος σε γραφήματα MTF. Η δημοσίευση δεν αποτελεί, έτσι, σε βάθος ανάλυση της θεωρίας της MTF, αντιθέτως δίνει τα βασικά των όσων θα πρέπει να γνωρίζει κανείς σχετικά με τα διαγράμματα MTF. Κυρίως δε, δίνει μια συνοπτική μέθοδο για να επιλέξει κανείς τον καλύτερο φακό που ικανοποιεί τις ανάγκες του. Η εργασία αυτή είχε γραφτεί για τις αναλογικές φωτογραφικές μηχανές. Όταν αναφέρεται στο γράφημα MTF, εννοεί εκείνο του φακού. Σήμερα ο σωστός τρόπος επιλογής μιας ψηφιακής μηχανής βάσει της καμπύλης MTF είναι μέσω της ανάλυσης της καμπύλης MTF του συστήματος φακού-μηχανής και όχι απλώς του φακού. Αυτό είναι διαφορετικό από τον υπολογισμό της MTF (MTF1, MTF2, MTF3,...) για κάθε επιμέρους στοιχείο του οπτικού συστήματος (φακός, φίλμ, εκτύπωση κ.λπ.), και μετά μαθηματικό υπολογισμό της συνολικής MTF του όλου συστήματος (πχ. $MTF = MTF1 * MTF2 * MTF3 * \dots$). Η διαφορά είναι ότι ο ψηφιακός αισθητήρας συμπεριφέρεται εντελώς διαφορετικά (μπορούμε να πούμε απρόβλεπτα) όταν αλλάξουμε τον φακό μπροστά του. Ο λόγος αναλύεται διεξοδικά στην συνέχεια. Άρα δημιουργούμε ως πρωτεύουσα καμπύλη MTF αυτή του συστήματος φακού-μηχανής, και αυτή είναι που αναλύουμε. Με δεδομένο ότι κάθε μηχανή εμφανίζεται στο εμπόριο με έναν φακό, μπορούμε κατ' αρχήν να συγκρίνουμε άφοβα τα διάφορα μοντέλα μηχανών μεταξύ τους, και αυτό γιατί πολύ απλά θα αγοράσουμε τον φακό που συνοδεύει την μηχανή είτε το θέλουμε είτε όχι.

Στο κείμενο που ακολουθεί εξηγείται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η επιλογή φακού μέσω των MTF του, γιατί η διαδικασία και οι όροι που χρησιμοποιούνται είναι τα ίδια και στην περίπτωση των ψηφιακών μηχανών.

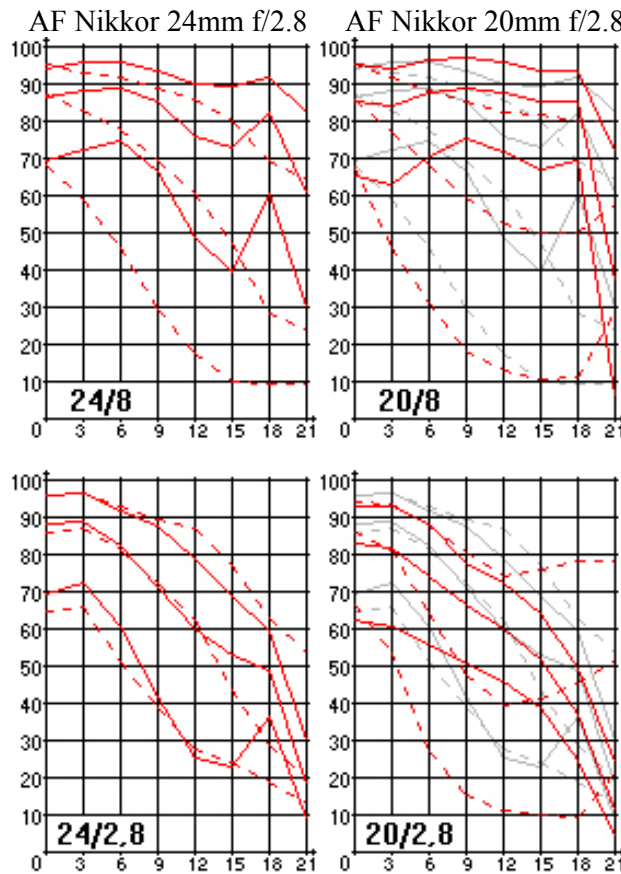
Οι αρχάριοι φωτογράφοι δεν έχουν την πολυτέλεια να αγοράζουν τυχαία έναν φακό, μόνο και μόνο για να ανακαλύψουν ότι δεν εξυπηρετεί τις δικές τους ιδιαίτερες ανάγκες όσον αφορά την οξύτητα. Επίσης δεν έχουν την οικονομική δυνατότητα να ξοδέψουν τα χρήματά τους στους ακριβότερους φακούς. Η πραγματικότητα είναι ότι υπάρχουν στην αγορά φτηνοί φακοί που δίνουν τα ίδια αποτελέσματα με φακούς πολλαπλάσιου κόστους. Αν το ψάξει κανείς σε βάθος θα ανακαλύψει ότι οι πιο ακριβοί φακοί δεν είναι πάντα και οι πιο οξείς. Αντίθετα, για παράδειγμα, ένας από τους πιο φτηνούς φακούς που παράγουν η Canon και η Nikon, ο 50mm f/1.8, συμβαίνει να είναι και από τους πιο οξείς. Το γεγονός ότι δεν είναι φακός zoom δεν είναι λόγος να μας απασχολεί. Αυτό που πρέπει να κάνει κανείς με έναν σταθερό φακό είναι απλώς να μετακινηθεί μερικά βήματα. Έτσι, ο 50mm f/1.8 θα έχει το ίδιο αποτέλεσμα με έναν φακό zoom όπως αυτός της Nikkor 35-70mm f/2.8 που κοστίζει 6 φορές ακριβότερα. Ο 35-70mm είναι στη μισή τιμή του Nikkor 28-70mm f/2.8 και παρ' όλα αυτά είναι καλύτερος για f/8. Η μόνη περίπτωση όπου ο 28-70mm παρουσιάζεται ανώτερος από τον 35-70mm είναι με ανοιχτό διάφραγμα στην μέγιστη εστιακή απόσταση. Αυτό μπορεί να είναι ασήμαντο για τον φωτογράφο ανάλογα με τις ανάγκες του.

Γιατί οι υποκειμενικές εκτιμήσεις φακών, όπως και αξιολογήσεις MTF, μπορεί να είναι ανακριβείς.

Πολλοί, όταν πρόκειται να επιλέξουν ένα φακό δεν σκέφτονται σοβαρά πού θα χρησιμοποιηθεί αυτός ο φακός. Οι περισσότεροι θέλουν έναν φακό για όλες τις περιπτώσεις, τον οποίο θα συνδέσουν στην κάμερα και δεν θα ασχοληθούν ξανά με αυτό το θέμα. Αφού διαβάσουν μερικές υποκειμενικές εκτιμήσεις, οι περισσότεροι (κάποιοι ελάχιστοι ίσως κοιτάζουν και συγκρίνουν τα αποτελέσματα των MTF) τελικά αγοράζουν τον φακό. Όμως όταν εξετάσουν τις φωτογραφίες τους, έκπληκτοι διαπιστώνουν ότι δεν είναι τόσο οξείς όσο θα περίμεναν, παρά το γεγονός ότι ο φακός είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα MTF. Πως συνέβη αυτό; Πέρα από την τεχνική του φωτογράφου, ένα από τα προβλήματα είναι ότι ο φακός τον οποίο αγόρασαν μπορεί όντως να είναι οξύς, αλλά όχι στην εστιακή απόσταση και στο διάφραγμα στα οποία συνηθίζει να δουλεύει ο συγκεκριμένος φωτογράφος. Με άλλα λόγια: *για το δικό του στυλ φωτογραφίας (του φωτογράφου), ο φακός δεν είναι οξύς.*

Δεν είναι αρκετό να διαβάσει κανείς υποκειμενικές εκτιμήσεις φακού και γενικές α-

ναφορές. Κατ' αρχάς, φυσικά, είναι υποκειμενικές. Ο συγγραφέας της αναφοράς στο φακό είναι πιθανό να έχει εντελώς διαφορετικό στυλ από τον αναγνώστη. Οι υποκειμενικές εκτιμήσεις είναι ιδανικές για να παίρνει κανείς μια γενική ιδέα για την ποιότητα κατασκευής. *Αλλά για να αποφασιστεί η οξύτητα, δεν υπάρχει κάτι πιο αντικειμενικό από την κατανόηση του γραφήματος MTF.* Αλλά ακόμα και οι MTF μπορεί να οδηγήσουν σε λάθος συμπεράσματα. Τούτο συμβαίνει γιατί δίνουν μόνο έναν γενικό μέσο όρο της απόδοσης του φακού. Πρέπει επομένως να εξετάζει κανείς το γράφημα MTF σε όλη του την έκταση και όχι μόνο τον συνολικό βαθμό της MTF.



Για την λεπτομερή κατανόηση των διαγραμμάτων MTF της συγκεκριμένης μορφής δεξ ενότητα 5.3.2.2 (MTF σε όλο το μήκος της εικόνας).

Για παράδειγμα, ο Nikkor AF 24mm f/2.8 έχει συνολικό βαθμό MTF 3.7. Είναι λίγο καλύτερος από τον Nikkor 20mm που έχει βαθμό 3.5. Παρ' όλα αυτά, κοιτάζοντας τα γραφήματα MTF σε όλο το εύρος τους βλέπουμε ότι ενώ ο Nikkor 24mm είναι πιο οξύ στο κέντρο από τον 20mm, στις γωνίες είναι λίγο πιο οξύς ο 20mm. Ανάλογα με το στυλ του, κάποιος μπορεί να προτιμά την πιο ίσα καταμερισμένη οξύτητα του φακού 20mm από την εστιασμένη στο κέντρο οξύτητα του 24mm.

Κατάληξη των παραπάνω είναι ότι πρέπει πρώτα κανείς να κατανοήσει τι ζητάει από έναν φακό. Και για να το ξεδιαλύνει αυτό, πρέπει να κατανοήσει το στυλ της φωτογραφίας που θέλει να βγάλει. Επιπλέον, για να έχει μια ακριβή εκτίμηση ενός φακού κοιτάει όλο το εύρος του γραφήματος MTF και όχι την τελική βαθμολογία που προκύπτει από ένα γράφημα. Στην πράξη, τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει κάποιος (σε συνδυασμό με μια βασική κατανόηση των γραφημάτων MTF) για να πάρει μια πιο μελετημένη απόφαση στην αγορά φακού για την μηχανή του είναι τα εξής:

1° Βήμα

Απόφαση για το στυλ της φωτογραφίας για το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ο φακός

Στυλ: Οι συνδυασμοί διαφράγματος, εστιακής απόστασης και θέσης του αντικειμένου στην εικόνα που χρησιμοποιούνται επί το πλείστον.

1. Τοπία

Συνήθως τα τοπία απαθανατίζονται ευρυγώνια με το διάφραγμα κλειστό για να έχουμε σε όσο γίνεται μεγαλύτερο μέρος της εικόνας εστιασμένο θέμα (όσο γίνεται μεγαλύτερο βάθος πεδίου) και ευκρίνεια. Αν λοιπόν σκοπεύει κανείς να φωτογραφήσει κυρίως τοπία, τότε χρειάζεσαι έναν ευρυγώνιο φακό (ισοδύναμο των 35mm ή λιγότερο) που είναι ομοιόμορφα οξύς σε ολόκληρο το οπτικό πεδίο όταν ο φακός είναι κλειστός (με το μικρότερό του διάφραγμα – f/8 ή μικρότερο).



2. Πορτρέτα

Τα περισσότερα πορτρέτα τοποθετούν το θέμα στο κέντρο της εικόνας και η λήψη γίνεται με έναν μέσο τηλεφακό (μεγάλη εστιακή απόσταση). Το διάφραγμα είναι συνήθως πλήρως ανοιχτό ή σχεδόν ανοικτό για να θολώσει το φόντο. Έτσι, όταν επιθυμούμε να χρησιμοποιήσουμε τον φακό για πορτρέτα θα πρέπει να κοιτάζουμε για μέσο τηλεφακό, δηλαδή ισοδύναμο των 70-150 mm. Επιπλέον θα κοιτάζουμε να είναι οξύς στο κέντρο στο μεγαλύτερο διάφραγμά του (f/4 ή μεγαλύτερο).



<http://www.sadiemoden.c>

3. Στον δρόμο (ενσταντανέ)

Για λήψεις δρόμου όπου πρέπει να καταγράψει κανείς στιγμιαία την δράση, θα χρειαστεί κανονικό φακό zoom (μεταξύ 35-100mm) που είναι οξύς σε όλη του την έκταση όταν είναι μερικώς κλειστός (f/8). Ο λόγος για τον οποίο



<http://www.markushartel.com/blog/turning.jpg>

πρέπει να είναι οξύς σε όλη την έκτασή του είναι γιατί αυτού του είδους οι λήψεις συχνά περιλαμβάνουν ανθρώπους ή αντικείμενα που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και όχι μόνο ένα μοναδικό θέμα. Και επιθυμούμε να είναι ο φακός κλειστός γιατί θα δώσει μεγαλύτερο βάθος πεδίου, έτσι ώστε ακόμα και αν δεν έχει κανείς τον χρόνο να εστιάσει ακριβώς εκεί όπου θα επιθυμούσε λόγω του αυθόρμητου της λήψης, να έχει περισσότερες πιθανότητες το θέμα του να είναι εστιασμένο.

4. Δράση

Τα ίδια με προηγουμένως, με τη διαφορά ότι θα χρειαστεί μεγαλύτερος τηλεφακός, τουλάχιστον στα 200mm και καλύτερα, κάπου μεταξύ 300-600mm. Επίσης θα θέλει κανείς έναν φακό που είναι οξύς όταν είναι ανοιχτός για να θολώσει το φόντο. Γενικά, το f/5.6 δίνει καλή ισορροπία



www.bophoto.com/e-10/action.html

μεταξύ θολώματος του φόντου και διατήρησης ικανοποιητικού βάθους πεδίου ώστε να υπάρχει περιθώριο στην εστίαση.

5. Αφηρημένα

Οι αφηρημένες εικόνες μπερδεύουν το μάτι στην εκτίμηση του βάθους. Για να έχει κανείς αυτό το αποτέλεσμα πρέπει να εξαιρεθούν οποιαδήποτε στοιχεία προδίδουν την ύπαρξη βάθους, όπως η εστίαση. Με το να εστιάζει κανείς σε ένα αντικείμενο που είναι κοντά στην εικόνα κάνει πιο έντονο το βάθος πίσω από το αντικείμενο (θολό φόντο). Στην περίπτωση που θέλουμε το αποτέλεσμα μια είναι μια αφηρημένη εικόνα κάτι τέτοιο πρέπει να αποφευχθεί. Έτσι επιλέγουμε για φακούς που είναι



ομοιόμορφα οξείς σε όλο το πλαίσιο όταν είναι κλειστοί (f/8 ή λιγότερο).

6. Φύση

Οι περισσότερες φωτογραφίες που αφορούν την φύση απαιτούν μεγάλους τηλεφακούς (300mm ή και περισσότερο) με ανοικτά διαφράγματα (f/4 ή μεγαλύτερα). Αυτό επιτρέπει να θολωθεί το φόντο και να τονιστεί το θέμα. Έτσι, χρειάζεται τηλεφακός με μεγάλο άνοιγμα διαφράγματος που είναι οξύς όταν είναι ανοιχτός.



2^ο Βήμα

Ταξινόμηση των στυλ φωτογραφίας για τα οποία θα χρησιμοποιηθεί ο φακός

Στην διαδικασία του να αποφασίσει κανείς το στυλ φωτογραφίας που του ταιριάζει θα ανακαλύψει ότι στις επιθυμίες του αντιστοιχούν μια ή περισσότερες κατηγορίες. Με αυτό τον τρόπο ξεφεύγει από τον απλό αγοραστή ο οποίος τα θέλει όλα από ένα φακό. Μερικοί φακοί είναι όντως κατασκευασμένοι με σκοπό να ικανοποιήσουν όλα τα στυλ φωτογραφίας (πχ. οι φακοί zoom που επιχειρούν να καλύψουν εύρος εστιακών αποστάσεων). Το πρόβλημα με αυτούς του φακούς είναι ότι δεν είναι ισοδύναμοι με τους σταθερούς φακούς της εκάστοτε εστιακής απόστασης. Από την άλλη, δεν είναι πρακτικό να αγοράσεις έναν σταθερό φακό για κάθε εστιακή απόσταση που σε ενδιαφέρει. Αυτό που πρέπει να γίνει είναι να βρεθεί μια ισορροπία μεταξύ των δυο. Και αυτό είναι δυνατό να επιτευχθεί με την ταξινόμηση των στυλ φωτογραφίας που θα αποτυπώσει ο φακός βάσει της συχνότητας εμφάνισης τους (για τον κάθε φωτογράφο).

Ακολουθεί ένα παράδειγμα από τον συγγραφέα της προαναφερθείσας δημοσίευσης, όπου τελικά επέλεξε να αγοράσει τον Nikkor AF 35-70mm f/2.8 D και πέρασε από την εξής διαδικασία:

Ταξινόμησε τα στυλ φωτογραφίας που επρόκειτο περισσότερο να ακολουθήσει με τον ακόλουθο τρόπο:

Προτεραιότητα 1. Πορτραίτα, φακός οξύς στο κέντρο στα 70mm ή και περισσότερο με το διάφραγμα πλήρως ανοικτό.

Προτεραιότητα 2. Τοπία, φακός οξύς σε όλη την έκταση στα 35 mm ή λιγότερο

με κλειστό διάφραγμα.

Προτεραιότητα 3. Φωτογραφία δρόμου, φακός οξύς σε όλη την έκταση από ευρυγώνιος έως τηλεφακός με κλειστό διάφραγμα (f/8).

Προτεραιότητα 4. Αφηρημένα, φακός οξύς σε όλη την έκταση από ευρυγώνιος έως τηλεφακός με κλειστό διάφραγμα (f/8 και μικρότερο).

Συνοψίζοντας τις προτεραιότητές του, αναζητούσε γενικά για έναν φακό που θα ήταν οξύς στο κέντρο του όταν ήταν εντελώς ανοιχτός σε μεγάλη εστιακή απόσταση (για πορτρέτα) και οξύς σε ολόκληρη την έκταση όταν ήταν κλειστός από ευρυγώνιος έως τηλεφακός (για τοπία, ενσταντανέ και αφηρημένα). Τελικά επιλέχθηκε ο Nikkor AF 35-70mm f/2.8 D, όμως υπήρχαν μερικοί ακόμα φακοί με παρόμοια χαρακτηριστικά οι οποίοι επίσης εξετάστηκαν.

3^ο Βήμα

Επιλογή πιθανών φακών

- Το πρώτο βήμα στο συγκεκριμένο παράδειγμα για να επιλέξει ποιοι φακοί κάλυπταν τις ανάγκες του ήταν να κοιτάξει όλους τους φακούς που κάλυπταν τις απαιτούμενες εστιακές αποστάσεις. Έτσι, αναζητήθηκαν όλοι οι φακοί zoom με εστιακή απόσταση μεταξύ 24mm και 150mm, και ειδικότερα εξετάστηκαν οι ακόλουθοι AF Nikkor: 35-70mm f/2.8, 35-135mm f/3.5-4.5, 28-105mm f/3.5-4.5, 28-85mm f/3.5-4.5 και 28-70mm f/2.8.

- Κατόπιν απερρίφθησαν ορισμένοι φακοί βάσει υποκειμενικών εκτιμήσεων, όπως είναι αναφορές για τους συγκεκριμένους φακούς στο Διαδίκτυο. Αυτό που αναζητούσε ήταν παράπονα από αγοραστές τα οποία επαναλαμβάνονταν από διαφορετικές πηγές. Όσο συχνότερα αναφερόταν ένα παράπονο τόσο περισσότερες ήταν οι πιθανότητες να είναι αληθές.

- Επίσης απέρριψε φακούς εκτός του οικονομικού προϋπολογισμού του. Για παράδειγμα, ο AF Nikkor 28-70mm f/2.8 με τιμή 1200\$ ήταν πολύ ακριβός. Ακόμα και ο 35-70mm στα 400\$ στο E-Bay ήταν πάνω από το ποσό που υπολόγιζε να ξοδέψει, αλλά αποφάσισε να τον κρατήσει στη λίστα του γιατί ήταν κοντά στα λεφτά που είχε.

Επιπλέον, αποφάσισε να κρατήσει εκτός λίστας φακούς από άλλους κατασκευαστές (third-party lenses) καθαρά για λόγους μεταπώλησης του φακού, αφού τα αυθεντικά

αντικείμενα διατηρούν την αξία τους περισσότερο. Επισημαίνει χαρακτηριστικά, πάντως, ότι γενικά δεν πρέπει να περιορίζεται κανείς αποκλειστικά σε φακούς Nikon και Canon. Οι εταιρείες Sigma, Tamron και Tokina προσφέρουν επίσης ορισμένους εξαιρετικούς φακούς που σε ορισμένες περιπτώσεις υπερτερούν των αντίστοιχων πρωτότυπων.

4^ο Βήμα

Κατάταξη φακών βάσει των διαγραμμάτων MTF

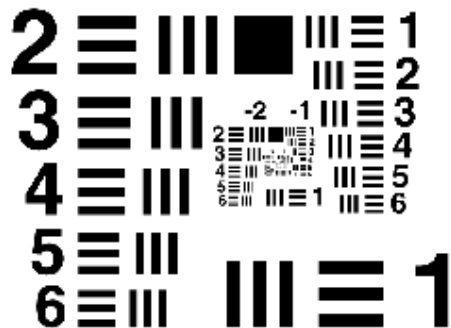
Σε αυτό το σημείο είναι που μπαίνει η κατανόηση των διαγραμμάτων MTF. Σε αυτό το βήμα ο φωτογράφος εξετάζει τα διαγράμματα MTF των φακών που έχουν απομείνει στη λίστα του. Κατατάσσει τους φακούς συγκρίνοντας την οξύτητά τους στα διαγράμματα και τις εστιακές αποστάσεις που αντιστοιχούν σε κάθε στυλ φωτογραφίας που επιλέγει. Δημιουργείται έτσι ένας πίνακας με τα αποτελέσματα και τελικά αποδίδεται μια βαθμολογία σε κάθε φακό. Η βαθμολογία προκύπτει από τον ακόλουθο πολλαπλασιασμό:

προτεραιότητα του στυλ × κατάταξη του φακού συγκριτικά με τους υπόλοιπους φακούς στη λίστα
--

Θα ακολουθήσει λεπτομερής περιγραφή της αξιολόγησης των φακών, πρώτα όμως πρέπει να εξηγηθούν τα βασικά της κατανόησης των γραφημάτων MTF.

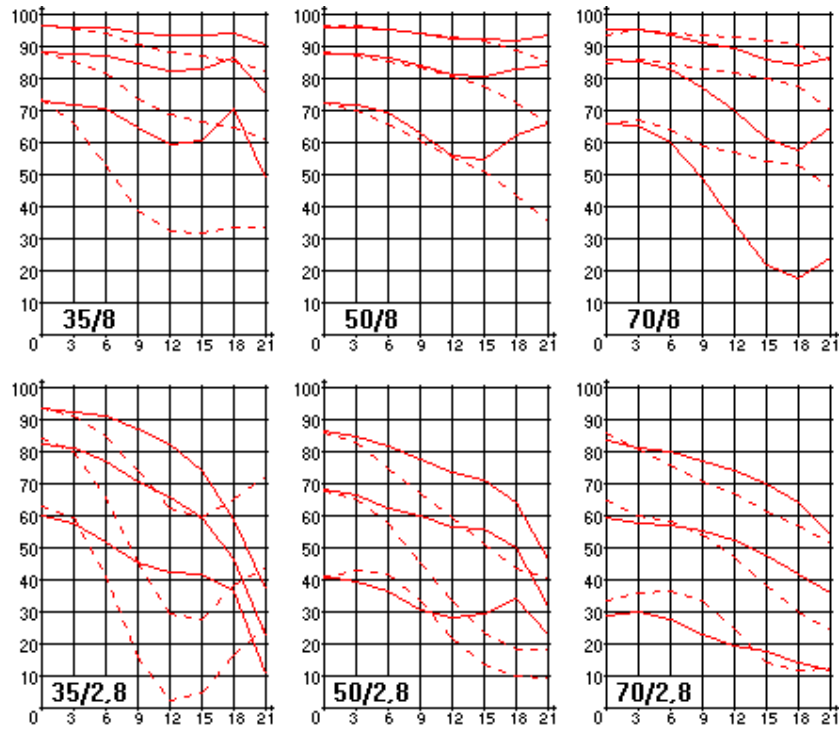
Τι πρέπει να ξέρει κανείς για την MTF

Για να κατανοήσει κανείς την καμπύλη MTF και πώς αυτή σχετίζεται με την οξύτητα πρέπει πρώτα να καταλάβει τι πραγματικά είναι η οξύτητα. Δεν είναι τίποτα περισσότερο από την τοπική αντίθεση, ή αλλιώς αντίθεση μεταξύ μικρών λεπτομερειών της φωτογραφίας. Όταν οι εκτιμητές δημιουργούν γραφήματα MTF, στην ουσία μετρούν την αντίθεση μεταξύ γραμμών σε έναν ειδικό στόχο όπως αυτή φαίνεται μέσα από το φακό και την συγκρίνουν ποσοστιαία με την πραγματική αντίθεση που έχουν οι γραμμές πάνω στον στόχο. Ένας τέλειος φακός θα μετέφερε του 100% της αρχικής αντίθεσης των γραμμών στον στόχο. Φυσικά τέτοιος φακός δεν υπάρχει. Ένα παράδειγμα στόχου που χρησιμοποιείται από την United States Air Force (USAF), πάνω στον οποίο βασίζονται πολλοί άλλοι, είναι το ακόλουθο.

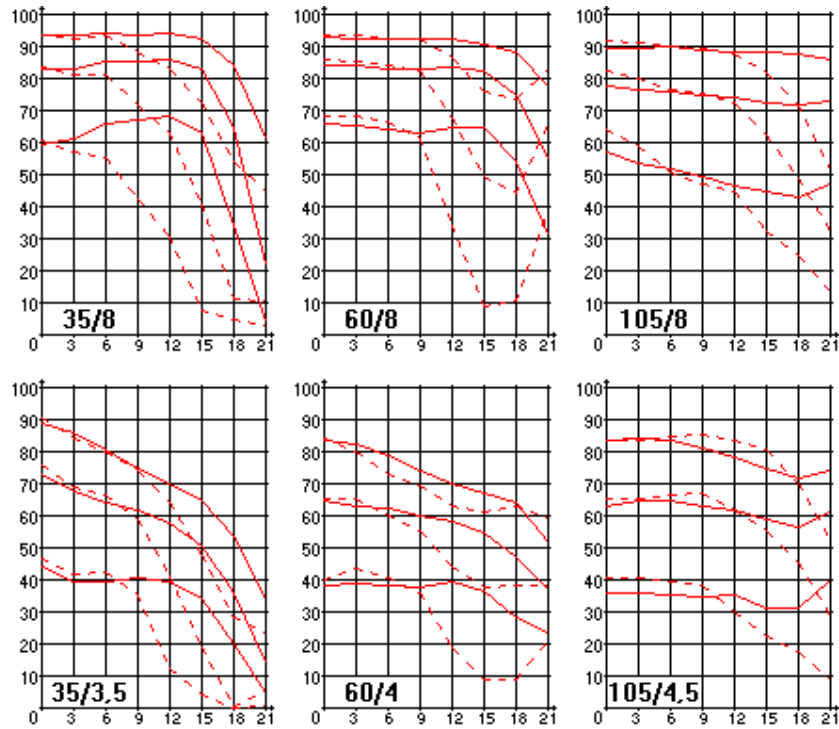


USAF 1951 Test Target

Όταν μελετά κανείς τα γραφήματα MTF βλέπει δυο άξονες. Ο κατακόρυφος αναπαριστά το ποσοστό της αντίθεσης που μπορεί να διατηρήσει ο φακός σε σύγκριση με τον στόχο που υπάρχει απέναντι από το φακό. Ο οριζόντιος άξονας αναπαριστά την απόσταση από το κέντρο της εικόνας. Επιπλέον, υπάρχουν συνήθως αρκετά τέτοια γραφήματα για να παρουσιάσουν την απόδοση του φακού σε διαφορετικά διαφράγματα αλλά και εστιακές αποστάσεις (εφόσον είναι φακός zoom). Σε κάθε γράφημα υπάρχουν τρεις συνεχείς γραμμές. Αυτές οι γραμμές αναπαριστούν την ικανότητα του φακού να αναδείξει ακτινικά τις γραμμές του φωτογραφιζόμενου στόχου. Οι γραμμές που βρίσκονται ψηλότερα στο γράφημα δείχνουν την απόδοση του φακού στα 10 ζευγάρια γραμμών ανά χιλιοστό (lp/mm) στον στόχο. Οι επόμενες στα 20 και στα 40 ζευγάρια γραμμών ανά χιλιοστό, αντίστοιχα. Αντίθετα, οι διακεκομμένες γραμμές αναφέρονται σε διεύθυνση εφαπτομενική, δηλαδή κάθετα στην ακτίνα από το κέντρο της εικόνας.



AF Nikkor 35-70mm f/2.8 D

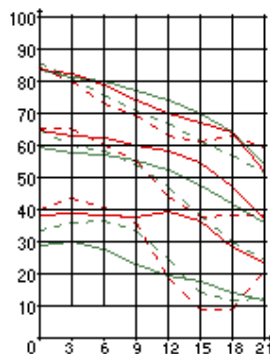


AF Nikkor 35-105mm f/3.5-4.5

Σε τι διαφέρουν οι ψηφιακές μηχανές

Τα γραφήματα MTF για τους περισσότερους φακούς μετρούνται με βάση τις διαστάσεις του φιλμ που στην περίπτωση του μηχανών 35 mm είναι περίπου 21 mm στην ημιδιαγώνιο, οπότε και μετρούνται μέχρι αυτή την απόσταση. Τώρα με τους μικρότερους αισθητήρες των ψηφιακών μηχανών SLR, που στην περίπτωση των Nikon DX standard έχουν διαστάσεις 23.7mm x 15.5mm, η ακτινική απόσταση από το κέντρο είναι μόλις 14mm. Αυτό σημαίνει ότι θα αγνοήσει κανείς οτιδήποτε φαίνεται δεξιότερα των 14 mm στα γραφήματα MTF. Τούτο σημαίνει ότι έχει αγνοήσει την περιοχή του φακού που είναι συνήθως η πλέον περιορισμένη σε οξύτητα. Αυτός είναι άλλος ένας ο λόγος που η συνολική εκτίμηση των MTF μπορεί να οδηγήσει τους χρήστες ψηφιακών μηχανών σε εσφαλμένες εκτιμήσεις.

Τώρα που έγιναν κατ' αρχήν αντιληπτά τα βασικά των γραφημάτων MTF, βλέπει κανείς ότι το μόνο που μένει να κάνει για να συγκρίνει αντικειμενικά φακούς είναι να συγκρίνει την απόδοση των φακών στα ίδια ή παραπλήσια διαφράγματα και εστιακές αποστάσεις. Αυτό το κάνει κανείς κοιτώντας ποιος φακός έχει ψηλότερη γραφική παράσταση για δεδομένη απόσταση γραμμών (lp/mm). Το επόμενο γράφημα είναι μια επίθεση των διαγραμμάτων MTF των δυο φακών που ενδιαφέρουν τον φωτογράφο του συγκεκριμένου παραδείγματος σε εστιακή απόσταση περίπου 70 mm και με τον φακό στο μεγαλύτερό του άνοιγμα (αυτά είναι τα χαρακτηριστικά που ανταποκρίνονται στο στυλ φωτογραφίας που ο συγκεκριμένος φωτογράφος έχει ως πρώτη προτεραιότητα).



*Σύγκριση μεταξύ των φακών
35-105mm στα 60mm (κόκκινο) and 35-70mm στα 70mm (πράσινο)*

Με κάποια έκπληξη παρατηρεί κανείς ότι ο 35-105mm φαίνεται να έχει καλύτερη απόδοση όταν είναι εντελώς ανοιχτός συγκρινόμενος με τον 35-70mm. Πρέπει όμως να ληφθεί υπόψιν ότι ο 35-70mm έχει μεγαλύτερο διάφραγμα (f/2.8) συγκριτικά με το f/4 του άλλου. Έτσι, αν λάβουμε και αυτό υπόψη οι δυο φακοί πρέπει τελικά να πάρουν την ίδια βαθμολογία. Επομένως η τελική βαθμολογία στην συγκεκριμένη περίπτωση του παραδείγματος εναπόκειται στις αποδόσεις των φακών στα υπόλοιπα στυλ τα οποία ο φωτογράφος είχε υπόψιν του να χρησιμοποιήσει. Ο τελικός πίνακας με την βαθμολογία είναι ο επόμενος:

Priority	Description of requirement	AF Nikkor 35-70mm f/2.8		AF Nikkor 35-105mm f/3.5-4.5	
		Rank	Score (Rank X Priority)	Rank	Score (Rank X Priority)
1	Portraits - sharp in center at telephoto end w/ aperture wide open.	1	1	1	1
2	Landscapes - sharp throughout frame at wide end w/ aperture stopped down.	1	2	2	4
3	Candids - sharp throughout frame throughout zoom range with aperture stopped down.	1	3	2	4
4	Abstracts - sharp throughout frame throughout zoom range with aperture topped down.	1	4	2	8
Total Scores		10		17	

Όσο πιο χαμηλό είναι το τελικό σκορ τόσο καλύτερα αναμένεται να αποδώσει ο φακός για τις συγκεκριμένες ανάγκες που έχει εκφράσει ο φωτογράφος. Όπως λοιπόν φαίνεται και στον πίνακα, εδώ τελικά επιλέχθηκε και αγοράστηκε ο Nikkor 35-70mm f/2.8.

Συμπέρασμα από τον φωτογράφο

Όπως επισημαίνεται στην προαναφερθείσα δημοσίευση, όταν ο φωτογράφος έκανε αρχικά την παραπάνω σύγκριση έμεινε έκπληκτος από το πόσο καλά απέδιδε ο 35-

105mm συγκριτικά με τον 35-70mm. Η έρευνα αυτή είναι ίσως εξαιρετικά ενδεδεχής για την αγορά ενός φακού. Το κέρδος όμως από μια τέτοια εξέταση είναι ότι μπορεί να αποκαλύψει λεπτομέρειες που δεν θα ήταν προφανείς υπό άλλες συνθήκες. Ας φανταστούμε πώς θα αντιδρούσε κάποιος που αγόρασε τον φακό Nikkor 28-70mm f/2.8, όταν ανακαλύψει ότι οι φωτογραφίες που τραβήχτηκαν με το φακό της επιλογής του, τον οποίο αγόρασε στα μισά λεφτά, είναι το ίδιο αν όχι πιο οξείες. Μπορεί η παραπάνω διερεύνηση να είναι αρκετά λεπτομερής, αλλά οι καθαρές εικόνες θα είναι η τελική ανταμοιβή για την προσπάθεια που προηγήθηκε.

Κεφάλαιο 3^ο: Εισαγωγή στην θεωρία καθαρότητας της εικόνας

Υπάρχουν φυσικοί νόμοι που επηρεάζουν τη διαδικασία σχηματισμού μιας εικόνας. Αυτοί οι νόμοι επιβάλλουν περιορισμούς στην ακρίβεια και καθαρότητα των εικόνων, ανεξαρτήτως του πώς έχουν σχηματιστεί (σε μια οθόνη, μια φωτογραφική μηχανή, το μάτι κ.λπ.). Η κατανόηση των αρχών αυτών και του πώς λειτουργούν είναι το πρώτο βήμα για να μπορέσει κανείς να εξασφαλίσει την μεγαλύτερη δυνατή καθαρότητα εικόνας που μπορεί να προσφέρει η φωτογραφία.

3.1 Αρχές σχηματισμού εικόνας – Υποβάθμιση ποιότητας της εικόνας

Οι αρχές αυτές εντοπίζονται σε τομείς της φυσικής που φαινομενικά δεν σχετίζονται με την φωτογραφία, όμως βοηθούν στην κατανόηση της διαδικασίας σχηματισμού εικόνας και περιγράφονται στην συνέχεια.

3.1.1 Εντροπία

Είναι η φυσική τάση μετάβασης από μια οργανωμένη μορφή στην αταξία. Κλειστό σύστημα είναι εκείνο στο οποίο δεν επιδρούν εξωτερικές δυνάμεις. Είναι νόμος της φύσης ότι σε ένα κλειστό μη αναστρέψιμο σύστημα η εντροπία θα αυξηθεί. Αυτό σημαίνει ότι η τάξη θα χαθεί και θα επικρατήσει η τυχαία δομή του συστήματος.

Η πληροφορία κατά τη διαδικασία σχηματισμού εικόνας μπορεί μόνο να μειωθεί και η ποιότητα μπορεί να πάρει μια μόνο κατεύθυνση, αυτή της απώλειας ακρίβειας και καθαρότητας. Γι' αυτό το λόγο η παραγωγή εικόνας χαρακτηρίζεται ως μη αναστρέψιμη διαδικασία. Στη φωτογραφία αύξηση της εντροπίας προκαλεί απώλεια της αντίθεσης και μείωση της διαχωριστικής ικανότητας του συστήματος. Η εντροπία επηρεάζει κάθε βήμα της πορείας προς τη δημιουργία εικόνας, προκαλώντας υποβάθμιση της ποιότητας κάθε φορά που γίνεται επεξεργασία στην εικόνα.

3.1.2 “Γενιές” εικόνων

Για παράδειγμα, η εκτυπωμένη φωτογραφία θεωρείται εικόνα δεύτερης γενιάς. Πρώτης γενιάς εικόνες είναι οι ψηφιακές εικόνες που αποθηκεύονται στην μηχανή (ή το αρνητικό στις αναλογικές). Αν φωτογραφηθεί η εκτυπωμένη εικόνα το αποτέλεσμα θα είναι μια τρίτης γενιάς εικόνα και οι εκτυπώσεις της εικόνες τέταρτης γενιάς. Λόγω της εντροπίας κάθε γενιά εικόνων θα είναι μειωμένης ποιότητας και η διαχωριστι-

κή ικανότητα μειώνεται. Η διαδικασία αυτή δεν μπορεί να συνεχιστεί επ' άπειρον καθώς η απεικόνιση θα είναι τελικά πολύ υποβαθμισμένη.

3.1.3 Η υποβάθμιση της ποιότητας είναι αναπόφευκτη

Οποιαδήποτε επεξεργασία της φωτογραφίας την αλλοιώνει στην κατεύθυνση μείωσης της διαχωριστικής ικανότητας. Η βελτίωση της εικόνας (μέσω κάποιου λογισμικού) αλλάζει την εικόνα ώστε να είναι οπτικά πιο έντονη ή ώστε όλη η λεπτομέρεια που έχει καταγραφεί να είναι εμφανής, αλλά δεν είναι σε θέση να δημιουργήσει μια πιο λεπτομερή αναπαράσταση του αντικειμένου (πραγματικότητα). Η θεωρία της εντροπίας υποστηρίζει αυτό που διδάσκει η εμπειρία. Σε κάθε βήμα της φωτογραφικής διαδικασίας η υποβάθμιση της ποιότητας της εικόνας είναι αναμενόμενη. Για να αποφευχθεί αυτό, πρέπει κανείς να κάνει συνειδητή προσπάθεια για να αντιμετωπίσει την εντροπία. Ο στόχος του φωτογράφου που ασχολείται με τις εικόνες υψηλής ανάλυσης είναι να “πολεμήσει” την εντροπία μειώνοντας την υποβάθμιση, την διάχυση και την παραμόρφωση των εικονοσημείων σε κάθε βήμα μέχρι το τέλος.

3.1.4 Υποβάθμιση ποιότητας

Το φαινόμενο εκφράζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$S^2 = s_0^2 + s_e^2 + \dots + s_x^2$$

(1) Image Clarity, σελ.30

όπου η σύνθετη συνάρτηση διασποράς εκφράζεται ως συνάρτηση των αντίστοιχων συναρτήσεων των συνιστωσών του συστήματος (βλ. ενότητα 3.3.4). Η εξίσωση αυτή δείχνει ότι κάθε πηγή υποβάθμισης εικόνας, άσχετα πόσο μικρή ή σημαντική είναι, προστίθεται στο σύνολο και με αυτό τον τρόπο αυξάνει την συνολική υποβάθμιση της εικόνας.

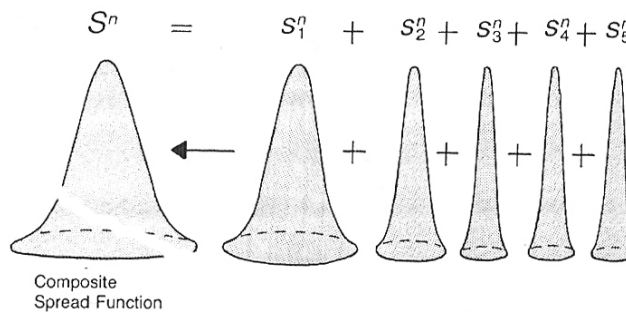
Η αθροιστική φύση της διαδικασίας αναδεικνύει κάποιες σκέψεις για τον σχηματισμό της εικόνας, όπως:

- Η υποβάθμιση μπορεί να μην έχει τέλος και δεν υπάρχει όριο στην “ζημιά” που μπορεί να κάνει.
- Πρέπει πολλά στοιχεία υποβάθμισης ποιότητας να είναι εντός των ανεκτών ορίων. Το να επικεντρωθεί κανείς σε ένα μόνο στοιχείο, όπως πχ. την εύρεση

ασφαλούς ταχύτητας διαφράγματος, μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα γιατί δεν είναι αυτή η μόνη πηγή σφαλμάτων.

- *Συνέργεια*

Σημαίνει ότι ένα σύστημα λειτουργεί κυρίως με το άθροισμα των στοιχείων που το συνθέτουν. Η επίπτωση που θα έχει στην καθαρότητα της εικόνας ένα από τα στοιχεία υποβάθμισης της εικόνας δεν μπορεί να προβλεφθεί από τη γνώση της τιμής μόνο αυτού του στοιχείου.



Σχήμα 3.1 (πρβλ. Σχ. 3.5 – 3.6)

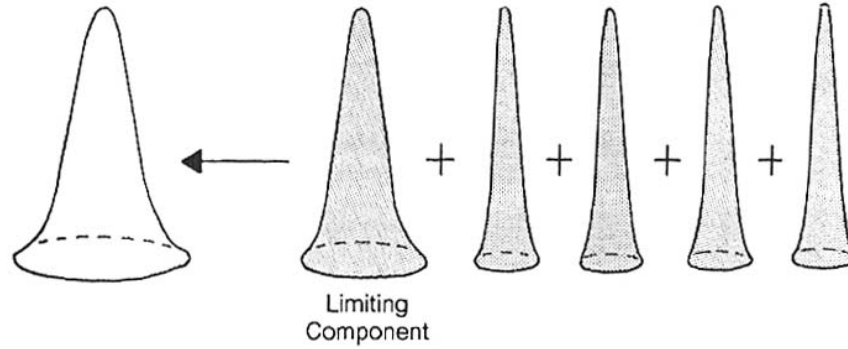
(1) Image Clarity, σελ.36

- *Η εσφαλμένη αντίληψη του ισχυρού παράγοντα*

Ορισμένοι φωτογράφοι πιστεύουν ότι αν χρησιμοποιήσουν φακό μεγάλης οξύτητας και έναν υψηλής ανάλυσης αισθητήρα θα έχουν πολύ ευκρινείς φωτογραφίες. Αυτή η αντίληψη είναι εσφαλμένη. Ένα σύστημα δεν θα μπορέσει να γίνει “τέλειο” απλώς με την επιλογή δυο σχεδόν τέλειων στοιχείων του από το πλήθος αυτών που επηρεάζουν την ποιότητα της εικόνας.

- *Όρια ανάλυσης*

Η πιο διακριτή και άμεση βελτίωση στην καθαρότητα της εικόνας θα επιτευχθεί με την μείωση του “περιοριστικού στοιχείου διασποράς” (limiting spread component) – βλ. Σχ. 3.2 (αυτό σημαίνει αύξηση της ανάλυσης: βλ. ενότητα 3.3.5).



Σχήμα 3.2: Για να υπάρχει σημαντική βελτίωση στην καθαρότητα της εικόνας θα πρέπει προτεραιότητα να είναι ο εντοπισμός και η απαλοιφή του περιοριστικού παράγοντα διασποράς. Εάν αφαιρεθεί μικρότερο στοιχείο διασποράς, η διαφορά στην εικόνα θα είναι αμελητέα όσο εξακολουθούν να υπάρχουν μεγαλύτερα στοιχεία διασποράς. (πρβλ. Σχ. 3.5 – 3.6)

(1) Image Clarity, σελ.30

Παράδειγμα:

Εάν ένας φακός διακρίνει 50 lines/mm (βλ. ενότητα 4.4: “Το Γράφημα της MTF”) και το φίλμ 25 lines/mm, οι αντίστοιχες συναρτήσεις διασποράς (ΣΔ) είναι 20 μm για τον φακό και 40 μm για το φίλμ. Η ΣΔ των 40 μm επηρεάζει το όριο της ανάλυσης της εικόνας. Εάν αγνοήσει κανείς αυτόν τον περιορισμό που το φίλμ επιφέρει στην ανάλυση και ασχοληθεί με άλλα θέματα που επηρεάζουν το σύστημα, όπως τον διπλασιασμό της διαχωριστικής ικανότητας (ΔΙ) του φακού, η βελτίωση της ποιότητας της εικόνας θα είναι μικρή. Η συνισταμένη της διασποράς από τον φακό και το φίλμ θα ήταν 44 μm. Η συνισταμένη της ΔΙ θα ήταν περίπου 22 lines/mm. Με το να διπλασιάζει κανείς την ΔΙ του φακού σε 100 lines/mm χωρίς να βελτιώσει τη αντίστοιχη του φίλμ θα προκαλέσει μείωση στην συνισταμένη της διασποράς από 44 σε 41 μm. Η ΔΙ θα ανέβει από 22 σε 24 lines/mm. Δηλαδή οι διαφορές θα είναι ασήμαντες.

- *Συνδυασμένη μείωση της υποβάθμισης ποιότητας*

Το τελευταίο συμπέρασμα που προκύπτει από την εξίσωση υποβάθμισης είναι: Για να μεγιστοποιήσει κανείς την ποιότητα της εικόνας, θα πρέπει να μειωθούν παράλληλα όλα τα στοιχεία της ΣΔ. Κάθε πηγή διασποράς θα πρέπει να εξουδετερωθεί ή τουλάχιστον να περιοριστεί στο ελάχιστο δυνατό.

Από αυτή την παρατήρηση προκύπτει σαφώς η σωστή προσέγγιση για την φωτογραφία υψηλής ανάλυσης. Πρέπει κανείς να κάνει μια σειρά από εύστοχες αποφάσεις. Πρέπει, σε κάθε βήμα του σχηματισμού εικόνας όπως και στα βήματα που οδηγούν στην λήψη, να είναι σωστές οι αποφάσεις που επηρεάζουν την οξύτητα και λεπτομέρεια μιας φωτογραφίας. Κάποιες αποφάσεις, όπως η επιλογή μιας μηχανής ή ενός φα-

κού, θα έχουν ήδη γίνει σωστά εκ των προτέρων. Άλλες, όπως η επιλογή φίλμ (αναλογική φωτογραφία), πρέπει να γίνουν πριν από κάθε εργασία. Η επιλογή διαφράγματος και ταχύτητας φωτοφράκτη πρέπει να γίνει πριν από κάθε λήψη. Στη συνέχεια πρέπει να ληφθούν επιπλέον αποφάσεις κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του φίλμ και της εκτύπωσης. Εάν μια από αυτές τις επιλογές, σε αυτή τη σειρά επιλογών, υπονομεύει την καθαρότητα της εικόνας, η επιδίωξη ιδανικής ποιότητας από τον φωτογράφο θα είναι μάλλον ουτοπική.

3.2 Η φύση της υποβάθμισης της ποιότητας της εικόνας

Προφανώς, μια εικόνα δεν είναι δυνατόν να είναι πιο ακριβής κατά την έξοδό της από ένα οπτικό σύστημα από ό,τι όταν εισάγεται σε αυτό. Εάν πρόκειται λοιπόν να προστεθεί επιπλέον ποιότητα στη φωτογραφία, αυτό θα πρέπει να γίνει κυρίως με βελτίωση του οπτικού συστήματος (που είναι το μέσο παραγωγής της εικόνας) και όχι τόσο της ίδιας εικόνας. Η βελτίωση του συστήματος θα γίνει με επιλογή καλύτερων μηχανών, φακών και μέσων εκτύπωσης. Με το να επιλέξει κανείς τα μέρη του συστήματος καταφέρνει να θέσει ένα ανώτατο επιδιωκόμενο όριο στην ποιότητα της εικόνας.

3.2.1 Διασπορά εικονοσημείου (image point spreading)

Η μηχανική της υποβάθμισης της εικόνας μπορεί να γίνει κατανοητή με το να εξεταστεί πώς ένα οπτικό σύστημα αναπαράγει ένα σημείο της εικόνας. Εάν από ένα σύστημα ζητείται να αναπαράγει μικρές λεπτομέρειες, απαιτείται να αναπαράγει μεμονωμένα σημεία με ακρίβεια.

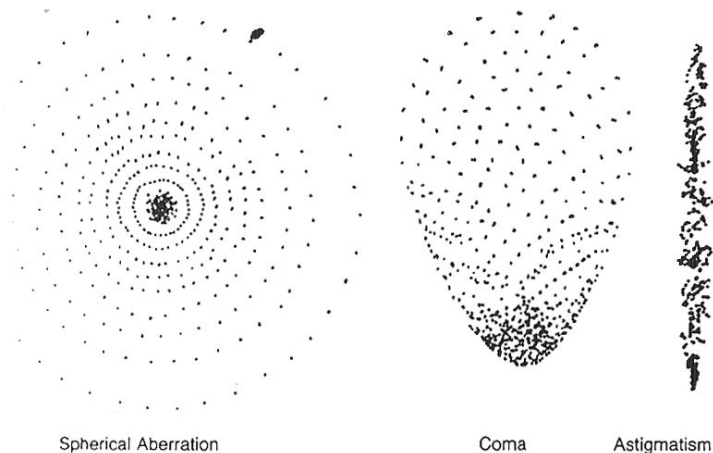
Τα κύματα φωτός δημιουργούν διασπορά (διάχυση) του φωτός, εμποδίζοντας τη διάμετρο ενός σημείου της εικόνας να παρουσιαστεί κατά το δυνατόν μικρή. Η διάχυση αυξάνει πάντα το μέγεθος των σημείων και εμποδίζει τις λεπτομέρειες να εμφανιστούν όσο μικρές θα μπορούσε να τις αναπαραγάγει ένα σύστημα. Οι φωτογραφικές εικόνες περιορίζονται ακόμα περισσότερο από το μέγεθος των φωτοευαίσθητων κρυστάλλων του φίλμ και το μέγεθος των εκτυπωτικών υλικών. Και αυτά είναι μόνο τα πρώτα προβλήματα της υποβάθμισης της εικόνας.

Δεδομένου ότι μια ιδανικά αναπαραχθείσα εικόνα σημείου θα ήταν τόσο μικρή που το σημείο δεν θα ήταν δυνατόν να μετρηθεί, συμπεραίνεται ότι κάθε μετρήσιμο μέγεθος (σημείου) δίνει μια αριθμητική ένδειξη του μεγέθους της υποβάθμισης σε ένα σύστημα παραγωγής εικόνας. Όσο μεγαλύτερα είναι τα σημεία τόσο πιο υποβαθμισμένη

είναι η εικόνα. Το μέγεθος, λοιπόν, της υποβάθμισης είναι εύκολα μετρήσιμο αφού αυξάνει αναλογικά με την διάμετρο του σημείου. Επιπλέον πληροφορία για την υποβάθμιση του σημείου μπορεί να εξαχθεί από το σχήμα του σημείου της παραγόμενης εικόνας, όπως φαίνεται στο Σχ. 3.3. Ορισμένες παραμορφώσεις στα σημεία δείχνουν εάν πρόκειται συγκεκριμένα για παραμορφώσεις φακού ή δυσλειτουργίες εξαρτημάτων της μηχανής ή λάθη σε κάποιο στάδιο της φωτογράφισης και εμφάνισης.

3.2.2 Πηγές διασποράς εικονοσημείου

- Περίθλαση (diffraction) (βλ. ενότητα 4.2)
- Σφάλματα του φακού
 - Σφάλματα λόγω μορφής του φακού



Σχήμα 3.3: Τα παραπάνω είναι μαθηματικές αναπαραστάσεις της διασποράς για κάθε σφάλμα του φακού. Για ένα “τέλειο” σημείο αυτά δεν θα είναι διακριτά.
πηγή (1): Image Clarity, σελ.27

Βέβαια τα σφάλματα σπάνια επιδρούν μεμονωμένα, οπότε στην πραγματικότητα δεν ισχύει η συμμετρία που φαίνεται στο σχήμα.

- Σφάλματα στην κατασκευή του φακού

Στην μαζική παραγωγή ενός φακού, όπου υπάρχει ανάγκη για μικρό κόστος και γρήγορη παραγωγή, είναι δύσκολο να υπάρξει η μέγιστη δυνατή ποιότητα. Δηλαδή, ακόμα και φακοί που έχουν την ίδια μορφή μπορεί να αποδίδουν διαφορετικά.

- Σφάλματα εστίασης
- Διασπορά γαλακτώματος (βλ. στα αμέσως επόμενα)

3.3.3 Συναρτήσεις διασποράς

Οι συναρτήσεις διασποράς (ΣΔ) χρησιμοποιούνται για να οπτικοποιήσουν τη διασπορά και την αλλοίωση του σχήματος σημείων της εικόνας.



Σχήματα 3.5 – 3.6. Η συνάρτηση διασποράς είναι μια αναπαράσταση της κατανομής της φωτεινότητας σε ένα σημείο ή της κατανομής της πυκνότητας σε ένα σημείο της φωτοευαίσθητης επιφάνειας. Για αναπαράσταση της ΣΔ χρησιμοποιείται ένα τρισδιάστατο μοντέλο.

(1) Image Clarity, σελ.29

- Οπτική συνάρτηση διασποράς

Περιγράφει τη κατανομή της φωτεινότητας περί το κέντρο ενός οπτικού σημείου. Επηρεάζεται από τις ιδιότητες του φωτός και την ποιότητα και απόδοση του φακού.

- Συνάρτηση διασποράς γαλακτώματος

Περιγράφει την κατανομή της πυκνότητας στην φωτοευαίσθητη επιφάνεια ενός φιλμ περί το κέντρο μιας μεμονωμένης εικόνας σημείου ή κατά μήκος μιας γραμμής (συνάρτηση διασποράς γραμμής – LSF). Επηρεάζεται από τις παραμέτρους του φιλμ και από την έκθεση.

3.3.4 Σύνθετη συνάρτηση διασποράς (composite spread function)

Η σύνθετη συνάρτηση διασποράς (ΣΣΔ) είναι ένας συνδυασμός επιμέρους ΣΔ, συμπυκνώνει δε ολόκληρη την υποβάθμιση της εικόνας: εκείνη που κάνει την εμφάνισή της στο αρνητικό και την εκτύπωση, την οπτική διασπορά από το φακό της μηχανής και το φακό μεγέθυνσης, την χημική διασπορά από την εμφάνιση στο φιλμ και το χαρτί, την θόλωση από ένα πλήθος πηγών. Έτσι, η ΣΣΔ είναι που καθορίζει πώς θα υποβαθμιστεί η ευκρίνεια μίας φωτογραφίας.

Η ακτίνα της ΣΣΔ που αντιστοιχεί στην ακτίνα του μικρότερου εικονοσημείου που μπορεί να παραχθεί από ένα οπτικό σύστημα δίνεται από την σχέση:

$$S = \frac{1}{R}$$

όπου R είναι η ΔΙ του συστήματος. Αν θεωρηθεί η εξίσωση που δίνει την ΔΙ ως:

$$\frac{1}{R^2} = \frac{1}{r_o^2} + \frac{1}{r_e^2}$$

σε ένα σύστημα που ικανοποιεί την εξίσωση υποβάθμισης, όπως αυτή περιγράφηκε στην ενότητα 3.1.5, τότε:

$$S^2 = s_e^2 + s_o^2 + \dots + s_x^2$$

όπου

S = σύνθετη συνάρτηση διασποράς (ΣΣΔ)

s_e = συνάρτηση διασποράς γαλακτώματος

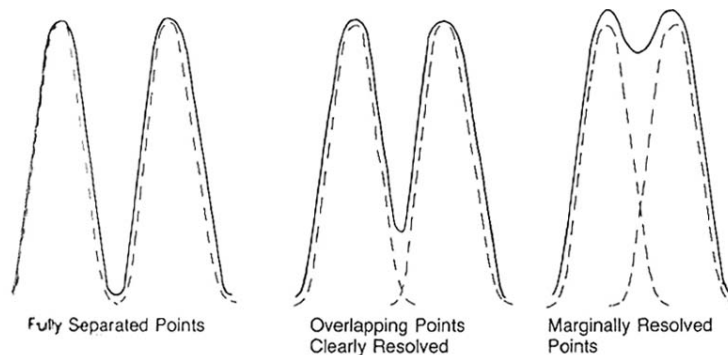
s_o = οπτική συνάρτηση διασποράς

s_x = οποιοδήποτε άλλο στοιχείο διασποράς

(1) Image Clarity, σελ.30

3.3.5 Καμπύλες Gauss

Οι καμπύλες Gauss χρησιμοποιούνται για να οπτικοποιηθεί η έννοια της ΣΔ και να αναλυθεί η επίδραση που έχει η διασπορά του σημείου στην ευκρίνεια της εικόνας.



Σχήμα 3.7. Ανάλυση σημείου. Επειδή η πυκνότητα διαφέρει στην ΣΔ σημείου, δυο σημεία μπορεί να είναι διακριτά παρ' όλο που οι συναρτήσεις διασποράς τους επικαλύπτονται.

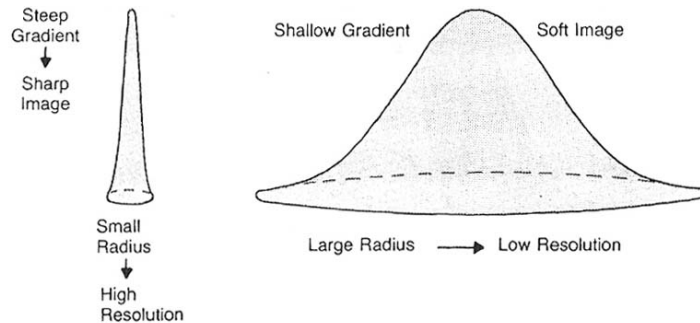
(1) Image Clarity, σελ.31

Καμπύλες Gauss – Οπτικοποίηση της ευκρίνειας ακμής (edge sharpness)

Όσο η ΣΣΔ “απλώνεται” λόγω προβλημάτων στην εικόνα και όσο η κλίση μικραίνει τόσο μειώνεται η ευκρίνεια (οξύτητα) της εικόνας.

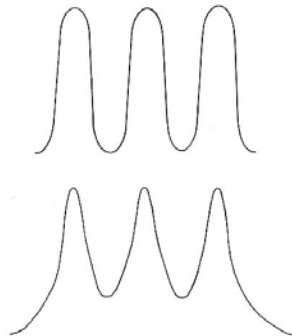
Καμπύλες του Gauss – Οπτικοποίηση της ανάλυσης σημείου

Όσο μικρότερη είναι η ακτίνα της ΣΔ, τόσο καλύτερη θα είναι η ΔΙ του συστήματος. Μια μικρή τιμή ΣΔ επιτρέπει στα χαρακτηριστικά της εικόνας να είναι πολύ κοντά μεταξύ τους και κατα συνέπεια επιτρέπει την καταγραφή μικρών λεπτομερειών. Όσο πιο απότομη και στενότερη γίνεται η ΣΔ τόσο πιο κοντά βρίσκεται στο να αναπαραστήσει τέλεια ένα σημείο.



Σχήμα 3.8. Συναρτήσεις διασποράς και ποιότητα εικόνας. Η ακτίνα και η κλίση της καμπύλης όταν επηρεάζονται από τα ίδια σφάλματα εικόνας έχουν την τάση να αλλάζουν μαζί. Η κλίση της καμπύλης σχετίζεται με την οξύτητα της εικόνας όπως φαίνεται στο σχήμα. Η ακτίνα της καμπύλης σχετίζεται με την ανάλυση.

(1) Image Clarity, σελ.30



Σχήμα 3.9. Οξύτητα και ανάλυση. Εδώ η ΣΔ χρησιμοποιείται για να δείξει πώς μια εικόνα μπορεί να είναι πιο ευκρινής (sharper) από μια άλλη και παρ' όλα αυτά να διακρίνει λιγότερες λεπτομέρειες (μικρή ανάλυση). Στις πάνω καμπύλες τα σημεία είναι μεγάλα και έχουν μεγάλη κλίση. Ένα σύστημα που παράγει τέτοια σημεία θα δημιουργήσει μια οξεία εικόνα αλλά με χαμηλή διακριτική ικανότητα. Στις κάτω καμπύλες τα σημεία της εικόνας έχουν κάποια κλίση και μικρή διάμετρο στην κορυφή. Ένα σύστημα που αναπαράγει τέτοια σημεία θα έχει μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα από το σύστημα των πάνω καμπυλών (μικρότερη ακτίνα) αλλά θα έχει μικρότερη οξύτητα στις ακμές (μικρότερη κλίση) (πρβλ. Σχ. 4.3).

(1) Image Clarity, σελ.32

3.3.6 Αντίθεση και συνάρτηση διασποράς

Η σημασία της αντίθεσης (contrast) εδώ είναι ότι όσο μεγαλύτερη είναι αυτή τόσο καλύτερη είναι η ορατότητα του σημείου. Απώλεια σε αντίθεση έχει τον ίδιο αντίκτυ-

πο στην ΣΔ που έχει και η διασπορά. Η μόνη διαφορά είναι η κλίμακα στην οποία συμβαίνει η αλλοίωση της ΣΔ. Μείωση της αντίθεσης της εικόνας είναι σημαντικό θέμα για τον φωτογράφο γιατί μπορεί να προκαλέσει μεγάλη μείωση στην ευκρίνεια.

Ανάλυση και ανθρώπινη όραση (πόσο καλή πρέπει να είναι η εικόνα;)

Ενώ είναι δύσκολο να συλληφθεί ολόκληρη τη λεπτομέρεια του αντικειμένου με μια φωτογραφία, είναι επίσης και άσκοπο να το επιδιώξουμε. Το μάτι δεν μπορεί να διακρίνει κάθε λεπτομέρεια σε μια τέλεια εικόνα, όπως και μια μηχανή δεν διακρίνει ολόκληρη τη λεπτομέρεια σε μια σκηνή. Με την έννοια αυτή δηλαδή δεν είναι πάντοτε πρόβλημα να είναι ατελής η καταγεγραμμένη εικόνα. Η καίρια ερώτηση είναι: πόσο καλή πρέπει να είναι μια εικόνα για να παρουσιάζεται σαφής και καθαρή στο μάτι; Και αντίστροφα, πόσο κακή πρέπει να γίνει μια εικόνα για να χαρακτηριστεί φτωχή; Οι απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα εξαρτώνται εν μέρει από τις δυνατότητες της ανθρώπινης όρασης, την ικανότητα του ματιού να διακρίνει (διαχωρίσει) μικρές λεπτομέρειες και την ανοχή του στην ‘μαλακότητα’ (softness) και την εν γένει υποβάθμιση της εικόνας. Η παραδοσιακή προσέγγιση στην διερεύνηση τέτοιων ζητημάτων ξεκινάει με την απόφαση σχετικά με το όριο διαχωρισμού σημείων από το μάτι ή με την μέτρηση του μικρότερου αναγνωρίσιμου σημείου της εικόνας. Το μικρότερο αναγνωρίσιμο σημείο της εικόνας, όμως, δεν συμπίπτει ακριβώς με την διακριτική ικανότητα του ματιού μετρημένη σε ζεύγη γραμμών (line-pairs/mm). Για την ακρίβεια, η υπόθεση αυτή έχει οδηγήσει σε πολλά εσφαλμένα συμπεράσματα.

Διάκριση σημείου: Είναι ένας από τους πολλούς τρόπους για να περιγραφεί η διακριτική ικανότητα. Είναι το ελάχιστο διακριτό μέγεθος και αναφέρεται στο μικρότερο “σημάδι” ή στη μικρότερη οντότητα που μπορεί να παρατηρηθεί (δηλαδή κάποιος μπορεί να είναι σίγουρος για την ύπαρξή της).

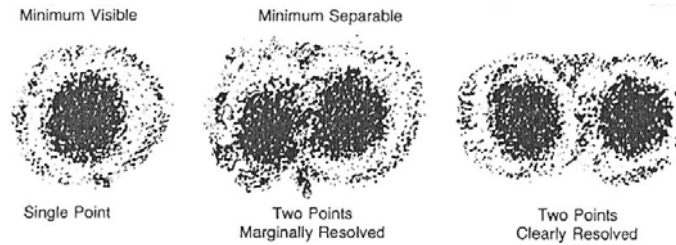
Διάκριση γραμμής: Το μάτι αντιδρά διαφορετικά στις γραμμές από ότι στα σημεία.

Διάκριση δύο σημείων: Αναφέρεται στην ελάχιστη διακριτή απόσταση στη οποία αντικείμενα είναι διακριτά το ένα από το άλλο. Σε αυτή την απόσταση η εικόνα παρουσιάζει δυο διακριτά αντικείμενα αντί ένα μεγάλο στη θέση τους.

Διάκριση σημείου

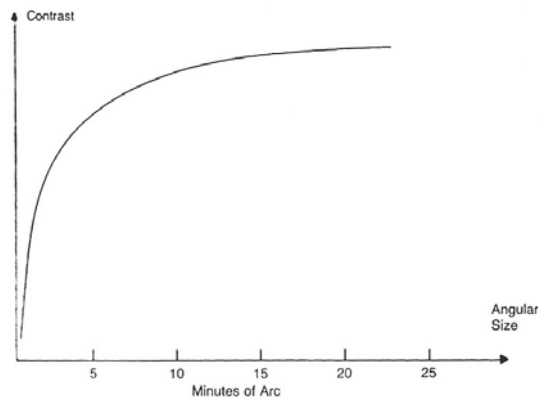
Το να πει κανείς ότι η ανάλυση του ματιού για σημειακά δεδομένα φτάνει το 1' του

τόξου σημαίνει ότι υπό καλές συνθήκες όρασης ένα άτομο με κανονική όραση θα δει ένα αντικείμενο καθαρά μόνο όταν το γωνιακό του μέγεθος είναι τουλάχιστον $1'$.



Σχήμα 3.10. Δυο σημεία που παράγονται από ένα οπτικό σύστημα είναι δυνατό να διακριθούν σαν δυο διαφορετικά σημεία ακόμα και εάν επικαλύπτονται εν μέρει.

(1) Image Clarity, σελ.40



Σχήμα 3.11. Αντικείμενα δεν είναι ορατά εκτός εάν το μέγεθός τους είναι μεγαλύτερο από την διακριτική ικανότητα ανάλυσης σημείου του ματιού, που είναι στο $1'$ του τόξου.

(1) Image Clarity, σελ.41

Το όριο του $1'$ δεν είναι απόλυτο, όταν όμως κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί κανείς σε ένα τυποποιημένο όριο ανάλυσης του ματιού είναι αυτό που χρησιμοποιείται.

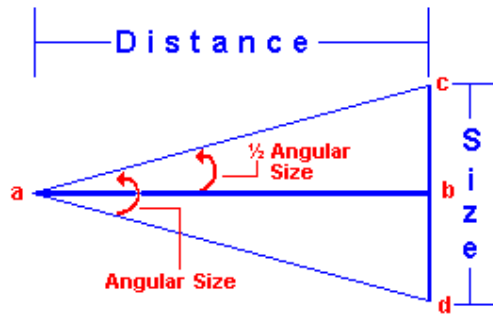
Απόσταση Παρατήρησης

Η απόσταση στην οποία η ορατότητα είναι βέλτιστη είναι 25 cm (10 in). Πολλές φορές κάποιος μπορεί να κρατήσει μια εικόνα πιο κοντά για να τη δει πιο αναλυτικά, αλλά στην πραγματικότητα δεν πετυχαίνει πολλά γιατί σε αποστάσεις μικρότερες των 25 cm η ικανότητα εστίασης του ματιού χάνεται. Τα 25 cm είναι μια καλή προσέγγιση της απόστασης που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος για να παρατηρεί αντικείμενα από κοντά, να διαβάσει και να δει αντικείμενα που κρατάει στο χέρι. Θα θεωρηθεί λοιπόν ότι με την αναφορά στο μικρότερο διακριτό σημείο εννοείται το ελάχιστο διακριτό σημείο από απλή παρατήρηση σε αυτή την απόσταση των 25 cm (βλ. κεφάλαιο 5).

Γραμμικές μετρήσεις της διακριτότητας σημείου

Σε μια απόσταση D το μέγεθος l ενός γραμμικού αντικειμένου συνδέεται με το γωνιακό μέγεθος a με τη σχέση:

$$l = D \cdot \tan a$$



Αφού η εφαπτομένη του ενός λεπτού του τόξου είναι περίπου 0.00029, η διάμετρος της μικρότερης κουκίδας που είναι ορατή στο μάτι σε απόσταση κοντινής παρατήρησης (25cm) είναι περίπου 0.7mm (70 μm). Έτσι, μπορεί κάποιος να αναμένει ότι αντικείμενα μεγαλύτερα των 70 μm θα είναι ορατά με ικανοποιητικό τρόπο όταν τα παρατηρεί κανείς υπό καλές συνθήκες ορατότητας και στην απόσταση στην οποία η όραση είναι βέλτιστη.

Το όριο της αντίθεσης

Πριν ένα αντικείμενο μπορέσει να γίνει ορατό θα πρέπει να ξεπεράσει ένα δεύτερο οπτικό όριο. Πρέπει να διαφέρει από το περιβάλλον του σε φωτεινότητα ή χρώμα. Υπό τις καλύτερες συνθήκες όρασης πρέπει να διαφέρει σε φωτεινότητα από τις γειτονικές περιοχές σε ποσοστό περίπου 1%. Σε φτωχές συνθήκες φωτισμού αυτό πρέπει να είναι 5%. Το όριο είναι γνωστό ως *όριο αντίθεσης* (contrast threshold). Το όριο αυτό και η διακριτότητα σημείου είναι δυο στοιχεία διαφορετικά μεν αλλά υπό συγκεκριμένες συνθήκες αλληλοεξαρτώμενα. Η σχέση αυτή είναι αισθητή όταν το μέγεθος του αντικειμένου στον στόχο είναι κοντά στο όριο διακριτότητας (διάκριση σημείου).

Σε γωνιακά μεγέθη λίγο μεγαλύτερα από 60'', η φωτεινότητα ενός αντικειμένου πρέπει να διαφέρει από τη φωτεινότητα του περιβάλλοντος περίπου 20% προκειμένου να είναι αυτό διακριτό στην εικόνα.

Παράλληλα, όσο η αντίθεση αυξάνει αρχίζουν να γίνονται ορατά αντικείμενα αρκετά μικρότερου μεγέθους. Ένα έντονα φωτεινό αντικείμενο σε μαύρο φόντο μπορεί να εί-

ναι ορατό σε γωνίες μικρότερες από το όριο διακριτότητας ($1'$ του τόξου), όπως πχ. φαίνεται ένα άστρο στον ουρανό. Προφανώς, αν ένα αντικείμενο είναι αρκετά φωτεινό τότε μπορεί παραμένει ορατό πρακτικά υπό οποιοδήποτε γωνιακό μέγεθος.

Χαρακτηριστικά της ανθρώπινης όρασης

Ένα σχετικά μικρό τμήμα του αμφιβληστροειδούς χιτώνα του ματιού, η ωχρά κηλίδα, εντοπίζεται ακριβώς στον άξονα του φακού, στο κέντρο του πεδίου όρασης, και έχει μεγάλη συγκέντρωση κόνων, περίπου μισό εκατομμύριο ανά mm^2 . Είναι υπεύθυνη για την όραση υψηλής ανάλυσης. Η απόσταση μεταξύ των κόνων στη ωχρά κηλίδα είναι της τάξης των 0.0015mm που αντιστοιχεί σε έναν γωνιακό διαχωρισμό μεταξύ των κέντρων των κόνων περίπου $20''$ του τόξου. Αυτή η τιμή είναι κοντά σε εκείνη που συζητήθηκε στην ενότητα περί διακριτότητας σημείου για το ανθρώπινο μάτι. Αν υποθεθεί ότι η διακριτική ικανότητα του ματιού δεν μπορεί να είναι τόσο καλή λόγω παρεκκλίσεων του φακού του ματιού, τότε το όριο $30\text{--}60''$ του τόξου που έχει ήδη αναφερθεί είναι μια καλή εκτίμηση της διακριτικής ικανότητας του ματιού.

Διακριτότητα γραμμών

Τις γραμμές το μάτι είναι πιο εύκολο να τις διακρίνει. Μια μαύρη γραμμή σε άσπρο φόντο μπορεί να διακριθεί από το μάτι αν έχει πλάτος $0.5''$ του τόξου – πολύ μικρότερο από το μέγεθος του μικρότερου διακριτού σημείου ($30''\text{--}60''$).

Η διακριτική ικανότητα του ματιού

Είναι αναγκαίο να αποσαφηνιστεί η διαφορά μεταξύ διαχωριστικής ικανότητας του ματιού για ζεύγη γραμμών και διαχωριστικής ικανότητας του ματιού για σημεία.

Η σχέση που δίνει την διαχωριστική ικανότητα είναι:

$$R = \frac{1}{d}$$

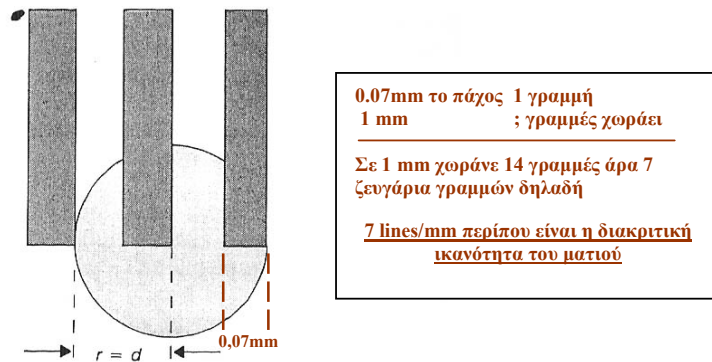
Σε αυτή τη σχέση d είναι η απόσταση μεταξύ γραμμών, από το κέντρο της μιας στο κέντρο της άλλης, στο όριο της ανάλυσης (μέγιστη ανάλυση). Είναι λάθος να θεωρηθεί ότι το d είναι η διάμετρος ενός διακριτού σημείου. Η σωστή τιμή για το d είναι δυο φορές το πάχος της γραμμής (οι τυποποιημένοι στόχοι που χρησιμοποιούνται για την εύρεση της διαχωριστικής ικανότητας είναι ισοπαχείς άσπρες-μαύρες γραμμές).

Ένα άλλο σφάλμα που παρατηρείται είναι να χρησιμοποιείται η διάμετρος της συνάρτησης διασποράς σαν τιμή του d . Σημεία που δημιουργούνται από ΣΔ μπορούν, λόγω της σταδιακής αλλαγής στην πυκνότητα, να επικαλύπτουν το ένα το άλλο και παρ' όλα ταύτα να είναι διακριτά. Άρα η διάμετρος της ΣΔ δεν ισούται με το μήκος της μικρότερης διακριτής γραμμής σε ένα τεστ διαχωριστικής ικανότητας ούτε ισούται με το μήκος που μεσολαβεί μεταξύ δυο γραμμών.

Έχουν υπάρξει, λοιπόν, περιπτώσεις όπου η διακριτική ικανότητα του ματιού για ζεύγη γραμμών έχει υπολογιστεί με χρήση του μικρότερου ορατού μεγέθους αντί για την μικρότερη απόσταση μεταξύ αντικειμένων για την οποία αυτά είναι ορατά. Δηλαδή με την χρήση μεγέθους αντικειμένου αντί απόστασης στην οποία τα αντικείμενα είναι διακριτά (διακριτότητα αντικειμένων).

Παράδειγμα

Γνωρίζοντας, από την ενότητα “Γραμμικές μετρήσεις της διακριτότητας σημείου”, τα 70 μm ως το μικρότερο διακριτό πάχος γραμμής, βλέπει κανείς ότι αυτό αντιστοιχεί σε 5 – 7 lines/mm (Σχ. 3.12). Οι 5 – 7 lines/mm είναι λοιπόν μια υπόθεση για τη διακριτική ικανότητα του ανθρώπινου ματιού. Αν όμως η τιμή d οριστεί όπως θα έπρεπε – από τον διαχωρισμό (απόσταση από κέντρο σε κέντρο) ελάχιστα μικρών γειτονικών στοιχείων της εικόνας, που από μετρήσεις έχει υπολογιστεί σε 40-60'' του τόξου, τα οποία αντιστοιχούν σε 14-20 line-pairs/mm – βλέπουμε μια διαφορά στην ποιότητα των εικόνων που είναι αισθητή από έναν παρατηρητή.



Σχήμα 3.12 : Ακτίνα διασποράς. Σε αυτό το σχήμα φαίνεται η σχέση μεταξύ διακριτικής ικανότητας ζεύγους γραμμών και της ΣΔ. Η απόσταση d μεταξύ ελάχιστα διακριτών γραμμών αντιστοιχεί περίπου στην ακτίνα r της ΣΔ. Αυτή η σχέση επιτρέπει μετρήσεις διακριτικής ικανότητας σε line-pairs/mm να μετατραπούν σε ακτίνα ΣΔ και να δώσουν μια εκτίμηση της υποβάθμισης της εικόνας σε μονάδες ακτίνας της διασποράς σημείου.

(1) Image Clarity, σελ.59

Όριο συγχώνευσης

Το όριο συγχώνευσης (blending size) είναι συνάρτηση α) της ελάχιστης μονάδας αναπαράστασης της εικόνας, αλλά και β) της απόστασης από την οποία παρατηρεί κανείς μια φωτογραφία. Η δυνατότητα τεκμηρίωσης της υποβάθμισης της εικόνας μειώνεται όσο πιο μακριά τοποθετείται η εικόνα. Έτσι, από αρκετά μακριά οι θολές εικόνες μοιάζουν ευκρινείς και οι απότομες μεταβολές τόνων μοιάζουν ομαλές και συνεχείς. Με λίγα λόγια, ο παρατηρητής μπορεί να ξεγελαστεί για την ποιότητα κοιτώντας μια εικόνα από μακριά.

Το μέγεθος της ΣΔ όταν σε μια φωτογραφία εξαφανίζονται σημάδια υποβάθμισης και κοκκώδους είναι και το όριο συγχώνευσης για την συγκεκριμένη φωτογραφία στην συγκεκριμένη απόσταση από την οποία την παρατηρεί κανείς. Το όριο συγχώνευσης είναι το όριο πέρα από το οποίο το ανθρώπινο μάτι αδυνατεί να ξεχωρίσει τα δομικά στοιχεία της εικόνας (pixel, κουκίδες εκτυπωτή) και προκύπτει τόσο από την απόσταση παρατήρησης μιας εικόνας όσο και από τη δομή της εικόνας (μέγεθος pixel ή κουκίδας). Όταν τα δομικά χαρακτηριστικά της εικόνας είναι μικρότερα από το όριο συγχώνευσης της όρασης, τότε η εκτίμηση του παρατηρητή για την εικόνα αντιστοιχεί και στην ποιότητα που έχει στην πραγματικότητα η εικόνα. Αλλιώς θα προκύψει εσφαλμένη εκτίμηση.

Ελάχιστη ανεκτή διακριτική ικανότητα

Πόσο μπορεί να μειωθεί η διακριτική ικανότητα μέχρι να θεωρηθεί μια εικόνα πτωχή σε ποιότητα;

Όταν κοιτάμε από κοντά μια εικόνα σε ένα περιοδικό μπορούμε να δούμε τις τελείες του μελανιού που σχηματίζουν την εικόνα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι τελείες είναι μεγαλύτερες από τη διακριτική ικανότητα του ματιού. Όταν το μέγεθος τις οθόνης δίνεται σε dots per inch ή lines per inch, η διακριτική ικανότητα σε lines/mm μπορεί να βρεθεί διαιρώντας τα dpi με 25.4. Μια οθόνη με 150 line per inch, για παράδειγμα, έχει όριο διακριτικής ικανότητας 6 lines/mm. Η διακριτική ικανότητα μπορεί να είναι χειρότερη από 6 lines/mm σε αυτή την οθόνη αλλά με τίποτα δεν μπορεί να είναι καλύτερη.

Οι εικόνες των εφημερίδων που γίνονται με αδρή οθόνη 50 lines/inch – 2 lines/mm δεν είναι τόσο καλές όσο οι εικόνες ενός περιοδικού. Ωστόσο οι φωτογραφίες των εφημερίδων θεωρούνται αρκετά καθαρές και ευκρινείς. Τέτοιες εικόνες αποδεικνύουν ότι τα δομικά στοιχεία της εικόνας δεν είναι απαραίτητο να είναι μικρότερα από την

διακριτική ικανότητα του ματιού για να εκτιμηθεί η εικόνα ως σαφής και καθαρή. Η ανθρώπινη ανοχή σε εικόνες χαμηλής ανάλυσης όπως αυτές των εφημερίδων επιτρέπει να υποτεθεί ότι η ανάλυση μικρών λεπτομερειών δεν είναι ο μόνος παράγοντας που καθορίζει το αν μια εικόνα θα κριθεί καλή ή κακή.

Ανοχή στην υποβάθμιση της εικόνας

Με μία έννοια, η χρησιμότητα ενός οπτικού ερεθίσματος εξαρτάται από το κατά πόσον βοηθάει κάποιον να αναγνωρίσει το υλικό από το οποίο αποτελείται ένα αντικείμενο. Όμως η ανάλυση μικρών λεπτομερειών, καίτοι δίνει σημαντικά στοιχεία, δεν είναι πάντοτε απαραίτητη για αυτή την αναγνώριση. Κάποιος μπορεί να αναγνωρίσει μια ανθρώπινη μορφή ακόμα και αν στη φωτογραφία δεν διακρίνονται οι πόροι του δέρματος. Κάποιος μπορεί να αναγνωρίσει ένα είδος υφάσματος ακόμα και αν στην φωτογραφία δεν φαίνονται οι ίνες του. Η απουσία λοιπόν μικρών λεπτομερειών σπάνια οδηγεί σε μια εικόνα χωρίς καμία αξία.

Αναγνώριση εικόνας και εξελικτική θεωρία της όρασης

Από βιολογική άποψη, η όραση εξυπηρετούσε στην γρήγορη αναγνώριση του κινδύνου. Με βάση αυτό, η οπτική αναγνώριση έχει το ρόλο να ενεργοποιήσει τους ενστικτώδεις μηχανισμούς αυτοπροστασίας του ανθρώπου. Δεν υπάρχει λοιπόν ανάγκη για λεπτομέρεια και ανάλυση. Αντίθετα, γνωρίζει κανείς ότι η λεπτομέρεια ενός αντικείμενου θα χαθεί όταν απομακρυνθεί από αυτό ή όσο αυτό είναι μικρότερο. Η απώλεια ευκρίνειας για τον πρωτόγονο άνθρωπο σπάνια θα ήταν δυσάρεστη, αφού αυτό που δεν φαίνεται καθαρά θα είναι ή πολύ μακριά ή πολύ μικρό για να αποτελεί άμεσο κίνδυνο. Αντίστοιχα, φωτογραφίες χαμηλής ανάλυσης θα είναι ανεκτές στο ανθρώπινο μάτι αν μπορούν να αναγνωριστούν μεγάλα αντικείμενα και τα κυριότερα σχήματα στην εικόνα (και πιθανοί κίνδυνοι). Τα μικρότερα και ακίνδυνα στον άνθρωπο σχήματα δεν θα απασχολήσουν το ανθρώπινο μάτι σε μια εικόνα χαμηλής ανάλυσης.

Η ανοχή στην απώλεια της ευκρίνειας, αντιθέτως με την απώλεια λεπτομέρειας, είναι διαφορετικό ζήτημα. Στην πραγματικότητα η ευκρίνεια δεν μειώνεται με την απόσταση ή το μέγεθος. Οι ακμές παραμένουν οπτικά σαφείς τόσο κοντά όσο και μακριά. Έτσι, κάποιος περιμένει να δει οξείες ακμές κοιτώντας μια φωτογραφία. Θολές, ασαφείς εικόνες ταλαιπωρούν το μάτι. Η απώλεια της οξύτητας, πιο πολύ από την απώλεια της λεπτομέρειας, είναι ο λόγος που οι χαμηλής ανάλυσης εικόνες είναι δυσάρεστες στο ανθρώπινο μάτι.

Κεφάλαιο 4^ο: Καθαρότητα της εικόνας και οπτική ποιότητα

Η Ψηφιακή Φωτογραφία βρίσκεται αυτή τη στιγμή στο στάδιο μιας πρωτοφανούς εξάπλωσης. Ο αριθμός ψηφιακών μηχανών ήδη ξεπερνά σε αξία τον αριθμό όλων των υπόλοιπων τύπων συμβατικών φωτογραφικών μηχανών που έχουν πουληθεί. Ο αριθμός των διάφορων τύπων είναι και αυτός αδιανόητος. Αν κάποιος πάρει μόνο τις ψηφιακές μηχανές με αισθητήρες εικόνας (CCD ή CMOS) 2 Megapixel ή περισσότερα θα δει ότι υπάρχουν ήδη 80 διαφορετικά μοντέλα. Είναι επόμενο ότι όποιος σκέπτεται να αγοράσει μια ψηφιακή μηχανή έρχεται αντιμέτωπος με έναν τεράστιο όγκο πληροφορίας, ο οποίος πρέπει να εξεταστεί και να ταξινομηθεί. Το ερώτημα είναι: Ποιά είναι τα κριτήρια με τα οποία θα γίνει αυτό; Λογικό είναι να πει κανείς: με το αποτέλεσμα που θα δώσει η κάθε μηχανή. Δηλαδή: βάσει της ποιότητας της εικόνας που παράγεται.

Dr. Lenhardt K., Kreuznach B., *The image quality of lenses for digital photography*
http://www.schneiderkreuznach.com/knowhow/opt_quali_e.htm

Για να τελειοποιήσει κανείς τις τεχνικές σχετικά με την ευκρίνεια της εικόνας, πρέπει να εξαλείψει την ‘μαλακότητα’ (image softness) και την θολότητα (image blurring), τους εχθρούς της οπτικής ποιότητας. Πρώτα από όλα όμως θα πρέπει να κατανοήσει τι σημαίνουν αυτοί οι όροι και πώς προκύπτουν.

- Τι καθορίζει την οπτική ποιότητα;
- Πώς φτάνουμε στην διαπίστωση ότι μια εικόνα είναι καθαρότερη από μια άλλη;

είναι ερωτήματα των οποίων την απάντησή πρέπει κανείς να ξέρει πριν ξεκινήσει να εφαρμόζει οποιαδήποτε τεχνική.

4.1 Καθαρότητα εικόνας

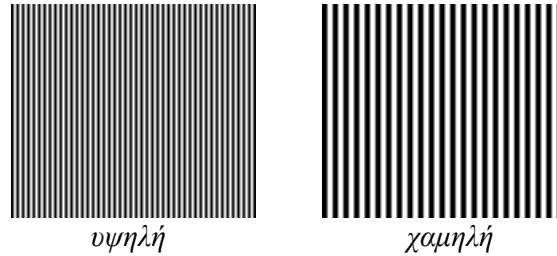
Η ευκρίνεια της εικόνας εξαρτάται τόσο από την διακριτότητα των λεπτομερειών, που την φανερώνει η ανάλυση, όσο και από την ορατότητα των αντικειμένων της εικόνας. Η ορατότητα καθορίζεται από το κατά πόσον ένα αντικείμενο στην εικόνα ξεχωρίζει από τα περιβάλλοντα στοιχεία της εικόνας.

Η οξύτητα, μια έννοια διαφορετική από την ανάλυση, περιγράφει την καθαρότητα (σαφήνεια) των λεπτομερειών σε μια φωτογραφία. Ενώ λοιπόν η ανάλυση αντιστοιχεί στο πόσο μικρά είναι τα αντικείμενα της εικόνας, η οξύτητα καθορίζεται από το πόσο διακριτά είναι τα περιγράμματά τους. Η καλή οξύτητα δηλαδή είναι συνώνυμη με την καθαρότητα της εικόνας.

4.1.1 Ανάλυση

Η ανάλυση (resolution, resolving power, spatial frequency) περιγράφει την ικανότητα της μηχανής να διακρίνει πολύ κοντινά στοιχεία, όπως τις δύο οικογένειες γραμμών

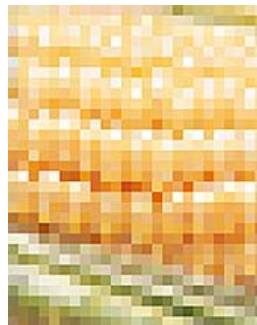
που φαίνονται στο επόμενο σχήμα.



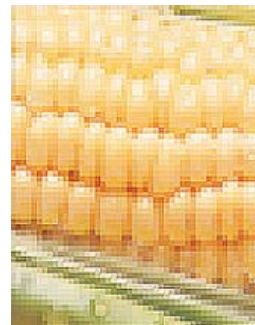
Η διάσταση του pixel καθορίζει την ανάλυση της εικόνας. Όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των pixel που συνθέτουν την εικόνα, τόσο μεγαλύτερη η ανάλυσή της και τόσο πιο λεπτομερής θα εμφανίζεται αυτή. Το μέγεθος του αισθητήρα της ψηφιακής μηχανής καθορίζει την ανάλυση της εικόνας.

4.1.1.1 Σχέση ανάλυσης και οξύτητας

Ο αριθμός των pixel που συνθέτουν την αρχική εικόνα μαζί με το μέγεθος της εκτύπωσης επηρεάζουν την οξύτητα της εικόνας. Φωτογραφία ανάλυσης 1600 x 1200 παράγει, γενικά, στο χαρτί εικόνα διαστάσεων 15 cm x 20 cm με καλή οξύτητα.



72 dpi



640 dpi



2400 dpi



14400 dpi

πηγή (36): www.vividlight.com

Οι παραπάνω εικόνες λήφθηκαν με αυξανόμενη ανάλυση και τυπώθηκαν στο ίδιο τελικό μέγεθος στο χαρτί. Κάτω μεταβάλαμε το μέγεθος των εικόνων μέχρι να έχουμε οπτικά την ίδια καθαρή εικόνα. Παρατηρούμε ότι λόγω της ανάλυσης, η αντιληπτή από το μάτι οξύτητα είναι ίδια αλλά για διαφορετικά μεγέθη εικόνων.



Όπως το μέγεθος της εικόνας επηρεάζει την σχέση οξύτητας και ανάλυσης, με αντίστοιχο τρόπο επιδρά και η απόσταση παρατήρησης μιας εικόνας. Όσο πιο μακριά είμαστε από μια εικόνα τόσο μικρότερη ανάλυση πρέπει να έχει η εικόνα αυτή για να θεωρηθεί οξεία. Η εικόνα στον κινηματογράφο είναι πολύ μικρότερης ανάλυσης από μια εκτύπωση σε ένα κάδρο, μολαταύτα και οι δυο θεωρούνται οξείες γιατί η απόσταση παρατήρησης της κινηματογραφικής οθόνης είναι πολύ μεγαλύτερη.

Σημαντικός περιορισμός της έννοιας της ανάλυσης είναι ότι δεν αναφέρεται άμεσα στα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την καθαρότητα της εικόνας. Δεν μετράει δηλαδή την ικανότητα ενός συστήματος να παράγει ευκρινείς εικόνες. Συμβαίνει, έτσι, πολλές φορές μια εικόνα με χαμηλή ανάλυση να είναι ευκρινέστερη από μια εικόνα με υψηλή ανάλυση. Επομένως, η ανάλυση δηλαδή ενός συστήματος είναι καλός δείκτης για την ικανότητά του να παράγει μεγάλης λεπτομέρειας εικόνες, αλλά δεν λέει πάντα κάτι για την ικανότητα του συστήματος αυτού να παράγει και καλή αντίθεση ακμών.

Η οξύτητα και η ανάλυση εξαρτώνται από εντελώς διαφορετικούς παράγοντες. Είναι δυνατό να φωτογραφήσει κανείς κάτι μια φορά και να παραγάγει θολή εικόνα με αρκετή λεπτομέρεια και από την άλλη να παραγάγει εικόνα με οξύτητα αλλά λιγότερη λεπτομέρεια. Το πλέον σύνηθες όμως είναι όταν υπάρχει μείωση στην ποιότητα της εικόνας να είναι μειωμένη τόσο η οξύτητα όσο και η ανάλυση.

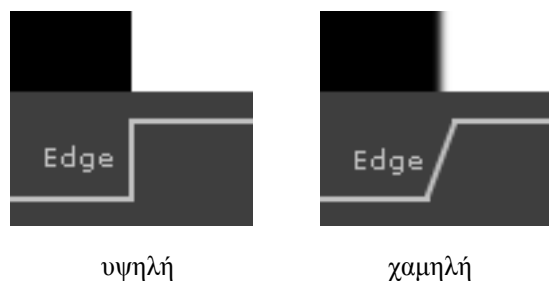


Οξύτητα έναντι ανάλυσης. Αυτές οι τρεις εκτυπώσεις έγιναν από το ίδιο αρνητικό όμως με διαφορετικούς φακούς. Ο φακός A ήταν ένας υψηλής ποιότητας φακός. Οι φακοί B και C ήταν φακοί υποδεέστερης ποιότητας. Η εικόνα που προέκυψε από τον φακό C είναι εμφανώς πιο οξεία από εκείνη που παράγει ο φακός B. Παρ' όλα αυτά αν κάναμε μετρήσεις όσον αφορά την ανάλυση, ο B θα έδινε καλύτερα αποτελέσματα.

(1) Image Clarity, σελ.128

4.1.2 Οξύτητα (acutance)

Πρόκειται για την ταχύτητα με την οποία εναλλάσσεται η πληροφορία της εικόνας σε μια ακμή. Έτσι υψηλή οξύτητα οδηγεί σε εικόνες με μεγάλη ευκρίνεια και σαφή όρια.



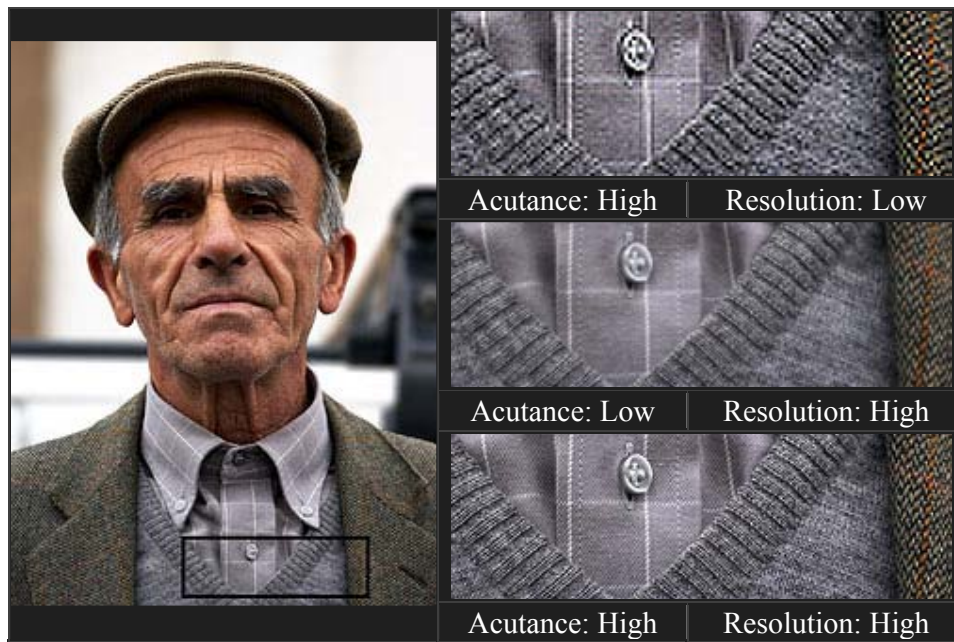
Η οξύτητα είναι μια μαθηματική και αντικειμενική ένδειξη, δεν μετριέται όμως εύκολα. Χρειάζεται εξοπλισμό εργαστηρίου και χρήση ακριβούς μικροπυκνόμετρου. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιείται σε εκτιμήσεις ρουτίνας για την ποιότητα της εικόνας, αφού δεν μπορεί ο καθένας να έχει στην κατοχή του ακριβά όργανα. Και τελικά μοιράζεται την ίδια αδυναμία με την ανάλυση: δεν αναφέρεται άμεσα στην καθαρότητα εικόνας. Σχετίζεται μεν μαζί της αλλά δεν λέει πολλά για την ανάλυση της εικόνας ή την ικανότητα του συστήματος να απεικονίσει λεπτομέρειες. Άρα η οξύτητα, όπως και η ανάλυση, δεν μπορεί να σταθεί μόνη της ως μέτρηση για την καθαρότητα της εικόνας.

Για τον μαθηματικό υπολογισμό της οξύτητας βλ. στο τέλος του Κεφαλαίου 4.

4.1.2.1 Σχέση ευκρίνειας (sharpness) και οξύτητας (acutance)

Η οξύτητα σχετίζεται αρκετά με αυτό που το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται ως ευκρίνεια και παρέχει και μια αριθμητική τιμή. Το θετικό της οξύτητας είναι ότι δεν την επηρεάζουν υποκειμενικές εκτιμήσεις (η ευκρίνεια είναι τελικά μια υποκειμενική εκτίμηση) γιατί προκύπτει από μετρήσεις οργάνων που δεν χρειάζεται να κριθούν οπτικά από τον παρατηρητή.

Έπεται ένα παράδειγμα για το πώς επηρεάζει την εικόνα η οξύτητα και η ανάλυση.



(3): www.cambridgeincolour.com

Οι δυο παράγοντες, οξύτητα και ανάλυση, συμβάλλουν στον καθορισμό της ευκρίνειας (καθαρότητας) μιας εικόνας. Σε μια φωτογραφία, όπως δείχνει και το παράδει-

γμα που προηγείται, πρέπει και οι δυο αυτοί παράγοντες να βρίσκονται σε ικανοποιητικό επίπεδο για να φαίνεται μια εικόνα ως ευκρινής.

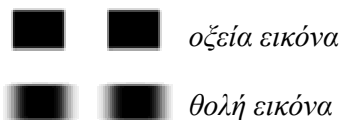
4.1.3 Ευκρίνεια (sharpness)

Μια εικόνα είναι καθαρή ή ευκρινής όταν οι λεπτομέρειές της ταυτίζονται με εκείνο που αναπαριστάται (πραγματικότητα). Η ευκρίνεια, όπως έχει αναφερθεί, σχετίζεται με δυο στοιχεία:

1. Την ακρίβεια των λεπτομερειών, που την αναδεικνύει η ανάλυση
2. Την σαφήνεια των αντικειμένων της εικόνας. Αυτή καθορίζεται από το κατα πόσον ένα αντικείμενο στην εικόνα ξεχωρίζει από τα περιβάλλοντα στοιχεία (οξύτητα – αντίθεση).

Η οξύτητα περιγράφει την ενάργεια της λεπτομέρειας σε μια φωτογραφία και, όπως έχει προαναφερθεί, διαφέρει από την ανάλυση. Η ανάλυση καθορίζει πόσο μικρά θα είναι τα διακριτά αντικείμενα στην εικόνα, ενώ η οξύτητα καθορίζεται από το πόσο διακριτά είναι τα περιγράμματά τους. Με δυό λόγια, η ανάλυση σχετίζεται με τον αριθμό των γραμμών σε μια εικόνα, η οξύτητα σχετίζεται με την ποιότητα αυτών των γραμμών.

Η αντίληψη της οξύτητας επηρεάζεται κυρίως από την αντίθεση των ακμών, και οι ακμές είναι οξείες όταν δεν διαχέονται ή συγχέονται με γειτονικούς τόνους του γκριζου (υψηλή οξύτητα).



(3): www.cambridgeincolour.com

Και πάλι όμως δεν αρκεί να είναι απλώς καθαρά τα περιγράμματα. Πρέπει και να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Όταν η οξύτητα παίρνει μεγάλες τιμές μπορεί τα περιγράμματα να έχουν υπερβολική αντίθεση και να φαίνονται ψεύτικα. Σε αυτή την περίπτωση δεν θεωρούμε ότι η εικόνα έχει καλή οξύτητα. Αντίθετα, αναφερόμαστε σε αυτή ως “εικόνα με ψευδή οξύτητα” και θεωρείται υποδεέστερης ποιότητας ακόμα και από μια θολή εικόνα. Γι’ αυτό η οξύτητα είναι, από μία άποψη, μια υποκειμενική έννοια και αποφασίζεται με οπτική παρατήρηση από τον εκάστοτε φωτογράφο βάσει της εμπειρίας του. Υπάρχουν όμως ικανοποιητικές πρακτικές που δίνουν καλή

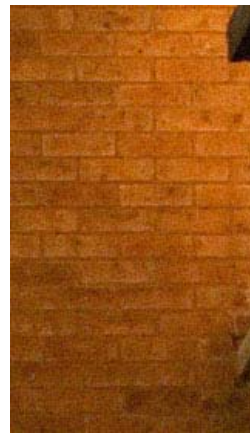
προσέγγιση της οξύτητας σε μια εικόνα και με αυτές θα ασχοληθεί αυτή η διπλωματική εργασία.

Για τις ψηφιακές μηχανές η ανάλυση περιορίζεται από τον αισθητήρα, ενώ η οξύτητα εξαρτάται από την ποιότητα του φακού και τον τύπο της επεξεργασίας αφού ληφθεί η εικόνα. Η οξύτητα είναι η μόνη παράμετρος της ευκρίνειας που είναι υπό τον έλεγχο του φωτογράφου ακόμα και μετά τη λήψη της φωτογραφίας. Όταν λοιπόν βελτιώνουμε εκ των υστέρων την ευκρίνεια της εικόνας σε κάποιο λογισμικό, στην ουσία βελτιώνουμε την οξύτητα. Την οξύτητα επηρεάζουν επίσης:

- *Ο θόρυβος της εικόνας:* στην πραγματικότητα ο θόρυβος δεν έχει επίδραση στην οξύτητα, απλώς όταν υπάρχει κάποιο ποσοστό θορύβου στην εικόνα αυτό δημιουργεί την ψευδαίσθηση ότι η εικόνα είναι πιο οξεία.



μικρός θόρυβος
“μαλακή” εικόνα



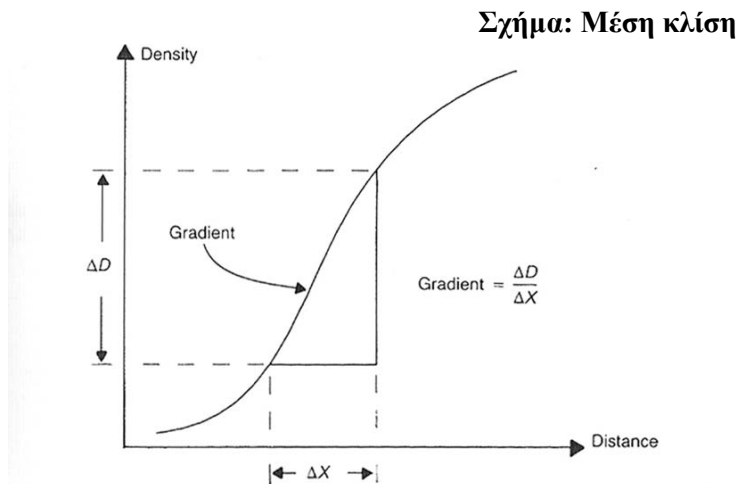
μεγάλος θόρυβος
οξεία εικόνα

<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/sharpness.htm>
<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/noise.htm>

- *Απόσταση παρατήρησης:* η οξύτητα εξαρτάται και από την απόσταση παρατήρησης. Αν κοιτά κανείς μια εικόνα από μακριά τότε χρειάζεται μικρότερη ανάλυση για να γίνει αυτή αντιληπτή ως οξεία. Έτσι, άλλη είναι η επιθυμητή οξύτητα όταν κοιτάμε την οθόνη του υπολογιστή και άλλη όταν πρόκειται να τυπώσουμε την εικόνα αυτή σε χαρτί το οποίο θα τοποθετηθεί σε μεγάλη απόσταση.
- *Τεχνική φωτογράφισης:* ακόμα και μικροί κραδασμοί κατά την φωτογράφιση μειώνουν σημαντικά την οξύτητα της εικόνας. Επιλογή του κατάλληλου διαφράγματος ή χρήση τρίποδα θα αυξήσουν σημαντικά την οξύτητα στη εικόνα.

Acutance (Οξύτητα)

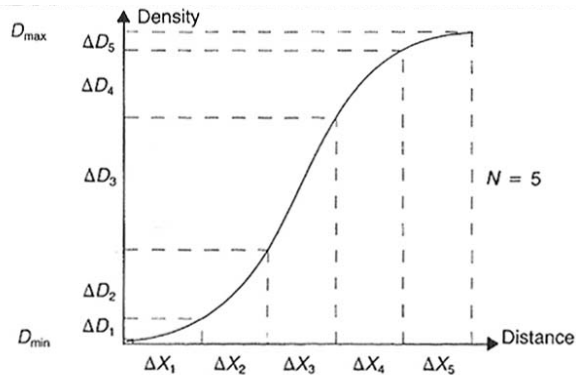
Το φαινόμενο που προκαλεί την εναλλαγή στην τιμή της οξύτητας είναι η διάχυση του φωτός. Δεν πρόκειται ποτέ η οξύτητα να φτάσει στη μέγιστη τιμή της γιατί η διάχυση του φωτός είναι ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο θα υπάρχει πάντα σε ένα οπτικό σύστημα.



Η κλίση της καμπύλης πυκνοτήτων δείχνει την ταχύτητα εναλλαγής της πυκνότητας σε μια δεδομένη απόσταση από την ακμή.

Η μέτρηση της οξύτητας ενός φίλμ, για παράδειγμα, μπορεί να υπολογιστεί από μετρήσεις που παίρνονται από την φωτοαυαίσθητη επιφάνεια (γαλάκτωμα) ανεξάρτητα από το οπτικό σύστημα. Τοποθετούμε την λεπίδα ενός μαχαιριού πάνω στην φωτοαυαίσθητη επιφάνεια και φωτίζουμε. Λόγω του φαινομένου της διάχυσης του φωτός φωτίζεται περιοχή του φίλμ η οποία κανονικά δεν δέχεται φως, γιατί καλύπτεται από το μαχαίρι. Το φως ανακλάται στους κρύσταλλους του φίλμ που εκτίθενται εκτός της λεπίδας, με αποτέλεσμα να επεκτείνεται και στους κρύσταλλους που καλύπτονται από τη λεπίδα.

Αφού γίνει η επεξεργασία του φίλμ, η εναλλαγή στην πυκνότητα κατά μήκος της ακμής του μαχαιριού, όπως σχηματίστηκε στο φίλμ, μετριέται με τη βοήθεια ενός μικροπυκνόμετρου και σχεδιάζεται σε ένα γράφημα. Η πυκνότητα σημειώνεται στον κατακόρυφο άξονα και η απόσταση από την ακμή στον οριζόντιο. Η γραφική παράσταση που προκύπτει ονομάζεται καμπύλη κλίσης του φίλμ (Σχήμα).



Η οξύτητα υπολογίζεται από την καμπύλη κλίσης χρησιμοποιώντας μια εμπειρική σχέση. Για να εφαρμοστεί η σχέση, ο οριζόντιος άξονας χωρίζεται σε αυθαίρετο αριθμό N ίσων τμημάτων και μετριέται η επιπλέον αύξηση στην πυκνότητα ΔD στην καμπύλη που αντιστοιχεί στο τμήμα ΔX_i (Σχήμα).

Το πρώτο βήμα στην εφαρμογή της εμπειρικής σχέσης για την οξύτητα είναι να σχηματιστούν ίσα τμήματα στον οριζόντιο άξονα και να υπολογιστεί η κλίση που αντιστοιχεί σε κάθε τμήμα. Η βέλτιστη τιμή της κλίσης της πυκνότητας είναι και το μέτρο της οξύτητας.

Η οξύτητα υπολογίζεται εφαρμόζοντας τον εξής τύπο:

$$A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\Delta D_i}{\Delta X_i} \right)^2 (D_{\max} - D_{\min})$$

N = Ο αριθμός των τμημάτων στα οποία χωρίζεται ο οριζόντιος άξονας

ΔX = το μήκος του κάθε τμήματος στον οριζόντιο άξονα

ΔD = η αλλαγή στην πυκνότητα που αντιστοιχεί στο τμήμα ΔX

D_{\max} = η μέγιστη τιμή πυκνότητας

D_{\min} = η ελάχιστη τιμή πυκνότητας

Ο όρος $\frac{\Delta D_i}{\Delta X_i}$ μετράει την μέση τιμή της αλλαγής στην πυκνότητα σε μια ορισμένη

απόσταση από την ακμή και δίνει την κλίση της καμπύλης σε αυτή την απόσταση. Όσο πιο απότομη εναλλαγή χρωμάτων έχουμε στην ακμή, τόσο μεγαλύτερη η κλίση του διαγράμματος και τόσο μεγαλύτερη τιμή παίρνει η A στον τύπο.

Ο τελευταίος παράγοντας $(D_{\max} - D_{\min})$ είναι η διαφορά στην πυκνότητα μεταξύ των περιοχών υψηλής και χαμηλής έκθεσης στο φως. Όσο αυτή η διαφορά είναι μεγαλύτερη, δηλαδή όσο η αντίθεση είναι μεγαλύτερη, τόσο μεγαλύτερος γίνεται ο όρος αυτός και τόσο μεγαλώνει η τελική υπολογισθείσα τιμή της οξύτητας.

4.1.4 Συνάρτηση Μεταφοράς Διαμόρφωσης– MTF

“The MTF chart is the only objective piece of data that I know that can be used when comparing lenses. I just wish I understood them a little more”.

quan00, μέλος discussion forums του www.nikonians.org για φωτογράφους.

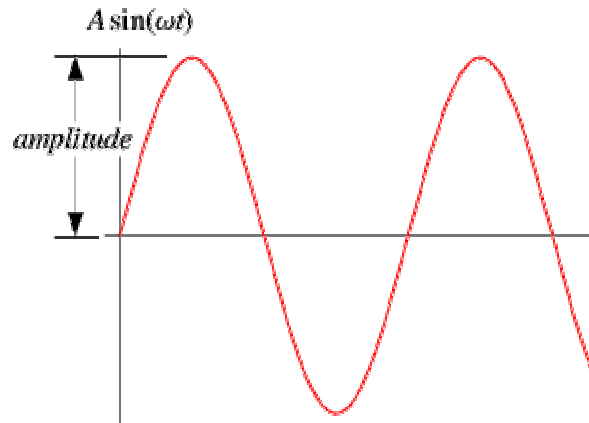
http://www.nikonians.org/forums/dcboard.php?az=show_topic&forum=146&topic_id=89486&msgid=89486&listing_type=&page=

Η χρήση της MTF στην αξιολόγηση της φωτογραφικής ποιότητας γίνεται όλο και πιο δημοφιλής. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, η οξύτητα και η ανάλυση περιγράφουν ελλιπώς αυτό που ονομάζουμε ποιότητα εικόνας. Η MTF ξεπερνά την αδυναμία της οξύτητας και της ανάλυσης παρέχοντας μια πιο πλήρη ένδειξη ποιότητας εικόνας (ένδειξη ευκρίνειας). Επίσης, επειδή παράγεται σε μαθηματικό υπόβαθρο θεωρείται αντικειμενική μέτρηση.

Η ιδέα των MTF, που στηρίζεται σε θεωρία της φυσικής, έχει χρησιμοποιηθεί συχνά για να αντιμετωπίσει προβλήματα από τον χώρο των ηλεκτρολόγων μηχανικών. Συνεπώς, πολλοί όροι που χρησιμοποιούνται στην περιγραφή των MTF είναι περισσότερο οικείοι στον χώρο αυτό.

Σήμα: Το σήμα είναι ένα μέσο για να μεταδοθεί πληροφορία. Λειτουργεί σε μορφή εισόδου ή εξόδου (input - output mode). Παράδειγμα ενός σήματος εισόδου είναι ένα ραδιοφωνικό σήμα που έρχεται σε μια κεραία. Το σήμα εξόδου που του αντιστοιχεί είναι το ηχητικό κύμα που παράγει το ραδιόφωνο. Στη φωτογραφία το σήμα εισόδου είναι το φως που διέρχεται από το φακό για να σχηματίσει την εικόνα στη μηχανή. Το σήμα εξόδου είναι η εικόνα που θα σχηματιστεί στη μηχανή. Βασικά χαρακτηριστικά του σήματος είναι η συχνότητα και το πλάτος.

Πλάτος: Το πλάτος ενός φωτογραφικού σήματος έχει να κάνει με το εύρος της φωτεινότητας που διαπερνά τον φακό ή με την κλίμακα πυκνότητας. Ένα αδύναμο σήμα στη φωτογραφία θα ήταν αυτό που αντιστοιχεί σε εικόνα με χαμηλή αντίθεση. Θεωρητικά, αδύναμο σήμα συνεπάγεται μειωμένη μεταφορά του σήματος εισόδου σε σήμα εξόδου. Στην φωτογραφία αδύναμο σήμα εξόδου σημαίνει μειωμένη ποιότητα της παραγόμενης εικόνας.

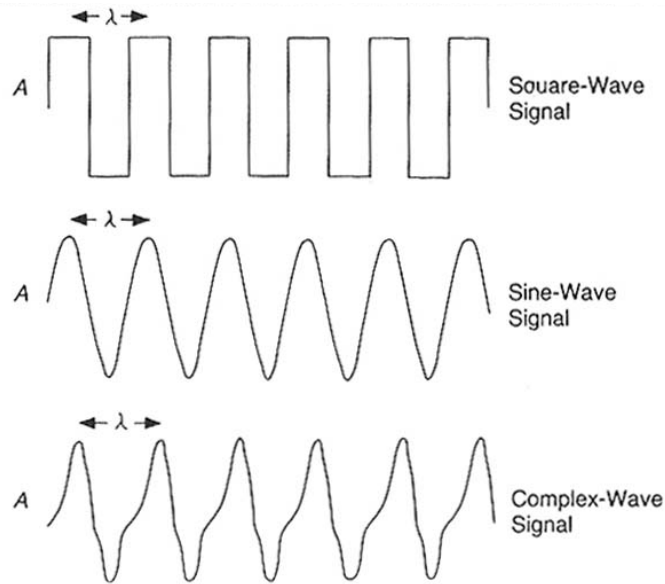


Το πλάτος μιας ημιτονοειδούς συνάρτησης $y = A \sin(\omega t)$ είναι η απόλυτη τιμή του A .

Συχνότητα: Είναι μια μέτρηση του αριθμού των επαναλήψεων του σήματος σε μια δεδομένη γραμμική απόσταση (χωρική συχνότητα) ή σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα (χρονική συχνότητα). Το μήκος κύματος του σήματος ορισμένες φορές αντικαθιστά τη συχνότητα. Το μήκος κύματος, αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητας, σχετίζεται με το μέγεθος του επαναλαμβανόμενου στοιχείου. Οι παράμετροι στο σχηματισμό εικόνας που αντιστοιχούν στη συχνότητα και το μήκος κύματος είναι η ανάλυση της εικόνας και η διακριτική ικανότητα του συστήματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα ν (ή όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος λ) τόσο καλύτερη θα είναι η διακριτική ικανότητα του συστήματος.

Θόρυβος: Παρεμβαίνει στην καθαρότητα και ομαλότητα του σήματος. Αποτελείται από τις ανεπιθύμητες αλλαγές που επιφέρουν στο σήμα μη γνήσια δευτερεύοντα σήματα ή από ατέλειες του συστήματος που εκπέμπει ή δέχεται το σήμα. Αντίστοιχα, σε ένα φωτογραφικό σύστημα ο θόρυβος προκύπτει από την κατασκευή/δομή του φιλμ και από τις ατέλειες του οπτικού συστήματος.

Διαμόρφωση: Αναφέρεται στις διακυμάνσεις της συχνότητας, της φάσης ή του πλάτους που είναι αναγκαίες για την μεταφορά της πληροφορίας μέσω ενός σήματος. Η σχετιζόμενη έννοια στη φωτογραφία είναι ο σχηματισμός εικόνας.



Η συχνότητα f και το μήκος κύματος λ είναι δυο αντιστρόφως ανάλογες ιδιότητες ενός σήματος: $f = 1/\lambda$. Η συχνότητα μετράει τις επαναλήψεις ενός σήματος σε μια χρονική περίοδο ή σε μια απόσταση (χωρική συχνότητα). Το πλάτος κύματος A αναφέρεται στην ισχύ του σήματος καθώς προκύπτει αν μετρηθεί η απόσταση από την ελάχιστη τιμή που παίρνει ως και τη μεγαλύτερη.

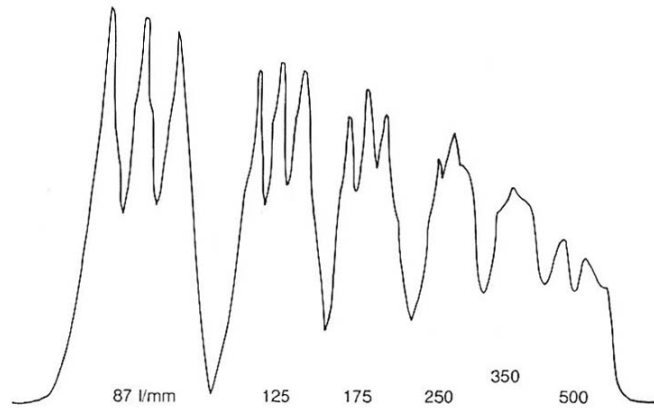
(1) Image Clarity, σελ. 16

Πώς δημιουργούνται οι καμπύλες MTF

Ένας τρόπος για να κατανοηθούν οι καμπύλες MTF είναι να εξεταστεί το πώς δημιουργούνται. Οι στόχοι που χρησιμοποιούνται για την διαδικασία παραγωγής των καμπυλών MTF διαφέρουν στον σχεδιασμό από του στόχους που χρησιμοποιούνται στην εύρεση της ανάλυσης και αυτό έχει να κάνει με τον επιδιωκόμενο σκοπό.

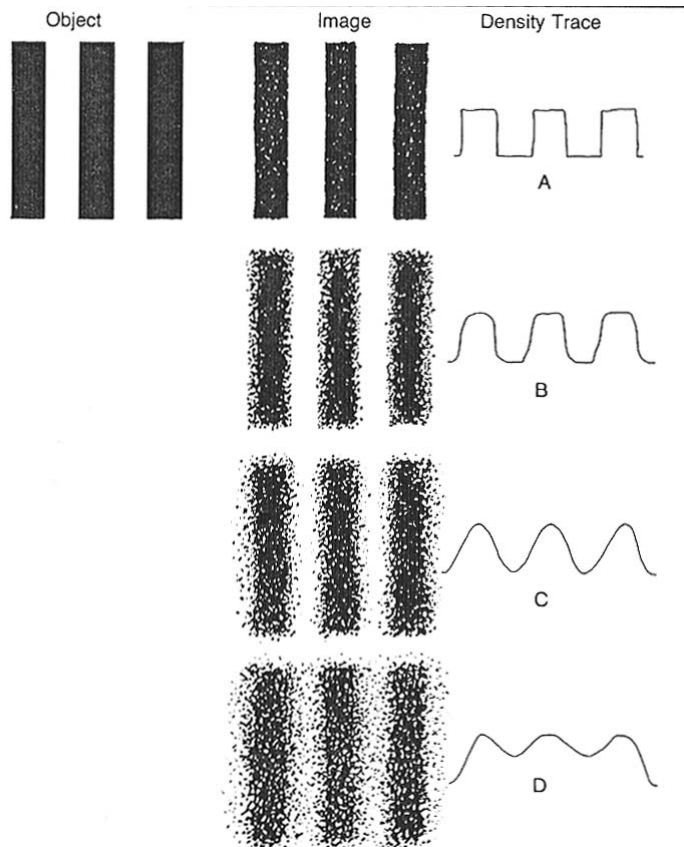
1^ο Αναπαράγονται σε μια διαφανή βάση, έτσι ώστε φωτίζοντας τους από πίσω να διατηρείται σταθερή η φωτεινότητα του στόχου.

2^ο Οι διακριτές ασπρόμαυρες στήλες που χρησιμοποιούνται στην εύρεση της διακριτικής ικανότητας αντικαθίστανται από ημιτονοειδούς μορφής εναλλαγές ασπρόμαυρων στηλών (ομαλή μετάβαση άσπρου σε μαύρο). Αυτού του τύπου οι στήλες διαφέρουν ως προς του μήκος κύματος. Η προτίμηση σε στόχους ημιτονοειδούς εναλλαγής προκύπτει από τον ‘ημιτονοειδή’ τρόπο με τον οποίο η εικόνα υποβαθμίζεται ως προς την ποιότητα. Αυτό αποδεικνύεται στα σχήματα που ακολουθούν.



Μείωση αντίθεσης ασπρόμαυρων στόχων. Αν μετρήσουμε την πυκνότητα κατά μήκος μαυρόασπρων στηλών αυξανόμενης χωρικής συχνότητας θα βρεθεί ότι η ακρίβεια της παραγόμενης εικόνας μειώνεται όσο αυξάνει η χωρική συχνότητα των λεπτομερειών της εικόνας. Ένα χαρακτηριστικό αυτής της μείωσης της ακρίβειας είναι η απόλεια της αντίθεσης, πρώτα για κάθε στήλη ξεχωριστά και μετά σε μεγαλύτερες συχνότητες μεταξύ ομάδων στηλών.

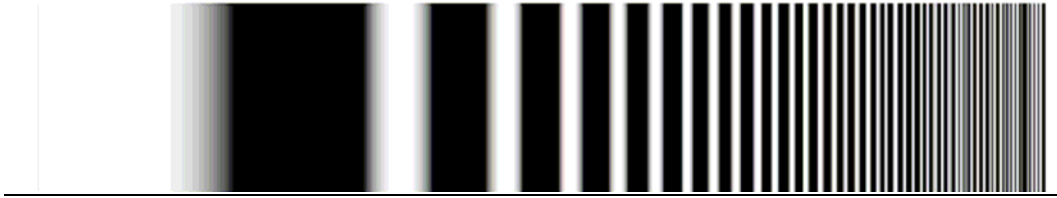
(1) Image Clarity, σελ. 18



Υποβάθμιση ενός σήματος που έχει κύμα τετραγωνικής μορφής. Το ίχνος της πυκνότητας (κατανομή γκριζού) που σχετίζεται με ένα τέλεια διαμορφωμένο σήμα εισόδου τετραγωνικής μορφής θα είχε κατακόρυφη κλίση και τετραγωνισμένες άκρες (A). Η ομαλοποίηση του σχήματος των γωνιών σημαίνει μείωση της ποιότητας σήματος (B). Όταν αυτή έχει μειωθεί σημαντικά, η

μορφή του σήματος εξόδου μεταβάλλεται σε ημιτονοειδή μορφή (C). Περαιτέρω μείωση στην ποιότητα του σήματος θα εμφανιστεί ως μείωση στο πλάτος του ημιτονοειδούς κύματος.

(1) Image Clarity, σελ. 19



(37) Η ψηφιακή εικόνα, Επεξεργασία και φιλτράρισμα

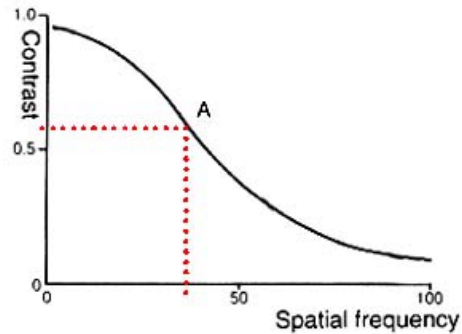
Ο στόχος που χρησιμοποιείται για την δημιουργία της καμπύλης MTF έχει ήδη εξαρχής ημιτονοειδή εναλλαγή άσπρου–μαύρου. Κατ’ αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται τα σφάλματα που υποβαθμίζουν το σήμα εξόδου (την εικόνα) να το κάνουν μειώνοντας το πλάτος του σήματος και μόνο. Έτσι μείωση της ισχύος του σήματος αντιστοιχεί αμεσότερα στην αύξηση της αλλοίωσης (υποβάθμιση της ποιότητας) της εικόνας.

Η μείωση του πλάτους του σήματος εξόδου είναι ίση με την μείωση της αντίθεσης της φωτογραφίας που αναπαριστούν οι καμπύλες MTF. Μετρούν δηλαδή την πτώση της μεταφοράς της αντίθεσης από την πραγματικότητα στην φωτογραφία για αυξανόμενη συχνότητα του σήματος εισόδου.

Αυξανόμενη συχνότητα του σήματος εισόδου →



Δηλαδή δείχνουν το πόσο καλά η ισχύς του αρχικού σήματος μεταφέρεται, από ένα οπτικό σύστημα, και διατηρείται στο σήμα εξόδου. Και στην περίπτωση της φωτογραφίας δύναμη του σήματος = ακρίβεια στην αναπαράσταση της πραγματικότητας. Συνεπώς οι καμπύλες MTF είναι ένδειξη της ακρίβειας με την οποία ένα οπτικό σύστημα αναπαράγει λεπτά αλλά και αδρά χαρακτηριστικά ενός αντικειμένου. Οποιοδήποτε σημείο στην καμπύλη της MTF έχει μια τιμή στον κατακόρυφο άξονα που αντιστοιχεί στην αντίθεση που διατηρείται στην εικόνα σε μια συγκεκριμένη χωρική συχνότητα την οποία δείχνει η τιμή του σημείου στον οριζόντιο άξονα.



Πιο συχνά παρατηρείται η αντίθεση να εκφράζεται σαν ποσοστό και να προκύπτει με υπολογισμό του λόγου διαμόρφωσης εικόνας προς αντικείμενου (Mi/Mo). Σε ένα τέλειο οπτικό σύστημα η αντίθεση θα μεταφερόταν σε ποσοστό 100%. Η διαμόρφωση της εικόνας θα ήταν ίδια με την διαμόρφωση του αντικείμενου στην πραγματικότητα. Μικρότερη μεταφορά δείχνει ότι το σήμα υπέστη μείωση στην ισχύ του και ότι η ποιότητα της εικόνας υποβαθμίστηκε.

Αντίθεση στις MTF

Στις MTF των φακών αντίθεση σε μηδέν συχνότητα κανονικοποιείται στο 100% (κατακόρυφος άξονας). Οι MTF λοιπόν ενός φακού δεν θα ξεπερνούν το 100%. Οι MTF για ένα φιλμ είναι πιθανό να είναι άνω του 100% σε συχνότητα μηδενική ανάλογα με την επεξεργασία της εμφάνισης του φιλμ.

Η αντίθεση ενός φακού σε χαμηλές συχνότητες σήματος εισόδου που δείχνει την απόδοση του φακού για απλά και μεγάλα σχήματα είναι πάντα σχετικά υψηλή. Οι περισσότεροι φακοί, ακόμα και οι πιο απλοί, μπορούν να αναπαράγουν μεγάλα χαρακτηριστικά της εικόνας με ακρίβεια. Η αντίθεση σε υψηλή συχνότητα, αντίθετα, δείχνει με πόση ακρίβεια ένας φακός αναπαράγει τις μικρές λεπτομέρειες. Όσο αυξάνει η συχνότητα του σήματος εισόδου, η αντίθεση του σήματος εξόδου μειώνεται, χωρίς σταθερό ρυθμό. Όσο πιο καλός είναι ο φακός τόσο πιο καλή είναι η αντίθεση στις υψηλές συχνότητες και τόσο μεγαλύτερη είναι η διαχωριστική ικανότητα. Σε όλους τους φακούς ισχύει το εξής:

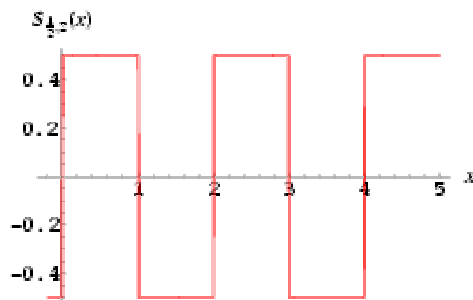
Η αντίθεση μειώνεται όσο η συχνότητα αυξάνει και πέφτει προς το μηδέν όταν προσεγγίζεται το όριο ανάλυσης του φακού.

Όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή της MTF, τόσο πιο αξιόπιστα θα προβάλλει την εικόνα ο φακός. Μια MTF του 100% είναι ιδανική, αλλά και η ποιότητα εικόνας ενός φακού

θα είναι συγκριτικά καλή όταν η MTF του είναι πάνω από 70% με 80%. Στα 30% περίπου η καθαρότητα της εικόνας θα είναι ίσως αποδεκτή αλλά ίσως και όχι. Ακόμα όμως και σε αυτό το χαμηλό ποσοστό, τα χαρακτηριστικά της εικόνας εξακολουθούν να περιέχουν χρήσιμη πληροφορία και διακριτή λεπτομέρεια. Σε αντίθεση 20% ή λιγότερο, όμως, η λεπτομέρεια υψηλής συχνότητας θα είναι πλέον δυσδιάκριτη.

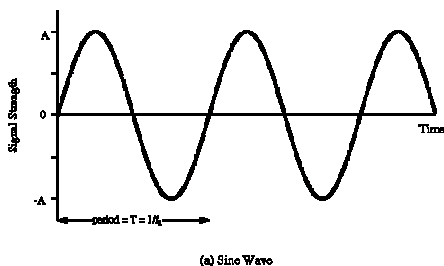
Οξύτητα και σύνθεση του κύματος τετραγωνικής μορφής

Οι καμπύλες MTF αποκαλύπτουν κάτι ακόμα για την οξύτητα ενός συστήματος δείχνοντας το εύρος των συχνοτήτων που καταγράφει το σύστημα.



Θεωρητικά είναι δυνατό να συνθέσουμε ένα κανονικό τετραγωνικό κύμα (βλ. το σχήμα αριστερά).

<http://mathworld.wolfram.com/SquareWave.html>



Αυτό γίνεται με την επιλογή ενός βασικού, ημιτονοειδούς μορφής, κύματος με συχνότητα η οποία ισούται με την συχνότητα του τετραγωνικού κύματος που θα σχηματιστεί.

<users.uma.maine.edu/.../rsm/slides/figures.htm>

Σε αυτό το βασικό κύμα θα προστεθούν και άλλα ημιτονοειδή κύματα όλο και μικρότερου πλάτους σε καθεμία από τις περιττές αρμονικές συχνότητες του βασικού κύματος. Οι ιδιότητες των αρμονικών κυμάτων είναι τέτοιες που όταν η συχνότητα ενός κύματος αυξάνει το πλάτος μειώνεται. Με την προσθήκη κάθε αρμονικού κύματος η πλευρά του συντεθειμένου κύματος γίνεται πιο απότομη και η κορυφή γίνεται πιο πλατιά. Τείνει δηλαδή στη μορφή του τετραγωνικού κύματος. Για να σχηματιστεί όμως ένα τέλειο τετραγωνισμένο κύμα χρειάζεται άπειρος αριθμός αρμονικών. Συνα-

κόλουθα, ένα τέλειας οξύτητας οπτικό σύστημα πρέπει να έχει άπειρη χωρική συχνότητα. Η οξύτητα ενός συστήματος λοιπόν μπορεί φανεί από το εύρος των τιμών της χωρικής συχνότητας στο διάγραμμα MTF (άξονας x).

Περιορισμοί της MTF

Ενώ λοιπόν η MTF παρέχει χρήσιμη πληροφορία, μια μόνο καμπύλη δεν περιγράφει πλήρως την απόδοση ενός φακού. Η απόδοση ενός φακού διαφέρει ανάλογα με το διάφραγμα που επιλέγεται κάθε φορά και ανάλογα με τη φορά των γραμμών εξέτασης. Για να είναι πλήρως κατανοητή η απόδοση ενός φακού πρέπει να γίνει εξέταση μιας σειράς από καμπύλες που έχουν παραχθεί σε διάφορα διαφράγματα και σε διάφορα σημεία του οπτικού πεδίου. Το μειονέκτημα της πληθώρας καμπυλών είναι ότι προσφέρουν τέτοιο πλήθος πληροφορίας που περιπλέκει το ζήτημα της σύγκρισης διαφορετικών φακών.

Επίσης, οι συναρτήσεις μεταφοράς διαμόρφωσης, όπως και οι μετρήσεις της οξύτητας, είναι εργαστηριακές μετρήσεις. Η δημιουργία τους είναι εκτός των δυνατοτήτων του απλού χρήστη μιας φωτογραφικής μηχανής. Ένας μέσος φωτογράφος δεν διαθέτει τα μέσα για να έχει την MTF ενός στοιχείου μιας φωτογραφικής μηχανής ή όλου του συστήματος.

Υποκειμενικές εκτιμήσεις καθαρότητας ης εικόνας

Η οπτική εξέταση των φωτογραφιών είναι με διαφορά η πιο σημαντική μέθοδος που υπάρχει για να αποφασιστεί η ποιότητα της εικόνας. Ένας παρατηρητής βλέποντας την εικόνα κρίνει την ποιότητά της βασιζόμενος στην διαίσθησή του. Αυτό που κάνει είναι να συγκρίνει νοητικά την εικόνα που βλέπει με άλλες που έχει δει στο παρελθόν και την τοποθετεί σε μια κατάταξη σαν πιο καθαρή ή όχι. Δεν χρειάζονται ούτε επιστημονικές μετρήσεις ούτε ενδεδελεχθείς αναλύσεις βάσει δεικτών ποιότητας. Αυτή η εκτίμηση που κάνει ο παρατηρητής είναι και έγκυρη εφόσον είναι εμφανής η διαφορά μεταξύ των διαφορετικών εικόνων. Το πρόβλημα που προκύπτει είναι όταν οι εικόνες είναι πολύ κοντά σε ποιότητα. Εκεί έχει παρατηρηθεί ότι διαφορετικοί παρατηρητές θα διαφωνήσουν ως προς το ποια εικόνα είναι και η καλύτερη. Επίσης μπορεί ο ίδιος παρατηρητής να δώσει διαφορετική εκτίμηση εάν δει τις εικόνες υπό διαφορετικές συνθήκες (σε άλλο χρόνο, τόπο, φωτισμό). Ακόμα και ψυχολογικοί παράγοντες επηρεάζουν την εκτίμηση αυτή του παρατηρητή. Το θέμα που φωτογραφίζεται παίζει επίσης σημαντικό ρόλο. Εάν δεν έχει ακμές (όπως μια φωτογραφία του ουρανού) τότε

είναι σχεδόν αδύνατο για τον παρατηρητή να διακρίνει διαφορά στην οξύτητα. Αυτό συμβαίνει γιατί η οξύτητα γίνεται αντιληπτή από συγκεκριμένα στοιχεία σε μια εικόνα, με πιο σημαντικό την ύπαρξη ακμών έντονης αντίθεσης. Αν λοιπόν κάποιος κοιτά μια εικόνα που δείχνει έναν καθαρό ουρανό δεν μπορεί να βγάλει κανένα συμπέρασμα για την οξύτητα. Ακόμα, εάν υπάρχουν αντικείμενα στην εικόνα χωρίς έντονες ακμές (πχ. σύννεφα) θα υπάρχει η ίδια σύγχυση.

Για να έχουμε λοιπόν αίσθηση της οξύτητας και της λεπτομέρειας σε μια φωτογραφία πρέπει να επιλέξουμε θέματα με έντονες ακμές, μικρές λεπτομέρειες και έντονη υφή. Εάν δεν συμβαίνει αυτό, τότε θα έχουμε εκτιμήσεις υποκειμενικές που ίσως έρχονται σε αντίθεση με τις επιστημονικές αντικειμενικές μετρήσεις. Υπάρχει με παραδείγματα σε επόμενο κεφάλαιο η υποκειμενική εκτίμηση που κάνουμε για τις υπό εξέταση ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές της εργασίας αυτής.

Αντικειμενικές αριθμητικές εκτιμήσεις καθαρότητας εικόνας

Επειδή δεν είναι δυνατό για έναν φωτογράφο να αξιολογήσει κάθε φακό, υπάρχουν κλίμακες αξιολόγησης και εκτιμήσεις όσο και αξιολογήσεις που έχουν ήδη γίνει από άλλους ώστε να είναι δυνατή η επιλογή ενός φακού έναντι ενός άλλου με αντικειμενικό τρόπο (με ένα είδος βαθμολογίας). Επειδή οι αξιολογήσεις αυτές γίνονται από διαφορετικούς εκτιμητές σε τακτά χρονικά διαστήματα για τους ίδιους φακούς, αν αυτές συμφωνούν μεταξύ τους τότε η εγκυρότητά τους ενισχύεται και μπορεί να είναι κανείς σχετικά βέβαιος για το φακό που θα επιλέξει. Με τη χρήση αριθμού ενδεικτικού της ποιότητας ξέρει κάποιος όχι μόνο ότι δυο οπτικά συστήματα διαφέρουν αλλά και πόσο. Με την χρησιμοποίηση αριθμών αντί για αόριστες εκφράσεις η αξιολόγηση μπορεί να αποκτήσει επιστημονικό βάρος και να οδηγήσει σε σύνθετες μαθηματικές σχέσεις που εκφράζουν την ποιότητα και την καθαρότητα μιας εικόνας.

Κεφάλαιο 5^ο: Συνάρτηση Μεταφοράς Διαμόρφωσης (MTF)

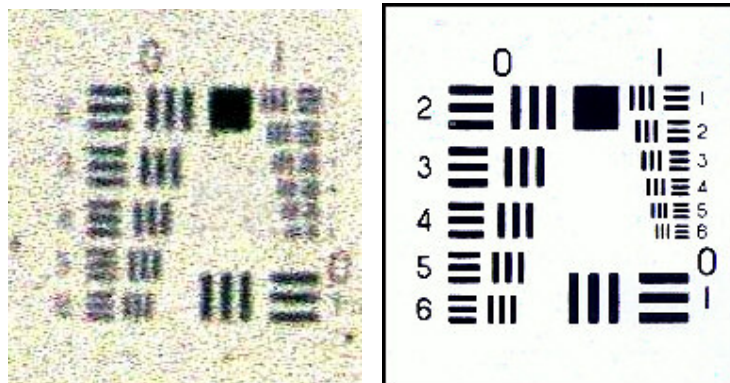
5.1 Προσδιορισμός της ποιότητας εικόνας

Η ποιότητα της εικόνας μπορεί να προσδιοριστεί από έναν μεγάλο αριθμό μετρήσεων για την αντίθεση, το θόρυβο, την οξύτητα, την διαχωριστική ικανότητα, το κοκκώδες, την MTF, με όλα αυτά να αναφέρονται στη ραδιομετρία της εικόνας. Ανάμεσα σε άλλες μετρήσεις, η εκτίμηση της ευκρίνειας της εικόνας (sharpness) είναι σημαντική για τον χαρακτηρισμό εικόνων. Η θολότητα της εικόνας (image blur), που μειώνει την καθαρότητα της εικόνας, μπορεί να μετρηθεί με αντικειμενικό τρόπο από την MTF.

Στο θέμα ποιότητα της εικόνας ο φακός είναι ο πρώτος και πιο σημαντικός παράγοντας. Χωρίς έναν φακό οξύ (sharp) δεν είναι δυνατό να έχουμε ευκρινή εικόνα. Για να μπορεί να αποφασιστεί αν ένας φακός είναι οξύς και πόσο οξύς είναι χρειάζεται κάποιος μορφής αντικειμενική μέθοδο εξέτασης, την οποία θα μπορεί να εφαρμοστεί με τον ίδιο τρόπο σε όλους τους φακούς. Το τεστ “gold standard” υπήρχε για χρόνια για να προσδιορίσει την MTF. Είναι απλώς μια μέτρηση του ποσοστού της διαμόρφωσης (της αντίθεσης εν προκειμένω) σε ένα αντικείμενο η οποία εμφανίζεται στην εικόνα του όπως την προβάλλει ο υπό εξέταση φακός. (2) bobatkings.com

5.2 MTF και αναλογικές φωτογραφικές μηχανές

Για τον υπολογισμό της MTF και της διαχωριστικής ικανότητας οπτικών συστημάτων η Στρατιωτική Αεροπορία των ΗΠΑ είχε δημιουργήσει έναν στόχο το 1951 (USAF 1951), ο οποίος έκτοτε χρησιμοποιήθηκε συχνά και για πολλά χρόνια. Στο Σχ. 5.1 δεξιά είναι ο στόχος και αριστερά η απεικόνισή του σε φιλμ. Με μετρήσεις στο φιλμ βρισκόταν η διαχωριστική ικανότητα του εκάστοτε φακού.



Σχήμα 5.1 Στόχος USAF 1951 (δεξιά) και η απεικόνισή του σε φιλμ. [(2) www.bobatkings.com]

5.3 Συνάρτηση Μεταφοράς Διαμόρφωσης (MTF)

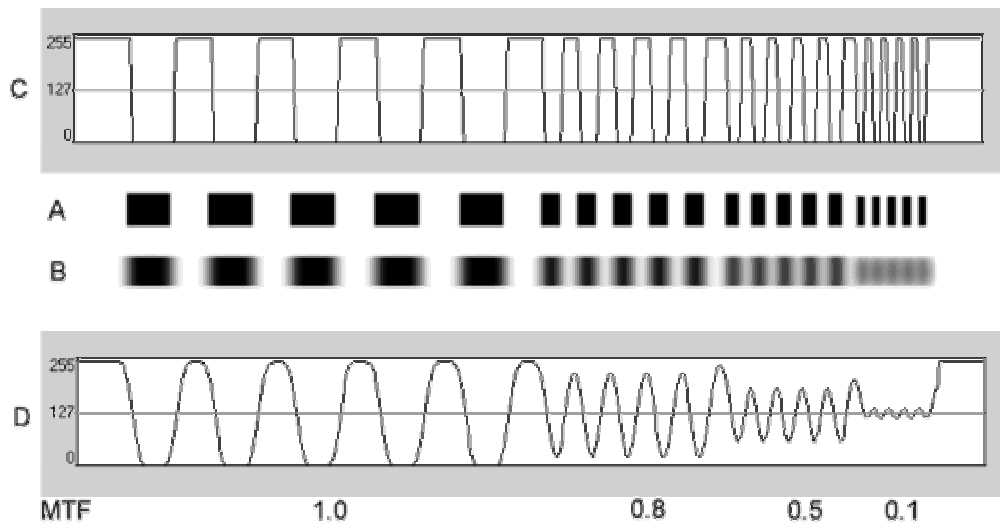
Για να εξηγηθεί η MTF θα χρησιμοποιηθεί η εικόνα που ακολουθεί.

- Το A στην εικόνα δείχνει μια σειρά από άσπρες και μαύρες στήλες. Είναι τέσσερις ομάδες στηλών σε συνεχώς μειούμενα μεταξύ τους διαστήματα.

- Στο C έχουμε μια γραφική αναπαράσταση του A, όπου φαίνονται οι τιμές της έντασης κατά μήκος του A. Τα λευκά τμήματα έχουν τιμή έντασης 255 (είναι η μέγιστη ένταση μιας ψηφιακής εικόνας 8-bit) και τα μαύρα 0.

- Στο B δίνεται μια αναπαράσταση του πώς είναι πιθανόν να φαίνονται οι στήλες όταν προβάλλονται από έναν φακό. Οι μαύρες και οι λευκές περιοχές είναι πιο θολές και όσο μικρότερη είναι η απόσταση μεταξύ τους τόσο πιο θολή είναι η εικόνα τους.

- Τέλος, στο D φαίνεται η γραφική παράσταση της απεικόνισης των στηλών, ενώ κάτω βρίσκονται οι τιμές της MTF που υπολογίζονται από τα δεδομένα (την ψηφιακή εικόνα).



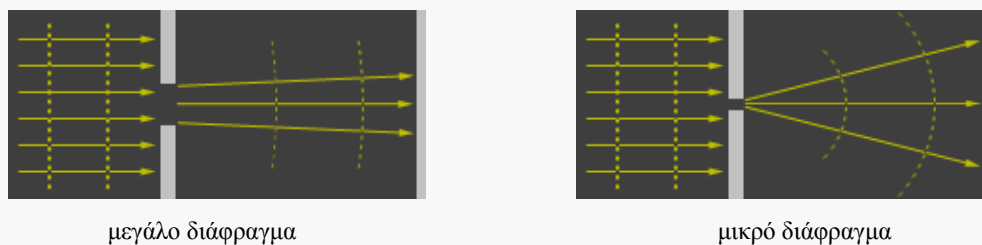
$$MTF = \frac{(\text{μέγιστη ένταση} - \text{ελάχιστη ένταση})}{(\text{μέγιστη ένταση} + \text{ελάχιστη ένταση})}$$

Η θόλωση της εικόνας δεν οφείλεται απαραίτητα σε κάποιο ελάττωμα του φακού. Ακόμα και ένας τέλειος φακός θα είχε παρόμοιο αποτέλεσμα και ο λόγος είναι η περίθλαση του φωτός. Περίθλαση είναι η τάση του φωτός να απλώνεται όταν περνάει μέσα από ένα διάφραγμα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μια ποσότητα φωτός να διαδίδεται από τις φωτεινές στις σκοτεινές περιοχές.

(2) www.bobatkins.com

Περίθλαση Το φαινόμενο της περίθλασης αποτελεί πρόβλημα όταν γίνεται μια σε βάθος ανάλυση του φακού. Ειδικά όταν πρόκειται για μικρά διαφράγματα είναι πιο έντονο, και αυτό γιατί είναι μικρότερη η οπή από την οποία περνάει το φως. Ζητούμενο για τους φωτογράφους είναι η μεγαλύτερη ευκρίνεια (sharpness). Αυτό το επιτυγχάνουν με τη χρήση μικρότερου διαφράγματος που οδηγεί σε μεγαλύτερο βάθος πεδίου. Σε κάποιο διάφραγμα λοιπόν, το φαινόμενο της περίθλασης ισορροπεί με το όποιο κέρδος σε ευκρίνεια λόγω του μεγαλύτερου βάθους πεδίου. Όταν συμβαίνει αυτό, το οπτικό σύστημα της μηχανής είναι “περιορισμένης περίθλασης” (*diffraction limited*).

Το φαινόμενο της περίθλασης



5.3.1 Πώς επηρεάζεται η καμπύλη της MTF

Όταν πρόκειται για μεγάλες περιοχές εναλλαγής μαύρου και άσπρου στην εικόνα, τότε το φαινόμενο της περίθλασης δεν επηρεάζει σημαντικά την καμπύλη MTF. Όταν όμως πρόκειται για μικρά τμήματα άσπρου και μαύρου στην εικόνα, τότε ακόμα και μικρή εμφάνιση φαινομένου περίθλασης επιφέρει εμφανή πτώση στο διάγραμμα της MTF. Πάντοτε όσο η χωρική συχνότητα μεγαλώνει υπάρχει μείωση της MTF, ακόμα και για έναν “τέλειο” φακό. *Χωρική συχνότητα* είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την απόσταση μεταξύ των αντικειμένων σε έναν φωτογραφικό στόχο, όπως είναι αυτός που φαίνεται παρακάτω. Εδώ η χωρική συχνότητα αυξάνεται από τα αριστερά στα δεξιά.



Από τεχνική άποψη αυτός ο φωτογραφικός στόχος είναι ο ιδανικός για την μέτρηση της MTF, γιατί γίνεται ομαλή μετάβαση στην πυκνότητα των γραμμών και η γραφική παράσταση της πυκνότητας κατά μήκος του στόχου μοιάζει σαν εκείνη του ημιτονοειδούς κύματος. Για αυτό και ονομάζεται “διάταξη ημιτονοειδούς κύματος”. Λόγω όμως της δυσκολίας να κατασκευαστούν τέτοιοι στόχοι και της δυσκολίας να μετρηθούν τα διαστήματα των στηλών με το μάτι έχει επικρατήσει η χρήση στόχων με διακριτές στήλες. Οι στόχοι με διακριτές στήλες δίνουν μια ελαφρά μεγαλύτερη τιμή της MTF αλλά η διαφορά είναι μικρή.

5.3.2 Το γράφημα της MTF

Υπάρχουν δυο ειδών τρόποι για να αναπαρασταθεί γραφικά η καμπύλη MTF.

5.3.2.1 MTF για αυξανόμενη χωρική συχνότητα σε μικρό τμήμα της εικόνας

Όταν την γραφική παράσταση δημιουργείται ως συνάρτηση της απόστασης μεταξύ των στηλών, για το στόχο με διακριτές στήλες ο άξονας x έχει μονάδες ζεύγη γραμμών ανά mm (line pairs per mm). Αντίθετα, για μια διάταξη ημιτονοειδούς κύματος ο άξονας x έχει μονάδες κύκλων ανά mm (cycles per mm) και πολλές φορές αυτό παραβλέπεται. Ακόμα, τα “lines/mm” ή “line pairs/mm”, που συχνά εμφανίζονται σε διάφορα διαγράμματα, είναι το ίδιο και το αυτό. Lines/mm είναι γιατί μετρούνται οι γραμμές ενός χρώματος (μαύρο ή άσπρο), ενώ line pairs/mm είναι γιατί μετρούνται ζεύγη μαυρόασπρων γραμμών.



(2) www.bobatkins.com

Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται σε μονάδες χωρικής συχνότητας (line pairs per mm), και για την ακρίβεια κανονικοποιημένης χωρικής συχνότητας, γι’ αυτό και έχει τιμές από 0 έως 1. Αυτό στην ουσία σημαίνει ότι ο οριζόντιος άξονας είναι διαφορετικός για κάθε διάφραγμα. Η κλίμακα του οριζόντιου άξονα θα είναι από 0 έως περίπου $1800/f$, όπου f είναι το f-stop. Άρα για f-stop 2 η κλίμακα του οριζόντιου άξονα είναι από 0 έως 900 lp/mm, για f-stop 4 από 0 έως 450 lp/mm και για f-stop 11 από 0 έως 164 lp/mm. Χρησιμοποιώντας την κανονικοποιημένη χωρική συχνότητα μπορούμε να

δούμε πώς οι φακοί αποδίδουν σχετικά με την μέγιστη θεωρητικά απόδοση τους για κάθε διάφραγμα. Παρατηρώντας τα γραφήματα που ακολουθούν, βλέπουμε ότι κανένας φακός δεν αποδίδει καλά σε ανοιχτά διαφράγματα. Επίσης οι περισσότεροι φακοί θα έχουν τα καλύτερα αποτελέσματα για τιμές διαφράγματος $f5.6$ με $f8$. Σε αυτό το παράδειγμα, που αντλήθηκε από το Διαδίκτυο, βλέπουμε ότι η MTF είναι πράγματι μέτρο απόδοσης του φακού. Αυτό που ενδιαφέρει τον συγγραφέα είναι ότι γίνεται παράθεση των γραφικών συναρτήσεων σε ένα διάγραμμα, με οριζόντιο άξονα σε κλίμακα σχετική για κάθε διάφραγμα, ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση (βάσει της μορφής και της θέσης της ευθείας) όσον αφορά την απόδοση του φακού.

Ακολουθούν τα γραφήματα MTF έξι διαφορετικών φακών 50mm.

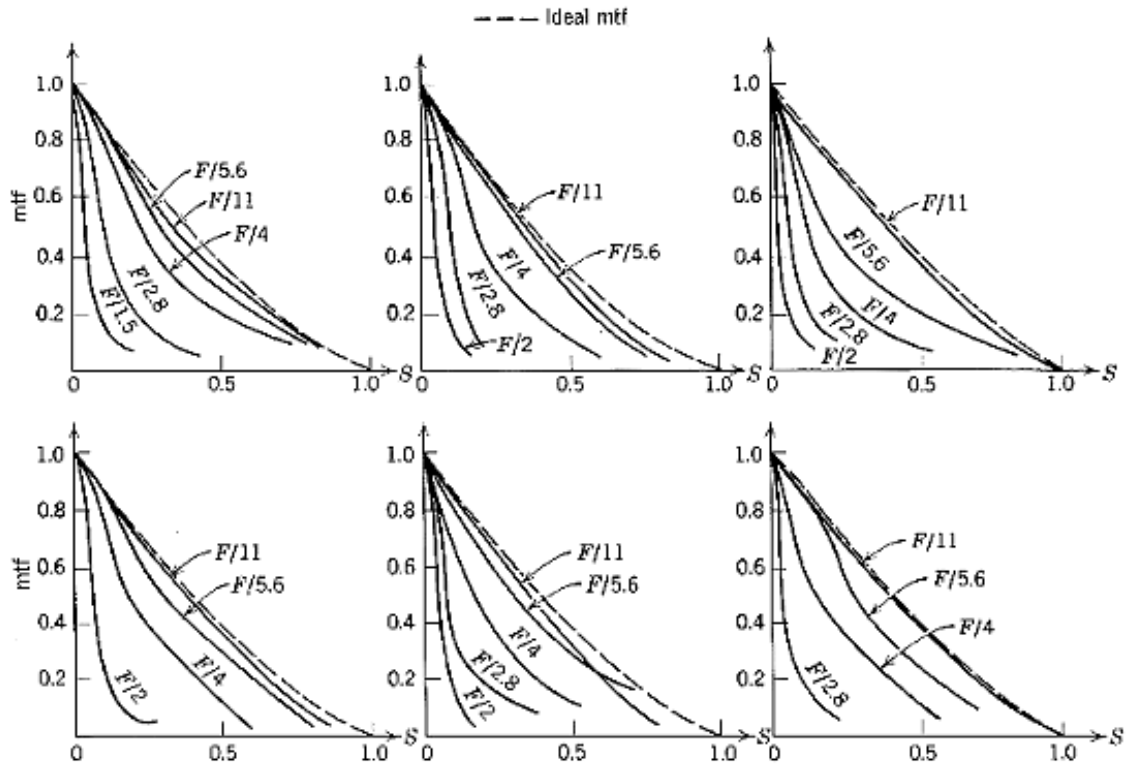


Figure 9.49 Mtf's of some 50-mm photographic objectives. Rosenhauer and Rosenbruch

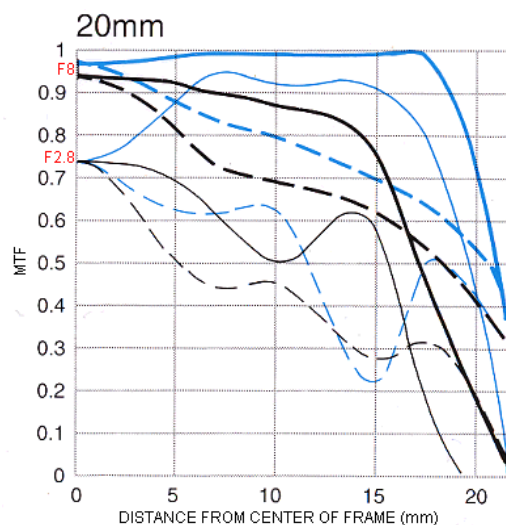
K. Rosenhauer and K.J. Rosenbruch,
 "Die optischen Bildfehler und die Übertragungsfunktion", *Optik* 17, 249-277 (1960)

5.3.2.2 MTF σε ολόκληρη την έκταση της εικόνας

Με τα παραπάνω καθορίστηκε πως λειτουργεί η MTF, αλλά για ένα σημείο της εικόνας. Είναι γενικά γνωστό ότι η καμπύλη MTF στο κέντρο της εικόνας θα είναι ψηλότερα από ό,τι στα άκρα. Γι' αυτό πολλοί δίνουν μια τιμή στην καμπύλη MTF που έχει προκύψει ως μέσος όρος με βάρη κατα μήκος και κατά πλάτος της εικόνας. Ενώ αυτό αποτελεί ένα μέτρο ελέγχου του φακού, δεν συνιστά λεπτομερή ανάλυση σχετικά με το τι συμβαίνει κατά τη μετάβαση από το κέντρο της εικόνας στα άκρα.

Από την άλλη μεριά όμως, μια ανάλυση της MTF από το κέντρο στα άκρα του φακού τις περισσότερες φορές ίσως να μην χρειάζεται, και αυτό γιατί συνήθως η MTF είναι συμμετρική στην επιφάνεια του φακού με την μεγαλύτερη τιμή της στο κέντρο του φακού. Αυτό συμβαίνει σε γενικές γραμμές σε ένα φακό. Εάν όμως η κατασκευή του φακού είναι ελαττωματική, τότε μπορεί να υπάρχουν έντονες διακυμάνσεις τις οποίες δεν μπορεί να αποδώσει μια μέση τιμή της MTF. Δηλαδή μπορεί ένας φακός με υψηλή τιμή στο κέντρο και χαμηλή στα άκρα να έχει την ίδια μέση τιμή με ένα φακό που έχει μια τιμή MTF σε ολόκληρη την έκταση της εικόνας. Φυσικά σε αυτή την περίπτωση ο δεύτερος φακός είναι γενικά καλύτερος.

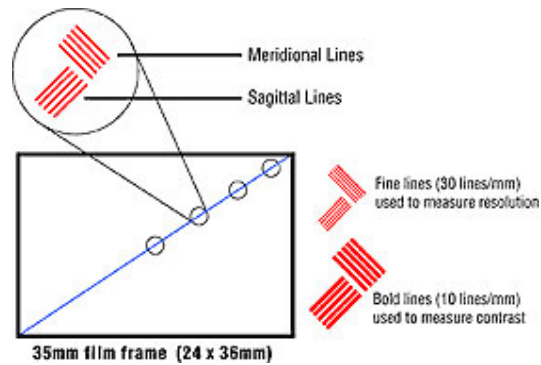
Έτσι, υπάρχει εναλλακτικός τρόπος να παρουσιάσουμε σε γράφημα την MTF, και αυτός είναι να γίνει γραφική παράσταση της MTF για δεδομένη χωρική συχνότητα ως συνάρτηση της απόστασης από το κέντρο της εικόνας. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται παρακάτω. Τα δεδομένα είναι για τον φακό Canon EF20-35/2.8L στα 20 mm.



Οι μπλέ καμπύλες είναι για f8, οι μαύρες για f2.8. Οι συνεχείς γραμμές είναι ακτινικές μετρήσεις, οι διακεκομμένες εφαπτομενικές μετρήσεις. Οι χοντρές καμπύλες είναι για 10 lines/mm, οι λεπτές για 30 lines/mm.

(6) Canon's Lens Technical Reports

Το προηγούμενο διάγραμμα έχει αποτελέσματα για δυο διαφράγματα (f8 και f2.8) σε δυο χωρικές συχνότητες (10 lines/mm και 30 lines/mm) και δυο είδη γραμμών του φωτογραφικού στόχου: ακτινικές (radial ή sagittal) και εφαπτομενικές (tangential ή meridional). Το σχήμα δεξιά δείχνει τι είναι η κάθε μια.

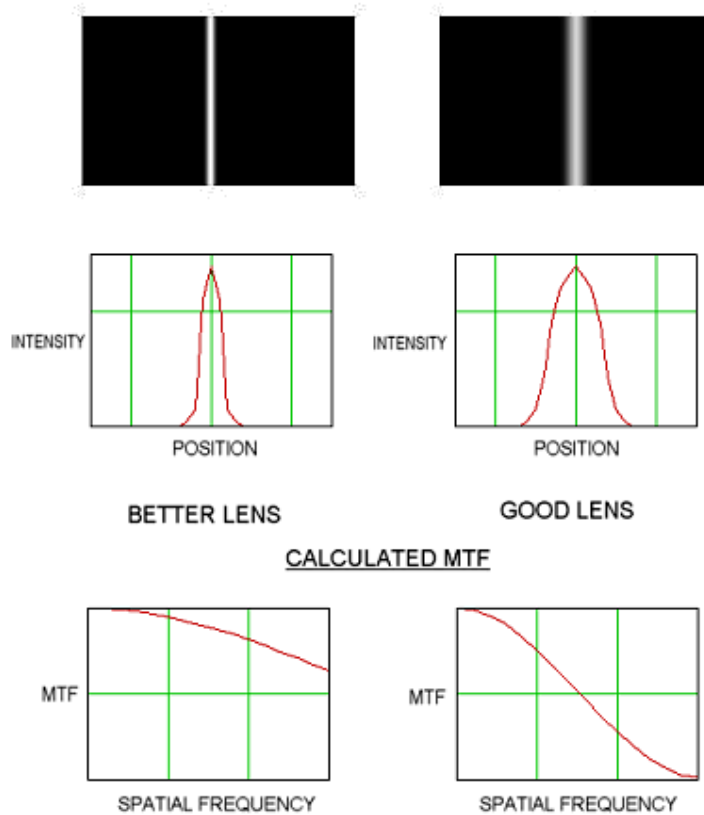


(6) Canon's Lens Technical Reports

Με αυτά τα δεδομένα η ανάλυση της MTF αρχίζει να γίνεται πλέον πιο περίπλοκη. Και εδώ φαίνεται ότι το να περιγράψει κανείς το παραπάνω διάγραμμα με μια μοναδική τιμή της MTF αποτελεί ρίσκο.

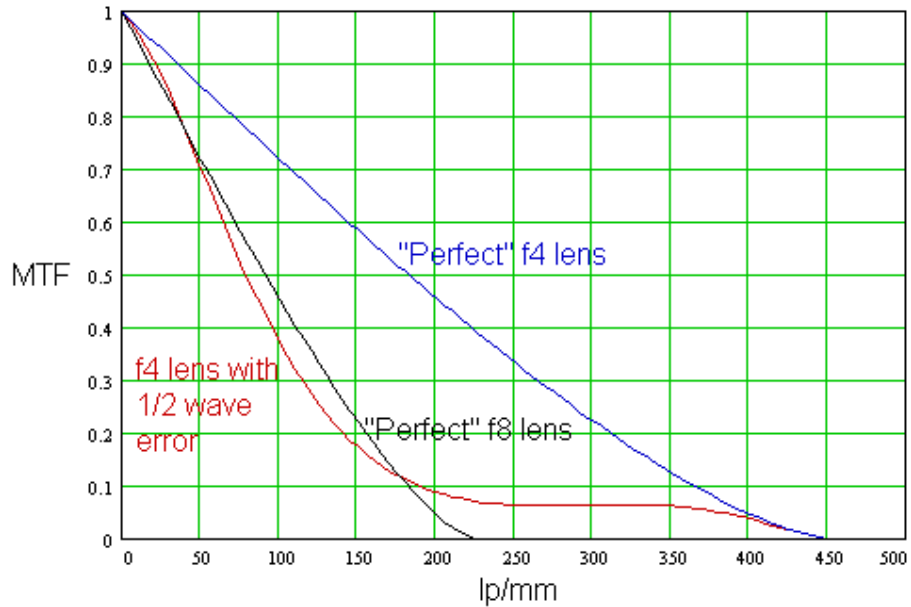
5.3.3 Μέτρηση της MTF – Μετασχηματισμός Fourier

Αν κοιτάξουμε την εικόνα μιας πολύ σαφούς γραμμής που είναι σαν μια φωτισμένη σχισμή μπορούμε να υπολογίσουμε μαθηματικά την MTF του φακού. Βασικά αυτό που κάνουμε είναι να χρησιμοποιήσουμε το πραγματικό μέρος του μετασχηματισμού Fourier της συνάρτησης διασποράς γραμμής. Αυτός είναι ο τρόπος με τον οποίο η σημερινή φωτογραφική κοινότητα συγκρίνει και αξιολογεί φακούς. Ακολουθούν δυο παραδείγματα ενός καλού φακού (δεξιά) και ενός ακόμα καλύτερου (αριστερά). Η εικόνα της γραμμής με τη μεγαλύτερη οξύτητα που έχει παραχθεί από τον καλύτερο από τους δυο φακούς αντιστοιχεί σε καλύτερη (υψηλότερη) τιμή MTF.



(2) www.bobatkins.com

Ακολουθεί μια συνήθης γραφική παράσταση MTF που δείχνει τις επιδόσεις για πραγματικό και για “τέλειο φακό”. Η μπλε γραμμή (τέλειος φακός) δίνει την μορφή της MTF που θα έχει στην καλύτερη περίπτωση ο φακός. Αν ανατρέξουμε στις καμπύλες MTF των δυο προηγούμενων φακών θα δούμε ότι ο πιο καλός έχει καμπύλη πιο κοντά στην ιδανική, ενώ αντίστοιχα η γραφική παράσταση του λιγότερο καλού φακού θα είναι παρόμοια με την κόκκινη γραμμή (η καμπύλη MTF ενός πραγματικού φακού).



Αυτό το γράφημα δείχνει ότι η MTF πέφτει όσο το διάφραγμα του κλείνει και επίσης ότι τα σφάλματα του φακού (lens aberration) μειώνουν την MTF. Γι' αυτό συχνά έχουμε την καλύτερη απόδοση του φακού γύρω στα f8, όπου τα σφάλματα είναι μειωμένα και η περίθλαση δεν έχει ακόμα γίνει έντονη.

(2) www.bobatkins.com

Στην πραγματικότητα οι φακοί σπάνια θα φτάσουν τη θεωρητικά μέγιστη MTF σε διαφράγματα κάτω του f8. Όταν έχουμε απόδοση φακού στη μέγιστη θεωρητικά MTF πρόκειται για περιπτώσεις “περιορισμένης περίθλασης”. Η περίθλαση, όπως αναφέρθηκε, είναι ο λόγος για τον οποίο πέφτει η τιμή της MTF όσο αυξάνει η χωρική συχνότητα του στόχου, ακόμα και για τον “τέλειο” φακό.

Η MTF είναι μιά καθαρά αντικειμενική μέτρηση και, έτσι, είναι ιδανική για επιστημονική μέτρηση του οπτικού συστήματος του φακού. Γενικά πρέπει, πέρα από την τυπική ανάλυση της MTF που γίνεται, η οποία είναι το πιο σημαντικό τμήμα στην αξιολόγηση του φακού, να μπορεί κανείς να παρατηρεί λεπτομερέστερα ένα γράφημα MTF. Ωστόσο, το πρόβλημα με τη χρήση των καμπυλών MTF (που αντιμετωπίστηκε και στην παρούσα διπλωματική εργασία) είναι ότι είναι πολύ δύσκολο για τον μέσο χρήστη να κάνει την συσχέτιση του διαγράμματος MTF με την ποιότητα της εικόνας. Ένας τρόπος απλούστευσης της ερμηνείας της MTF είναι ο έλεγχος της τιμής της εκεί όπου η αντίθεση πέφτει στο μισό της τιμής που έχει στις πιο χαμηλές χωρικές συχνότητες. Αυτός θεωρείται και ο πιο καλός δείκτης οξύτητας και εξηγείται αναλυτικότερα σε επόμενη ενότητα (βλ. “Η Τελική Αξιολόγηση του Φακού”). Τελικά, όμως, μιά τέτοια αντικειμενική (μαθηματικοποιημένη) ανάλυση δεν συνυπολογίζει και τον πα-

ράγοντα της ανθρώπινης όρασης, δηλαδή και το τί φαίνεται καλύτερο στο ανθρώπινο μάτι. Και εδώ είναι που μπαίνει και ο υποκειμενικός παράγων ποιότητας.

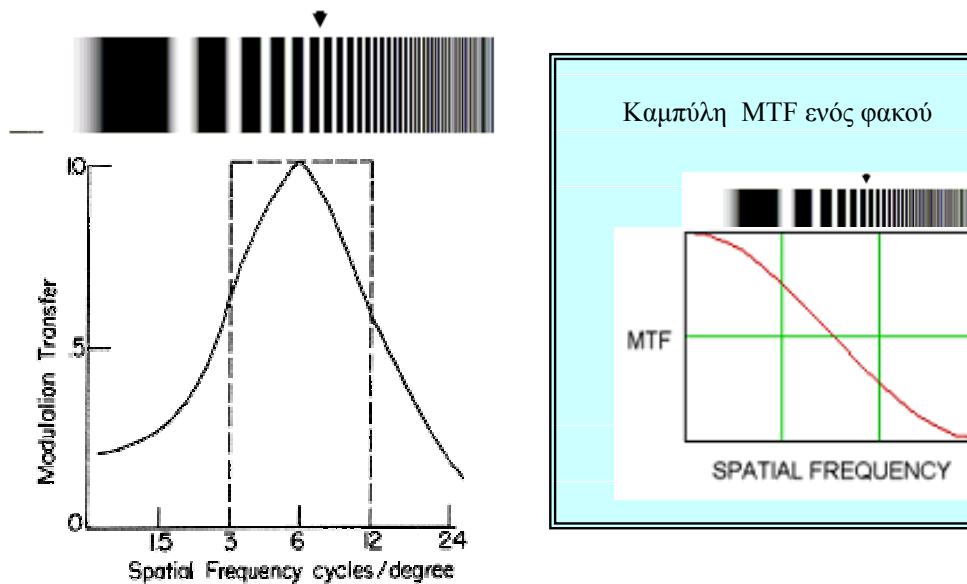
5.4 Ο υποκειμενικός παράγων ποιότητας (SQF)

Ο υποκειμενικός παράγοντας ποιότητας SQF (Subjective Quality Factor), αποτέλεσμα έρευνας στην δεκαετία του '70, διατυπώθηκε για να παρέχει μια πιο κατανοητή μέτρηση της ποιότητας της εικόνας, στην οποία συμπεριλαμβάνονται όχι μόνο η ποιότητα κατασκευής του φακού αλλά και η φύση της ανθρώπινης όρασης. Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι η ανθρώπινη όραση έχει ένα εύρος (band-pass) όπου βλέπουμε κάποιες χωρικές συχνότητες καλύτερα από άλλες. Όπως και σε ένα φακό, όσο ψηλότερη η χωρική συχνότητα της λεπτομέρειας που κοιτάμε τόσο πιο δύσκολο είναι να διακρίνουμε αυτό που παρατηρούμε. Αντίθετα όμως με έναν φακό, το ανθρώπινο μάτι δεν μπορεί να διακρίνει καλά και τις πολύ χαμηλές χωρικές συχνότητες. Το πρόβλημα στις υψηλές συχνότητες οφείλεται στους περιορισμούς του φακού του ματιού, ενώ στις χαμηλές συχνότητες έχει να κάνει με τη φυσιολογία του αμφιβληστροειδούς και τον τρόπο με τον οποίο το μυαλό ερμηνεύει τα οπτικά ερεθίσματα που δέχεται.



Η ευαισθησία στις μεσαίες χωρικές συχνότητες φαίνεται από το γεγονός ότι το μάτι διεγείρεται περισσότερο στις μεσαίες εναλλαγές της αμαύρωσης (ούτε πολύ γρήγορες ούτε πολύ αργές).

Έτσι το οπτικό σύστημα του ανθρώπου έχει την παρακάτω καμπύλη MTF (αριστερά):



Εδώ φαίνεται ότι υπάρχει μέγιστο στους 6 κύκλους ανα μοίρα. Αυτό μεταφράζεται σε 1 cycle per mm για μια εικόνα την οποία βλέπει ο παρατηρητής σε απόσταση 34 cm. Αυτό σημαίνει ότι όταν βλέπει κανείς την εικόνα που φωτογραφήθηκε από αυτή την απόσταση (που είναι η συνήθης απόσταση όταν διαβάζουμε ή κοιτάμε μια φωτογραφία) η MTF στο 1 cycle/mm στην εκτυπωμένη φωτογραφία θα έχει τη μεγαλύτερη επιρροή στο κατά πόσο πιστεύει ο παρατηρητής ότι υπάρχει καλή οξύτητα ή όχι.

Ο Grainger βρήκε το 1970 ότι μπορούσε να συσχετίσει την υποκειμενική άποψη για την οξύτητα με την MTF των χωρικών συχνοτήτων (της εκτύπωσης) που αντιστοιχούν σε αυτό που γίνεται αισθητό από τον άνθρωπο και είναι μεταξύ 3 και 12 cycles per degree, που με τη σειρά του αντιστοιχεί σε 0.5 με 2 cycles per mm για εκτύπωση που την βλέπει κάποιος σε απόσταση 34 cm. Στη συνέχεια ανέπτυξε ένα μοντέλο, το οποίο δείχνει ότι η υποκειμενική οξύτητα μιας εκτύπωσης αντιστοιχεί στην περιοχή (εμβαδόν) κάτω της καμπύλης MTF μεταξύ των χωρικών συχνοτήτων

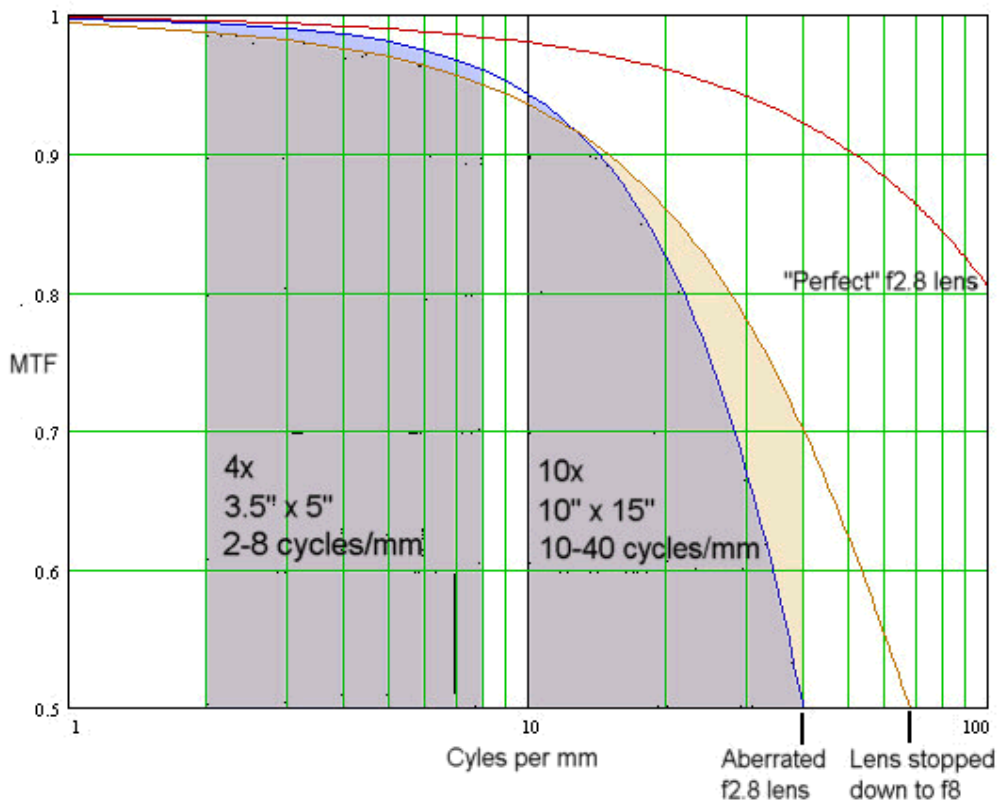
$$0.5 \times \text{μεγέθυνση και } 2 \times \text{μεγέθυνση}$$

όταν η χωρική συχνότητα στον άξονα x δίνεται σε λογαριθμική κλίμακα. Αυτό το επιβεβαίωσε χρησιμοποιώντας οπτικά συστήματα με γνωστή MTF και ρωτώντας παρατηρητές για την άποψή τους σχετικά την οξύτητα φωτογραφιών που προέκυψαν από αυτά τα οπτικά συστήματα. Βρήκε έτσι ότι υπήρχε συμφωνία μεταξύ της SQF που εκείνος υπολόγιζε (δίνοντας μία τιμή) και της υποκειμενικής αξιολόγησης της ποιότητας της εικόνας από ανθρώπινους παρατηρητές.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

B. Atkins, *MTF and SQF* (<http://www.bobatkins.com/photography/technical/mtf/mf1.html>)

Αν δημιουργήσουμε μια φωτογραφία διαστάσεων 20 cm x 30 cm από αρνητικό 35 mm υπάρχει μεγέθυνση κατά έναν παράγοντα ίσο με 8. Έτσι για την SQF η περιοχή του διαγράμματος MTF που έχει πραγματικά σημασία είναι κάτω της καμπύλης MTF για τις συχνότητες μεταξύ 4 and 16 cycles/mm. Όσο πιο μεγάλη τιμή έχει η MTF για αυτές τις περιοχές τόσο πιο καλή ποιότητα θα φαίνεται ότι έχει η φωτογραφία και τόσο μεγαλύτερη θα είναι η τιμή SQF



Στο σχήμα βλέπουμε πώς συνδέονται οι MTF και SQF. Υπάρχει η MTF για έναν "τέλειο" φακό f2.8 (χωρίς περίθλαση και σφάλματα), έναν πραγματικό φακό f2.8 με ανοιχτό διάφραγμα (μπλέ γραμμή) και τον ίδιο φακό με διάφραγμα f8 (καφέ γραμμή). Στο f8 αυτός ο φακός, αν και όχι τέλειος από άποψη περίθλασης, έχει πολύ μικρά σφάλματα (aberrations). Για μεγέθυνση 4x (εικόνα 10 cm x 15cm) η SQF είναι η σκιασμένη περιοχή του διαγράμματος της MTF για χωρικές συχνότητες 2 με 8 cycles per mm. Παρατηρούμε ότι η μπλέ γραμμή είναι λίγο πάνω από την καφέ για αυτή την περιοχή. Και οι δύο στην προκειμένη περίπτωση θα έδιναν καλή ποιότητα εικόνας γιατί

είναι ψηλά στο διάγραμμα MTF. Και πράγματι, σχεδόν όλοι οι φακοί που έχουν εξεταστεί και παρουσιάζονται στο Διαδίκτυο δίνουν καλό αποτέλεσμα για εκτυπώσεις στις συγκεκριμένες διαστάσεις.

Η δεύτερη περιοχή που είναι σκιασμένη στο διάγραμμα είναι για μεγέθυνση 10x. Εδώ παρατηρούμε ότι το εμβαδό είναι μικρότερο από την προηγούμενη περίπτωση όπου είχαμε εκτύπωση εικόνας 4x. Δηλαδή έχουμε μικρότερη SQF. Επίσης εδώ ο φακός με f8 είναι πιο ψηλά στο διάγραμμα. Δηλαδή το αποτέλεσμα όταν ο φακός είναι στο f8 είναι ευκρινέστερη εικόνα.

Δηλαδή όσον αφορά την SQF, είναι πιθανόν ένας φακός να υπερέχει έναντι ενός άλλου για μικρές εκτυπώσεις και να συμβαίνει το αντίθετο για μεγάλες. Αν και μπορεί να συμβεί αυτό, δεν είναι σύνηθες. Το ίδιο σπάνιο αλλά πιθανό είναι να βλέπει κανείς καλύτερα φωτογραφίες από τον ένα φακό από μακριά ενώ από κοντά να φαίνονται καλύτερα οι φωτογραφίες του άλλου φακού.

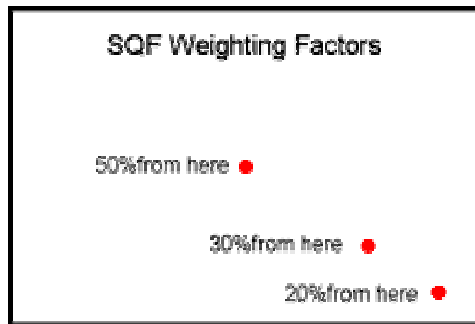
5.5 Η SQF από το περιοδικό Popular Photography

Το συγκεκριμένο περιοδικό εξειδικεύεται σε θέματα φωτογραφίας και έχει δημιουργήσει έναν πίνακα για βαθμολογία του SQF, και τον προσφέρει στο κοινό για να μπορεί να συγκρίνει αποτελέσματα. Έχει παρατηρηθεί ότι οι περισσότεροι παρατηρητές διακρίνουν διαφορά στην ποιότητα της εικόνας όταν υπάρχει διαφορά 5 βαθμών στον SQF. Στη φωτογραφία για τον απλό χρήστη δίνονται διαβαθμίσεις στην αξιολόγηση της εικόνας ανά 5 μονάδες SQF. Αυτές φαίνονται με διαφορετικό χρώμα στον πίνακα που ακολουθεί και συμβολίζονται με A+, A, B+, B κ.λπ. (οι διαστάσεις της εικόνας είναι σε ίντσες).

Size	5x7	8x10	11x14	16x20	20x24
3.5	96.6	95.6	93.2	88.7	83.5
4.0	96.6	95.5	93.1	88.5	83.1
5.6	96.5	95.4	93.0	88.3	82.9
8.0	96.6	95.5	93.1	88.5	83.2
11.0	96.4	95.3	92.7	87.9	82.2
16.0	96.0	94.7	91.8	86.3	79.7
22.0	95.2	93.7	90.2	83.3	74.8

Καθώς ο SQF προκύπτει από την MTF, κάθε σημείο στην εικόνα έχει την δική του τιμή MTF άρα και τον δικό του SQF. Για να είναι χρήσιμος δείκτης ο SQF πρέπει να αναφέρεται σε ολόκληρη την εικόνα. Οπότε ο τρόπος με τον οποίο το επιτυγχάνουν αυτό τα τεστ που απευθύνονται στο ευρύ κοινό της φωτογραφίας είναι να διαχωρί-

σουν την εικόνα σε τρεις περιοχές. Το κέντρο της θα έχει βάρος 50% στην παραγωγή του SQF, 30% θα μετράει ένα σημείο στο μέσον της εικόνας μεταξύ κέντρου και άκρου και 20% του τελικού SQF θα προέρχεται από μια απόσταση κοντά στη γωνία (80% της απόστασης κέντρου-άκρου). Για κάθε τμήμα οι ακτινικές και εφαπτομενικές μετρήσεις θα δίνουν ένα μέσο όρο (βλ. επόμενο σχήμα).



Για παράδειγμα, υπολογίζουμε SQF 90 για το κέντρο, 80 για τη μισή απόσταση κέντρο-άκρο εικόνας και 60 για 80% απόσταση κέντρο-άκρο εικόνας. Ο τελικός SQF θα υπολογιζόταν ως εξής:

$$(90 \times 0.5) + (80 \times 0.3) + (60 \times 0.2) = 81$$

και αυτόν τον αριθμό (81) είναι που βλέπουμε στα τεστ φακών που κυκλοφορούν. Το θέμα που μπορεί να προκύψει είναι ότι ο συνιστάμενος SQF δεν δείχνει πώς διακυμαίνεται η ποιότητα σε ολόκληρη την έκταση της εικόνας. Έτσι, τον ίδιο SQF θα δώσει και μια εικόνα με 100 στο κέντρο, 90 στα μισά και μόλις 15 στα άκρα:

$$(100 \times 0.5) + (90 \times 0.3) + (15 \times 0.2) = 81$$

15 SQF στα άκρα σημαίνει κακή ποιότητα εικόνας και κακός φακός, γιατί δεν μπορεί να αποδώσει καλά αντικείμενα που υπάρχουν στα άκρα του καρέ. Όταν η εργασία απαιτεί καλή ποιότητα εικόνας σε όλο το εύρος της (κάτι που γενικά ισχύει στη φωτογραμμετρία), τότε δεν εξυπηρετεί ο συγκεκριμένος φακός. Αυτό είναι το πρόβλημα με την αξιολόγηση ποιότητας με μία μοναδική τιμή. Παρ' όλα αυτά, παραμένει το γεγονός ότι ο SQF είναι ό,τι πιο κοντινό μέτρο στην ανθρώπινη παρατήρηση και αποτελεί χαρακτηριστικό παράγοντα στην αξιολόγηση ενός φακού.

Όσο για το ποιο από τα μέτρα MTF ή SQF είναι πιο χρήσιμο ως μέτρηση της ποιότητας ενός φακού, αυτό φαίνεται ότι έχει να κάνει με το ποιος διαβάσει τα αποτελέσματα. Οι καμπύλες MTF είναι πιο σύνθετες και δύσκολες να ερμηνευτούν, αλλά πε-

ριέχουν περισσότερη πληροφορία. Το πρόβλημα είναι ότι μπορεί να παραπλανήσουν αν είναι κανείς άπειρος και να τον οδηγήσουν σε αποτέλεσμα το οποίο εκείνος θεωρεί σωστό αλλά καμία σχέση δεν έχει με την πραγματικότητα. Αντίθετα, σκοπός του SQF είναι να δίνει ένα αποτέλεσμα κατανοητό από τον οποιοδήποτε. Το ότι συνοψίζει την ποιότητα της εικόνας σε έναν μόνο αριθμό σημαίνει ότι δεν αποτελεί μια αυστηρά επιστημονική μέτρηση οπτικής ποιότητας (αλλά ούτε και είναι αυτός ο σκοπός του). Είναι ένας αριθμός τον οποίο μπορεί ο απλός χρήστης να χρησιμοποιήσει για να έχει μια ιδέα για να συγκρίνει, ως προς τη συνολική ποιότητα, εικόνες που έχουν ληφθεί με διαφορετικούς φακούς και διαφορετικά διαφράγματα και έχουν εκτυπωθεί σε διαφορετικές διαστάσεις.

Ένας μοναδικός αριθμός της MTF είναι κατά πάσα πιθανότητα λιγότερο χρήσιμος από τον αριθμό SQF, γιατί ο SQF παραγοντοποιεί τα χαρακτηριστικά της ανθρώπινης όρασης. Το ιδανικό, θα ήταν η λεπτομερής ανάλυση της καμπύλης MTF από έναν εκπαιδευμένο και έμπειρο ερμηνευτή, γιατί τότε θα είχαμε μια ολοκληρωμένη ανάλυση του φακού. Με δεδομένο αυτό, ένας απλός χρήστης θα έχει καλύτερα αποτελέσματα στη σύγκριση δυο φακών αν συγκρίνει τις τιμές SQF που δίνει ο κάθε φακός.

Κεφάλαιο 6^ο: Πειραματικοί έλεγχοι, επεξεργασία και ανάλυση

Με βάση τη θεωρία που έχει εκτεθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, παρουσιάζονται εδώ ορισμένες από τις πολλές πειραματικές εφαρμογές που έγιναν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Όπως προαναφέρθηκε, οι έλεγχοι έγιναν με το εμπορικό λογισμικό **Imatest**, ορισμένα στοιχεία για το οποίο θα δοθούν στην συνέχεια. Κατόπιν θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν τα αποτελέσματα που πήραμε σχετικά με την αξιολόγηση τριών τυπικών ψηφιακών μηχανών. Αρχικά θα δοθούν αποτελέσματα που αφορούν τρεις ακτινικές αποστάσεις στην εικόνα (κέντρο, μέσο ημιδιαγωνίου και άκρο εικόνας), όπως είναι η τυπική διαδικασία που προτείνει το λογισμικό. Σε επόμενη ενότητα όμως θα δοθούν αναλυτικότερα αποτελέσματα αξιολόγησης της ποιότητας της εικόνας που αναφέρονται σε ολόκληρο το φορμάτ. Στην πραγματικότητα δοκιμάστηκαν περισσότερες μηχανές, αλλά μόνο για αυτές τις τρεις έχουμε πλήρη δεδομένα και έτσι παρουσιάζονται μόνο αυτές. Στην τελευταία ενότητα θα δοθεί και ένα παράδειγμα προσδιορισμού της καμπύλης της ακτινικής διαστρόφης του φακού με το προαναφερθέν λογισμικό, ώστε να αξιολογηθεί αυτό σε σχέση με μια αντίστοιχη, αυστηρά φωτογραμμετρική διαδικασία.

6.1 Το λογισμικό Imatest

Το λογισμικό Imatest δημιουργήθηκε από τον Norman Koren. Πρόκειται για ένα πακέτο λογισμικών που μετρούν την οξύτητα και την ποιότητα εικόνων που παράγουν οι φακοί, οι ψηφιακές μηχανές και οι εκτυπωτές χρησιμοποιώντας στόχους που είναι διαθέσιμοι και το Διαδίκτυο.



Το Imatest έχει γραφεί σε γλώσσα προγραμματισμού Matlab (έκδοση 6.5.1), μια γλώσσα που προσφέρεται για προβλήματα μηχανικών. Είναι ένα αυτόνομο πρόγραμμα, δηλαδή δεν χρειάζεται να φορτωθεί και το Matlab για να τρέξει.

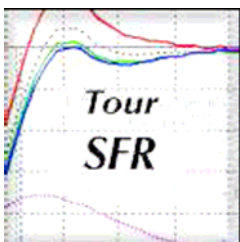
Απαιτήσεις: Windows 98SE, ME, 2000, 2003, XP και μεταγενέστερες εκδόσεις ή Macintosh Virtual PC 6 or 7. Ελάχιστη μνήμη στα 256 MB και ελάχιστο μέγεθος οθόνης 1024x768 pixel.

Υπάρχουν οι εξής δυο εκδόσεις του Imatest:

- **Imatest Light**, με όλα όσα χρειάζεται ο ιδιώτης τοπογράφος για να ελέγξει μηχανές, φακούς και εκτυπωτές (99\$).
- **Imatest Pro**, η πλήρης έκδοση για επαγγελματίες και δημιουργούς οπτικών συστημάτων (299\$). Στην επαγγελματική έκδοση υπάρχει η δυνατότητα για παράλληλη εξαγωγή αποτελεσμάτων από διαφορετικές μηχανές και συγκριτικού διαγράμματος με όλες τις μηχανές.

Εν συντομία θα λέγαμε ότι το Imatest είναι ο πλέον φτηνός και γρήγορος τρόπος για να βγάλει κανείς συμπεράσματα τεχνικού περιεχομένου για την ποιότητα της μηχανής που τον ενδιαφέρει. Ο N. Koren έχει κάνει όλη την επίπονη εργασία του προγραμματισμού και αφήνει στον ενδιαφερόμενο την κατανόηση των βασικών φωτογραφικών εννοιών που αφορούν την ποιότητα εικόνας και πώς αυτές αλληλεπιδρούν μεταξύ τους (μια όχι και τόσο εύκολη διαδικασία), την κατανόηση κάποιων μαθηματικών εννοιών (όπως της καμπύλης MTF) και την ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Εφαρμογές του Imatest:



SFR: Μετράει την οξύτητα των ψηφιακών μηχανών ή των φακών χρησιμοποιώντας έναν απλό στόχο εναλλαγής άσπρου μαύρου. Ο αλγόριθμος κανονικοποίησης οξύτητας επιτρέπει τη σύγκριση διαφορετικών ψηφιακών μηχανών. Επίσης αναλύει την χρωματική εκτροπή και τον θόρυβο. Μπορεί να αναλύει περιοχές στην εικόνα έως και 10 x 10 pixel.



Colorcheck: Μετράει την ποιότητα μιας μηχανής στα χρώματα, την τονική απόκριση (tonal response), την ακρίβεια έκθεσης και το θόρυβο με τα λογισμικά GretagMachbeth™ ColorChecker®.



Stepchart: Μετράει την τονική απόκριση, τον θόρυβο και το δυναμικό εύρος χρησιμοποιώντας κλίμακες του γκρίζου της Kodak (την Q-13/Q-14), την Jessops ή την Danes-Picta (Τσεχία), ή ειδικές κλίμακες από τις Stouffer, Danes-Picta ή Kodak.



Print Test: Μετράει την ποιότητα εκτυπωτών, μελανιών, χαρτιού κ.λπ.



Light Falloff: Μετράει το “βινιετάρισμα” των φακών. Στην έκδοση *Imatest Pro* μετράει επίσης την ανομοιομορφία χρώματος και την λεπτομερή κατανομή του θορύβου των αισθητήρων εικόνας (συμπεριλαμβανομένης της σκόνης και των “καμένων” pixel)



Distortion: Μετράει την διαστροφή του φακού και υπολογίζει τους συντελεστές για την διόρθωση της.



Test Charts: Δημιουργεί αρχεία εικόνων με στόχους για εκτύπωση σε υψηλής ποιότητας εκτυπωτές. Στο Test Charts περιλαμβάνονται στόχοι με διάφορες χωρικές συχνότητες και αντιθέσεις. Οι στόχοι αυτοί θα φωτογραφηθούν από την εκάστοτε μηχανή και οι εικόνες θα εισαχθούν στο πρόγραμμα για ανάλυση.

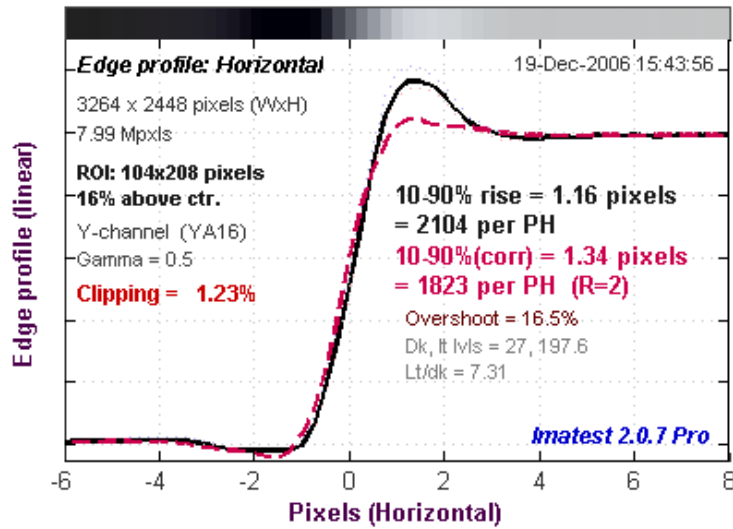
6.1.1 Παρουσίαση–ερμηνεία αποτελεσμάτων SFR (MTF) του Imatest.

Θα χρησιμοποιήσουμε ως παράδειγμα το αποτέλεσμα ενός από τα τεστ που κάναμε για την μηχανή Kodak P880.

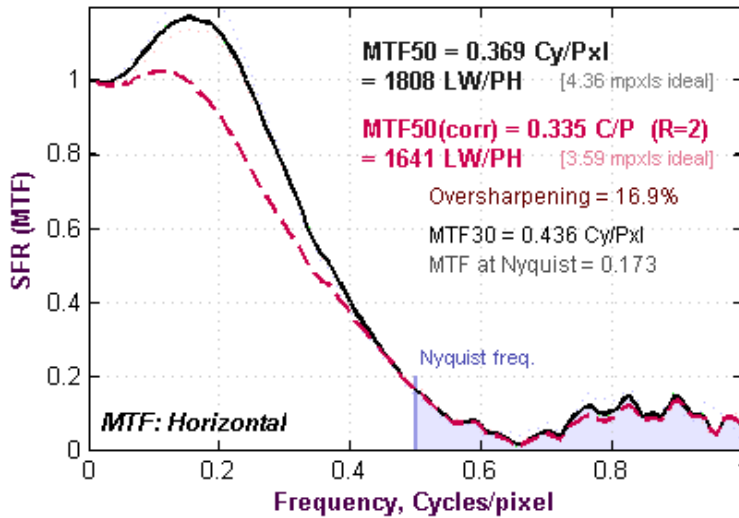
Περιγραφή των αποτελεσμάτων του Imatest για την οξύτητα

Αφού τρέξουμε τον αλγόριθμο SFR το Imatest θα δώσει τα αποτελέσματα στην ακόλουθη μορφή:

kodak_P880.JPG



ROI: 104x208 pixels
L R T B = 1606 1709 798 1005



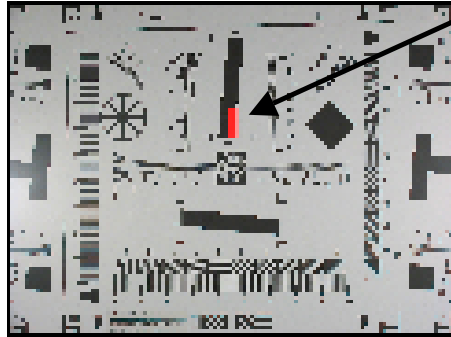
Edge angle = -5.41 degs

Selected EXIF data

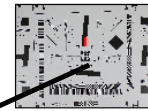
File: 2006:12:19 15:36:16
Make: EASTMAN KODAK COMPANY
Model: KODAK P880 ZOOM DIGITAL C
Taken: 2005:10:24 14:08:33
Res: 3264 x 2448
FL:
Exp: 0.0100 s (1/100)
Aper: f/5.0
ISO: 50



Δεξιά στην εικόνα είναι τα δεδομένα που εισάγουμε στο πρόγραμμα (ολόκληρη η εικόνα που εισάγαμε στο πρόγραμμα, το τμήμα της εικόνας που επιλέξαμε, πληροφορίες για την εικόνα).



Η επιλεγμένη περιοχή προς εξέταση



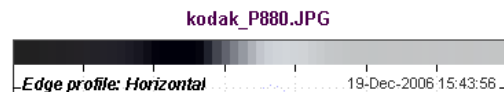
ROI: 104x208 pixels
L R T B = 1606 1709 798 1005

Edge angle = -5.41 degs

Selected EXIF data

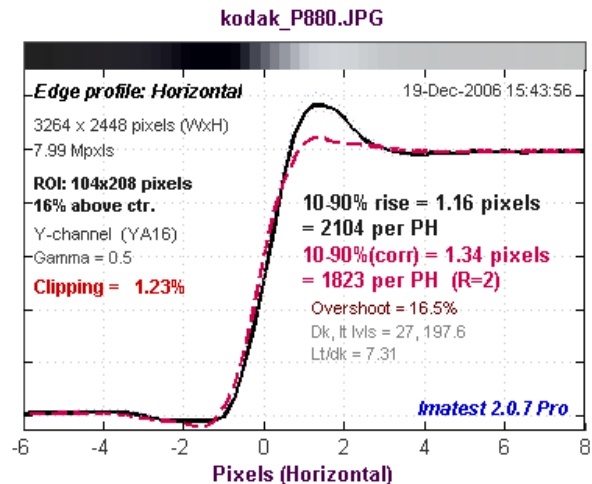
File: 2006:12:19 15:36:16
Make: EASTMAN KODAK COMPANY
Model: KODAK P880 ZOOM DIGITAL C
Taken: 2005:10:24 14:08:33
Res: 3264 x 2448
FL:
Exp: 0.0100 s (1/100)
Aper: f/5.0
ISO: 50

Πάνω από τη γραφική παράσταση των τιμών γκρίζου της ακμής είναι η εικόνα που αναπαριστά τους τόνους γκρίζου που εμφανίζονται στην ακμή. Αντιστοιχεί ακριβώς σε αυτό που αναπαριστά η γραφική παράσταση.



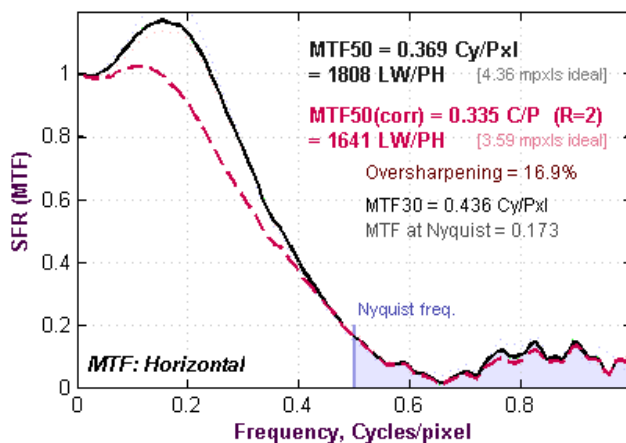
Γράφημα πεδίου του χώρου:

Το μέσο προφίλ της ακμής (γραμμικποιημένο και με τιμές γκρίζου στον άξονα y). Το καίριο αποτέλεσμα εδώ είναι η απόσταση στην οποία πραγματοποιείται αύξηση στην τιμή του γκρίζου από 10 σε 90%. Αυτή η τιμή δίνεται σε pixel. Οι τιμές με κόκκινο είναι για τυποποιημένη οξύτητα. Το γράφημα αυτό μπορεί να παρουσιάσει επίσης και την συνάρτηση διασποράς γραμμής.

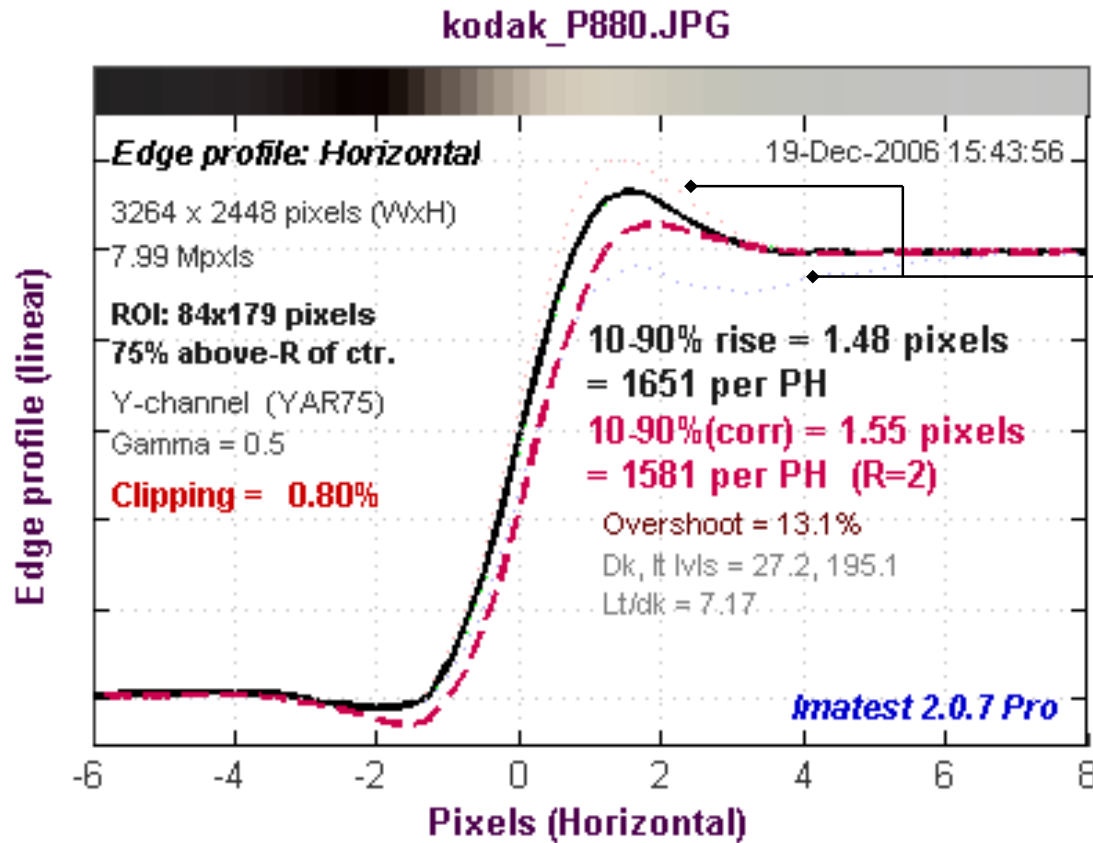


Γράφημα του πεδίου συχνότητων:

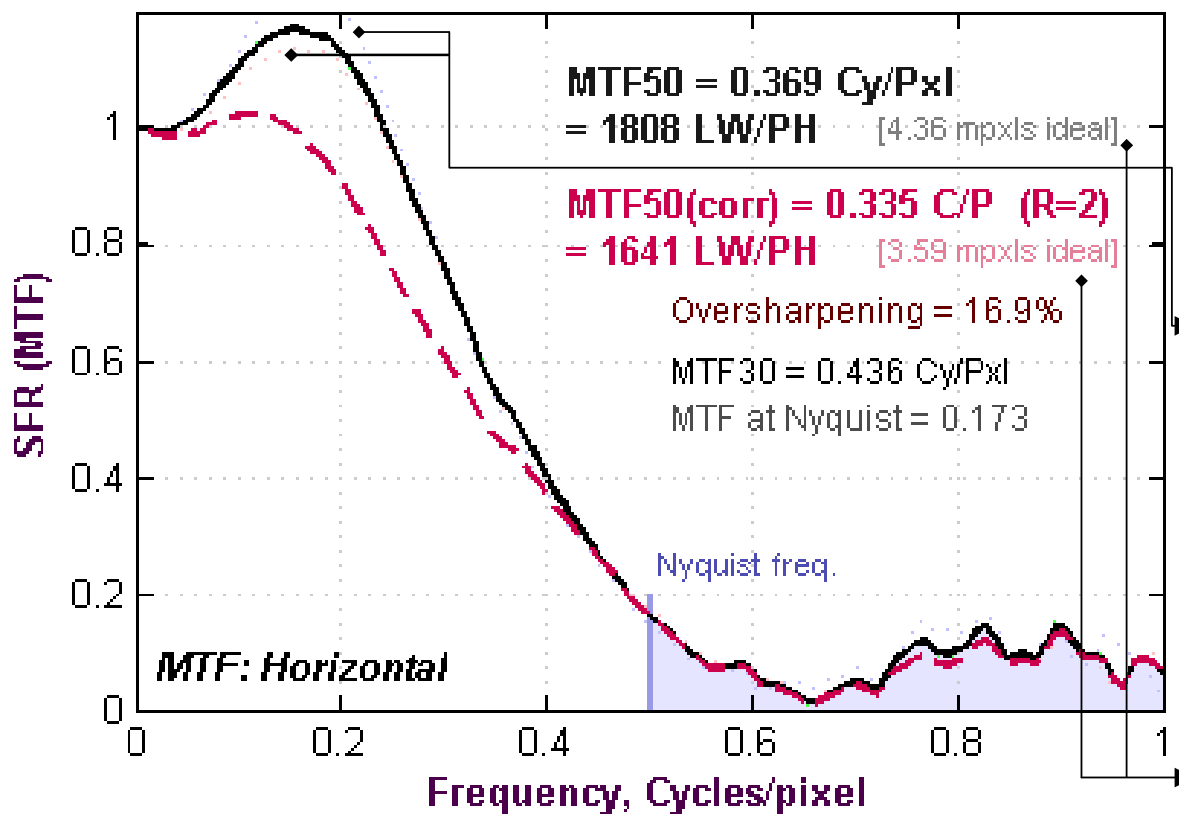
Η συνάρτηση μεταφοράς διαμόρφωσης. Εδώ το αποτέλεσμα που ενδιαφέρει είναι το MTF50, δηλαδή η τιμή της συχνότητας στην οποία η αντίθεση πέφτει στο 50%. Η συγκεκριμένη τιμή αντιστοιχεί στην αντιληπτή από τον άνθρωπο οξύτητα. Δίνεται σε cycles/pixels ή LW/PH. Επιπλέον αποτελέσματα είναι η MTF στη συχνότητα Nyquist (0.5 cycles/pixels, εύρος δείγματος / 2). Η τιμή αυτή αναδεικνύει πιθανό έντονο φαινόμενο “aliasing”.



6.1.2 Λεπτομερέστερη ανάλυση αποτελεσμάτων



Όπως αναφέραμε, η γραφική παράσταση αναπαριστά το σημείο εναλλαγής της ακμής. Η μαύρη γραμμή είναι η αυθεντική ακμή για το επιλεγμένο κανάλι (Υ-φωτεινότητα). Οι μικρές διακεκομμένες γραμμές είναι η αναπαράσταση της ακμής για το κόκκινο, το πράσινο και το μπλέ κανάλι, αντίστοιχα. Η διακεκομμένη κόκκινη γραμμή είναι το αποτέλεσμα ενός αλγορίθμου που προσθέτει οξύτητα (ή αφαιρεί ανάλογα με την μηχανή) έτσι ώστε η διάχυση να είναι η ίδια για διαφορετικές μηχανές. Αυτό επιτρέπει να μπορούν να συγκριθούν ψηφιακές μηχανές με διαφορετική ενσωματωμένη όξυνση εικόνας. Στη συγκεκριμένη μηχανή, για παράδειγμα, η τυποποιημένη όξυνση (κόκκινη γραμμή) ομαλοποιεί κάπως την ακμή, η οποία έχει οξυνθεί έντονα από τον ενσωματωμένο αλγόριθμο όξυνσης της κάμερας (μαύρη γραμμή).



Το γράφημα της MTF. Είναι η αντίθεση της εικόνας σχετικά με την αντίθεση σε χαμηλές χωρικές συχνότητες. Με μαύρη γραμμή είναι η MTF της αυθεντικής γραμμής από την μηχανή. Η διακεκομμένη κόκκινη είναι με τυποποιημένη όξυνση. Οι μικρές διακεκομμένες γραμμές είναι η αναπαράσταση της MTF για το κόκκινο, πράσινο και μπλέ κανάλι, αντίστοιχα. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή MTF50, τόσο καλύτερη θεωρείται η απόδοση της μηχανής. Προσοχή θέλει μετά από την τιμή της συχνότητας Nyquist (0.5 cycles/pixels: η μεγαλύτερη χωρική συχνότητα στην οποία μπορεί να αποτυπωθεί λεπτομέρεια), όπου εαν εμφανιστούν μεγάλες τιμές της MTF αυτό αποτελεί ένδειξη φαινομένου “aliasing”. “Ideal megapixels” είναι ο αριθμός των pixel τα οποία θα δίνουν την ιδανική απόκριση (MTF50 = 0.5 cycles/pixels). Στην πράξη οι ψηφιακές μηχανές σπανίως φτάνουν αυτήν την απόκριση. Τιμή MTF50 γύρω στα 0.33 cycles/pixels είναι πολύ ικανοποιητική.

Εαν συγκρίνουμε διαφορετικές ψηφιακές μηχανές θα μελετήσουμε το γράφημα με τυποποιημένη όξυνση (κόκκινη καμπύλη, κόκκινα γράμματα). Εαν συγκρίνουμε διαφορετικούς φακούς στην ίδια ψηφιακή μηχανή, τότε ενδιαφέρει η αυθεντική απόκριση της μηχανής (“uncorrected response”, μαύρη καμπύλη, μαύρα γράμματα).

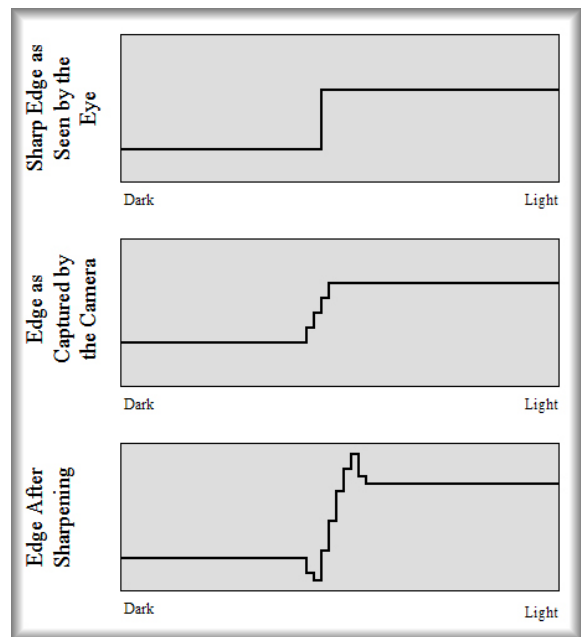
(13) www.imatest.com

6.1.2.1 Τυποποιημένη όξυνση (standardized sharpening)

Πώς λειτουργεί η ενίσχυση (sharpening) της εικόνας.

Αν ανατρέξουμε στη θεωρία της υποβάθμισης ποιότητας της εικόνας θα δούμε ότι σε κάθε στάδιο της λήψης εικόνας έχουμε απώλεια πληροφορίας. Στην προκειμένη περίπτωση η απώλεια πληροφορίας εμφανίζεται με απώλεια οξύτητας (acutance), και το στάδιο στο οποίο βρισκόμαστε είναι η ψηφιακή καταγραφή της εικόνας. Η ενίσχυση (sharpening) κάνει την σκοτεινή πλευρά των ακμών πιο σκούρα και την ανοιχτή πιο φωτεινή.

Το σχήμα δίπλα δείχνει το ιστόγραμμα μιας ακμής. Βλέπουμε ότι τα pixels ξεκινάνε από σκούρα στα αριστερά μέχρι λευκά στα δεξιά. Το πρώτο ιστόγραμμα δείχνει πώς αντιλαμβάνεται το μάτι την ακμή. Η μετάβαση μαύρου άσπρου είναι απότομη. Έτσι δείχνει μια οξεία ακμή. Το δεύτερο ιστόγραμμα δείχνει πώς καταγράφει μια ψηφιακή κάμερα την μετάβαση άσπρου – μαύρου στην ακμή. Εδώ υπάρχει μια διαβάθμιση στην εναλλαγή σκοτεινού και φωτεινού μέρους της ακμής. Το αποτέλεσμα είναι απώλεια της οξύτητας.



Το τρίτο ιστόγραμμα δείχνει την ακμή μετά την ενίσχυση.

(42) www.ronbigelow.com

Η ενίσχυση έχει κάνει την σκούρα πλευρά της ακμής πιο σκούρα και την φωτεινή πιο φωτεινή. Παρ’ όλο που υπάρχει διαβάθμιση, η οξύτητα έχει αυξηθεί σημαντικά. Το μάτι τώρα θα βλέπει την ακμή σαν να είναι οξεία ξανά. Στην ουσία η ενίσχυση χρησιμοποιεί μια αύξηση στην αντίθεση της ακμής ώστε να “ξεγελάσει” το μάτι στο να βλέπει τις ακμές πιο οξείες από ότι ήταν όταν καταγράφηκαν από την ψηφιακή κάμερα.

Οι φωτογραφίες που προκύπτουν από τις ψηφιακές μηχανές είναι πάντα θολές (αντίθετα με το φιλμ). Όλες οι ψηφιακές μηχανές έχουν ένα μηχανισμό που μεταβάλλει την οξύτητα της εικόνας που έχει ληφθεί. Το τελικό αποτέλεσμα είναι μια αρκετά οξεία εικόνα, που ικανοποιεί τον φωτογράφο. Το πόσο επηρεάζει αυτή η όξυνση την εικόνα δεν μπορούμε να το ξέρουμε. Αφορά την πατέντα κάθε εταιρίας και η αποκάλυψή της βλάπτει τον ανταγωνισμό. Το αποτέλεσμα είναι εικόνες με υπερβολική όξυνση ή εικόνες με μειωμένη όξυνση.

Όλες οι ψηφιακές κάμερες προσθέτουν οξύτητα στις εικόνες, άλλες σε μεγαλύτερο και άλλες σε μικρότερο βαθμό. Αυτό συμβαίνει στη διαδικασία λήψης της εικόνας και πριν αυτή καταγραφεί στην μηχανή.

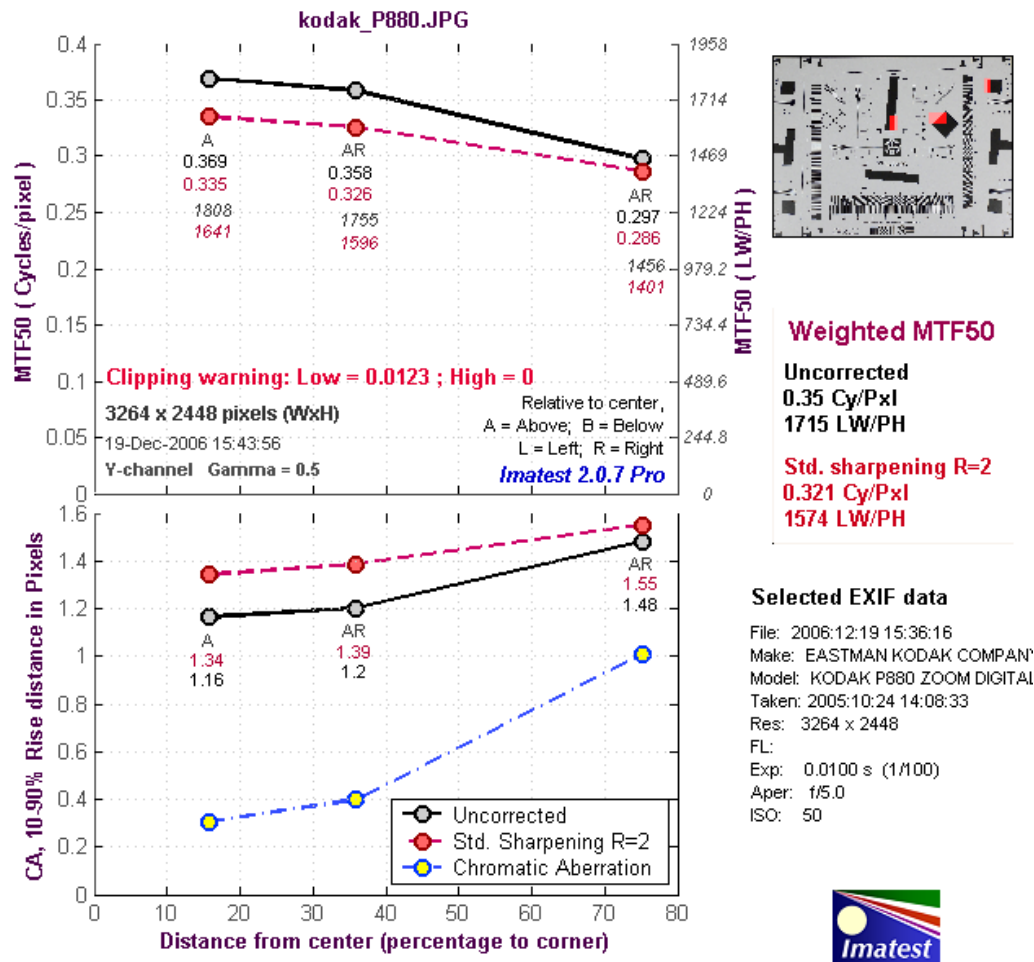
Υπάρχει ένας αλγόριθμος που λειτουργεί για την παραγωγή της εικόνας στην ψηφιακή μηχανή, ο οποίος είναι διαφορετικός για κάθε εταιρία και τον οποίο αλγόριθμο οι εταιρίες παραγωγής ψηφιακών μηχανών φυλάνε ως επτασφράγιστο μυστικό. Γι' αυτό και υπάρχουν διαφορές στην οξύτητα που θα προσδώσει στην εικόνα η κάθε μηχανή.

Εκεί έγγειται και η δυσκολία στην εύρεση της οξύτητας που πραγματικά έχει το σύστημα φακού-αισθητήρα και κατ' επέκταση της σύγκρισης διαφορετικών μηχανών. Το λογισμικό Imatest έχει αναπτύξει μια προσέγγιση για να λύσει το πρόβλημα: **τυποποίηση της οξύτητας.**

Ο Norman Koren υποστηρίζει ότι έχει βρεί τον τρόπο με τον οποίο θα μετριάσει το αποτέλεσμα της όξυνσης κάθε ψηφιακής μηχανής και θα μπορέσει να τις συγκρίνει αποτελεσματικά. Προσεγγίζει δηλαδή όχι την αρχική οξύτητα του συστήματος φακού μηχανής (που ούτως ή άλλως είναι θολή) ούτε τις μεγάλες τιμές οξύτητας αλλά την μέγιστη “φυσική οξύτητα” που θα είχε το σύστημα με την κατάλληλη όξυνση (κατάλληλη προσθήκη οξύτητας. Περισσότερη οδηγεί σε “ψεύτικη εικόνα” λιγότερη οδηγεί σε θολή εικόνα. Αυτό δίνει ένα κοινό σημείο αναφοράς της οξύτητας κάθε οπτικού συστήματος και επιτρέπει την σύγκριση διαφορετικών ψηφιακών μηχανών (Δες ενότητα 6.1.2.2 για το πώς ανακλάται σε ένα γράφημα MTF η όξυνση).

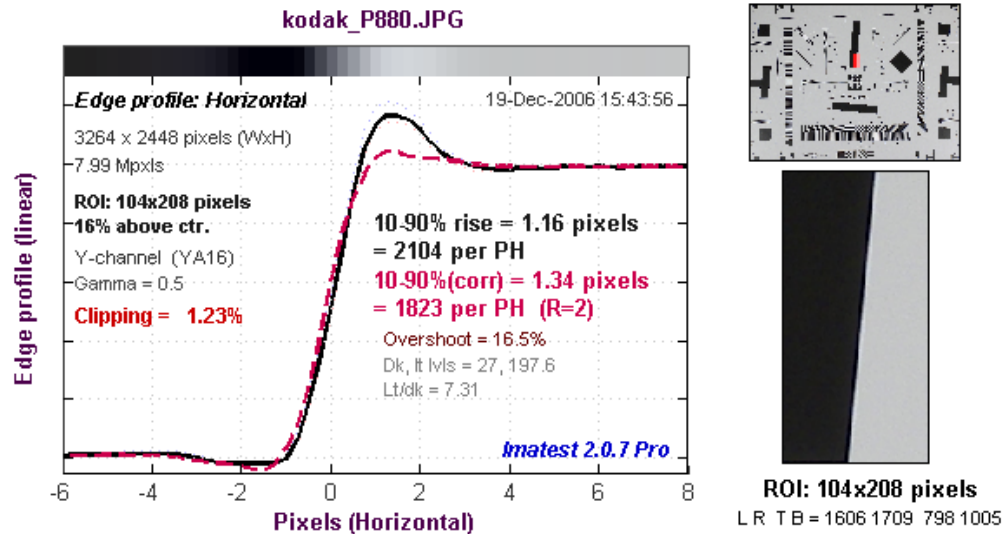
6.1.2.2 Ερμηνεία των γραφημάτων MTF

Τώρα που γνωρίζουμε την μορφή που θα έχουν τα αποτελέσματα θα προχωρήσουμε στην ερμηνεία. Θα χρησιμοποιήσουμε τα τελικά αποτελέσματα από τις ψηφιακές μηχανές που έχουμε συγκρίνει στη διπλωματική αυτή εργασία.



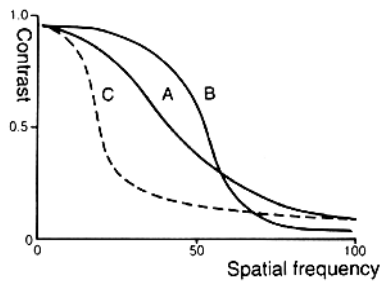
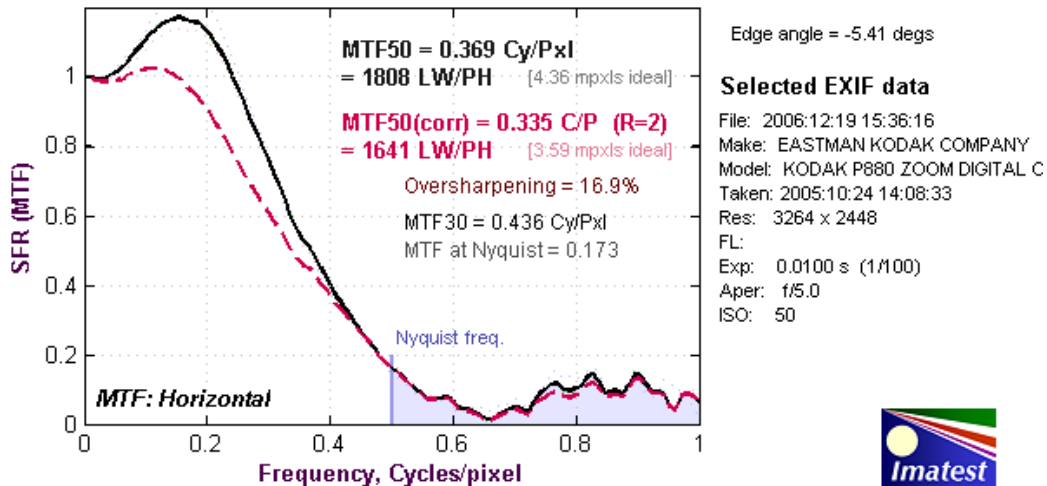
Οι τιμές MTF50 είναι εκείνες που αντιπροσωπεύουν καλύτερα την αντιληπτή οξύτητα και γι' αυτό θα επικεντρωθούμε σε αυτές. Η μη διορθωμένη τιμή ανάλυσης είναι 1808 στην κατακόρυφη διεύθυνση και 1755 και 1456 επί της διαγωνίου. Μέσος όρος των παραπάνω τιμών είναι 1715 LW/PH. Διόρθωση σε τυποποιημένη όξυνση με ακτίνα μετατροπής 2 pixel μειώνει λίγο τις τιμές σε 1641, 1596, 1401 και μέσο όρο στα 1574. Θα λέγαμε πως για μια ψηφιακή μηχανή στα 8 MP οι μη διορθωμένες τιμές είναι εκεί που θα περιμέναμε με βάση την εμπειρία από την αγορά (δεν είναι οι μέγιστες της αγοράς φυσικά), ενώ οι διορθωμένες τιμές είναι κάτω από τα αναμενόμενα (βάσει του ανταγωνισμού στα 8 MP). Παρατηρούμε επίσης πτώση της ποιότητας στο άνω δεξί άκρο της εικόνας.

Περνάμε σε ανάλυση της καμπύλης MTF και της εναλλαγής ακμής (edge response).



Το γράφημα εναλλαγής ακμής αφορά το κέντρο της εικόνας . Έχει τη μορφή που θα περιμέναμε βάσει της πείρας μας. Δηλαδή παρουσιάζει μια απότομη κορυφή ακριβώς μετά την ακμή, στην φωτεινότερη πλευρά. Αυτή είναι η επέμβαση στην οξύτητα από τον κατασκευαστή της ψηφιακής μηχανής. Και αυτό σημαίνει ότι είναι έντονη η εντός της ψηφιακής μηχανής όξυνση σε σημείο που αρχίζουν τα αντικείμενα να παρουσιάζονται ψεύτικα (πολύ έντονα περιγράμματα – “oversharpening”). Αυτό συμπίπτει και με μαρτυρίες κατόχων της Kodak P880 σε αναφορές στο Διαδίκτυο. Γι’ αυτό θα προτείναμε την λήψη φωτογραφιών στη ελάχιστη δυνατή (από το χρήστη) όξυνση και τη μετέπειτα επεξεργασία της οξύτητας σε ένα λογισμικό όπως το Photoshop. Με αυτό τον τρόπο θα πετυχαίναμε βελτίωση της ποιότητας της παραγόμενης εικόνας. Αποτελεί φαινόμενο πάντως η λίγο μεγαλύτερη εμφάνιση ‘oversharpening’ σε τεχνητούς στόχους σε συνθήκες εργαστηρίου από ότι στη λήψη φωτογραφιών σε πραγματικές συνθήκες. Θα παρατηρήσει κανείς την απότομη τεχνητή αύξηση της φωτεινότητας αμέσως μετά την ακμή, στη οριζόντια μπάρα πάνω από τη γραφική παράσταση εναλλαγής ακμής.

Το γράφημα MTF αφορά το κέντρο της εικόνας. Δείχνει ότι το δυνατό σημείο του οπτικού συστήματος της Kodak P880 είναι η αντίθεση όπου παρουσιάζεται αυξημένη σε σχέση με την ανάλυση. Αυτό το συμπεραίνουμε από τη μορφή της καμπύλης η οποία έχει υψηλές τιμές στον κατακόρυφο άξονα (αντίθεση) αλλά έχει μικρό εύρος τιμών στον οριζόντιο άξονα.



A: Καλή ανάλυση, καλή αντίθεση
 B: Χαμηλή ανάλυση, καλή αντίθεση
 C: Χαμηλή αντίθεση, καλή ανάλυση

Η τιμή MTF50 είναι 0.335 C/P που αντιστοιχεί σε εξαιρετικά καλή τιμή οξύτητας και ποιότητας εικόνας (λαμβάνουμε υπ'οψιν τις κατευθύνσεις του Norman Koren που λέει ότι MTF50 γύρω στα 0.33 αποτελεί ένδειξη πολύ καλής οξύτητας-ποιότητας).

6. 2. Βασική πειραματική αξιολόγηση φακών

Κατ' αρχάς πρέπει να δούμε τα γενικά χαρακτηριστικά των ψηφιακών μηχανών που θα αξιολογήσουμε. Επειδή υπάρχει πλήθος από στοιχεία αποφασίσαμε, εκμεταλλευόμενοι την δυνατότητα 'compare models' της ιστοσελίδας www.imaging-resource.com (http://www.imaging-resource.com/CAMDB/compare_cameras.php), να παραθέσουμε την μια μηχανή δίπλα στην άλλη. Ο πίνακας που προκύπτει είναι ο εξής:



General

Model Name:	Canon EOS D60	Canon PowerShot Pro1	Kodak EasyShare P880 Zoom
Model Number:	D60	Pro1	P880 Zoom
Camera Format:	SLR	SLR-style	EVF
Currently Manufactured:	No	No	No
Retail Price:	\$2999.00	\$999.00	\$599.00
Street Price:			
Price Update Date:	2007-02-27	2007-02-27	2007-03-03
Date Available:		2004-04-30	
Remote Control:	Yes	Yes	
Remote Control Type:	Wired	Wireless (included)	
Tripod Mount:	Yes	Yes	Yes
Tripod Mount Material:	Metal		
Operating System:		Windows, MacOS	
Weight:	780 g 27.3 oz	545 g 19.1 oz	556 g 19.4 oz
Weight With Batteries?	No	No	Yes
Size:	150 x 106 x 75 mm 5.9 x 4.2 x 3.0 in	118 x 72 x 90 mm 4.6 x 2.8 x 3.6 in	115 x 80 x 60 mm 4.5 x 3.1 x 2.4 in
Warranty in Months:			12

Image Capture

Model Name:	Canon EOS D60	Canon PowerShot Pro1	Kodak
--------------------	----------------------	-----------------------------	--------------

			EasyShare P880 Zoom
Image Resolution:	3072x2048, 2048x1360, 1536x1024	3264x2448, 2272x1704, 1600x1200, 1024x768, 640x480	
Movie Resolution:		640x480, 160x120	640x480, 320x240
Aspect Ratio:	3:2	4:3	
Imaging Sensor (Megapixels):	6.30	8.00	8.00
Sensor Type:			
Sensor Size (inches):	APS-C	2/3"	
Sensor Filter Type:	RGBG		
Sensor Manufacturer:	Canon CMOS	Sony CCD	
Focal Length Multiplier:	1.60		
Movie Audio:	No	Yes	
Quality Levels:	3	4	

Lens

Model Name:	Canon EOS D60	Canon PowerShot Pro1	Kodak EasyShare P880 Zoom
Focal Length (35mm equivalent):		28 - 200 mm	24 - 140 mm
Zoom Ratio:		7.14x	5.83x
Digital Zoom:	No	Yes	Yes
Digital Zoom Values:	n/a	3.2x	2x
Auto Focus:	Yes	Yes	Yes
Auto Focus Type:	3 Point AF	Hybrid Triangulation/Contrast	25-point hybrid
Auto Focus Assist Light?		Yes	Yes
Auto Focus Min Illum:		0.0625	
Auto Focus Step:			
Manual Focus:	Yes	Yes	Yes

Manual Focus Steps:			
Normal Focus Range:		50 cm to Infinity 20.4 in to Infinity	5 cm to Infinity 2.0 in to Infinity
Macro Focus Range:		3 - 50 cm 1.2 - 20.4 in	5 - 50 cm 2.0 - 20.4 in
Min Macro Area:		25 x 33 mm 1.0 x 1.3 in	59 x 44 mm 2.3 x 1.7 in
Min Aperture:		f/8.0	f/8.0
Max Aperture:		f/2.4	f/2.8
Aperture Range Description:	Varies with lens used	f/2.4 (wide) / f/3.5 (tele) - 8.0	f/2.8 (wide) / f/4.1 (tele) - f/8.0
Aperture Step Size:			
Lens Thread:			
Lens Thread Type:	Varies with lens used	Lens Threads	

Display

Model Name:	Canon EOS D60	Canon PowerShot Pro1	Kodak EasyShare P880 Zoom
Optical Viewfinder:	Yes	Yes	Yes
Optical VF Type:	SLR type, eye-level pentaprism	EVF type, 235K pixel color LCD	EVF type, 237K pixel color LCD
Optical VF Accuracy:	94%	100%	98%
LCD Viewfinder:		Yes	Yes
LCD VF Accuracy:		100%	98%
LCD Size (inches):	1.8	2.0	2.5
LCD Resolution (pixels):	114000	235000	
Max Playback Zoom:		10x	10x

Exposure

Model Name:	Canon EOS D60	Canon PowerShot Pro1	Kodak EasyShare P880 Zoom
ISO Settings:	100, 200, 400, 800,	50, 100, 200, 400	50, 200, 400,

	1000		1600
ISO Rating Max:	1000	400	1600
Number of White Balance Settings:	7	9	10
White Balance Settings:	Auto, Daylight, Overcast, Tungsten, Fluorescent, Flash, Custom	Auto, Daylight, Cloudy, Tungsten, Fluorescent, Fluorescent H, Flash, Custom 1, Custom 2	Auto, daylight, tungsten, fluorescent, cloudy, open shade, sunset, custom 1–3
Manual White Balance:	Yes	Yes	Yes
Longest Shutter Time:	30		16
Shortest Shutter Time:	1/4000		1/4000
Exp Adj Range:	2.0 EV	2.0 EV	2.0 EV
Exp Adj Step Size:		0.33 EV	0.33 EV
Metering Modes:	35-zone evaluative matrix, center-weighted, partial (9.5%)	Evaluative, center-weighted, spot	Selectable zone AE (25 positions), multi-pattern AE, center-weighted AE, center-spot AE
Spot Metering:	No	Yes	Yes
Aperture Priority:	Yes	Yes	Yes
Shutter Priority:	Yes	Yes	Yes
Full Manual Exposure:	Yes	Yes	Yes
Self Timer:	10 seconds	2 or 10	2 or 10
Flash			
Model Name:	Canon EOS D60	Canon PowerShot Pro1	Kodak EasyShare P880 Zoom
Internal Flash:	Yes	Yes	Yes
No of Flash Modes:			5

Flash Modes:	Red-Eye Reduction	Auto, Red-Eye Reduction On/Off	auto, slow sync fill flash, fill, off, red-eye reduction with flash, algorithm, or both
Flash Guide Number (Meters):	12		
Measured Flash Range, 100 ISO (feet):			
Flash Range Description:	12 meters (39 feet) @ ISO 100	Wide: 0.5 - 5.0 m; Tele: 1 - 3.5 m	wide (ISO 160): 1.6–13 ft (0.5–4.0 m), tele (ISO 200): 1.6–10 ft (0.5–3.1 m)
No of Flash "Pops":			
Ext Flash:	Yes	Yes	Yes
Ext Flash Connection:	Hot Shoe, PC socket	Hot Shoe	Hot Shoe for Kodak P20 Zoom Flash, PC Sync

Image Storage

Model Name:	Canon EOS D60	Canon PowerShot Pro1	Kodak EasyShare P880 Zoom
Usable Memory Types:	CompactFlash Type 1, CompactFlash Type 2	CompactFlash Type 1, CompactFlash Type 2	SD/MMC
Other Memory Types:	Microdrive	Microdrive	
Memory Included (MB):		64.0	32.0
Uncompressed Format:	.CRW (Raw) (includes 2048x1360)	CCD-RAW	RAW, TIFF
CCD Raw Format:	Yes	Yes	Yes
Compressed Format:	JPEG	JPEG (EXIF 2.21)	JPEG (EXIF 2.21)
Movie File Format:			MotionJPEG w/ PCM audio

Connectivity

Model Name:	Canon EOS D60	Canon PowerShot Pro1	Kodak EasyShare P880

			Zoom
Video Out:	Yes	Yes	Yes
Video Mode Switchable:	Yes	Yes	Yes
Video Usable as Viewfinder:	No		
External Connections:	USB 1.1	USB 1.1	USB 2.0 Full (LOW) Speed
Other Connection:	N3 Remote, PC Socket	DC In	KODAK EASYSHARE Printer Dock Plus, Printer Dock Series 3, and Camera Dock Series 3
Included Software:			KODAK EASYSHARE software v5.1
OS Compatibility:		Windows, MacOS	

Performance Timing

Model Name:	Canon EOS D60	Canon PowerShot Pro1	Kodak EasyShare P880 Zoom
Startup Time:	1.1 seconds	3.0 seconds	1.9 seconds
Shutdown Time:	0.5 seconds	1.5 seconds	0.5 seconds
Play -> Record:	0.3 seconds	3.8 seconds	1.0 seconds
Record -> Play (max res):	0.7 seconds	3.8 seconds	4.2 seconds
Record -> Play (min res):		1.3 seconds	
Shutter Lag, Full AF:	0.497 (W) - 0.497 (T) seconds	0.630 (W) - 0.740 (T) seconds	0.990 (W) - 0.880 (T) seconds
Shutter Lag, Man. Focus:	0.131 seconds	0.290 seconds	0.400 seconds
Shutter Lag, Prefocus:	0.089 seconds	0.078 seconds	0.088 seconds
Cycle Time Uncompressed Format:	0.52 seconds	2.32 seconds	12.40 seconds
Cycle Time Max Res:	0.52 seconds	1.61 seconds	1.40 seconds

Cycle Time Min Res:	0.52 seconds	1.73 seconds	1.35 seconds
Buffer Frames, Max Res:	8	17	7
Continuous Mode Rate (fps):	2.94	2.56	1.08
Movie Mode Rate (Frames/Sec):		15.0	30.0
Movie Sec @ Max Res:		30	
Movie Sec @ Min Res:		180	
Download speed, KB/second:	259	530	492

Power

Model Name:	Canon EOS D60	Canon PowerShot Pro1	Kodak EasyShare P880 Zoom
Battery Form Factor:	Proprietary BP-511	Proprietary BP-511 / BP-511A	Proprietary
Usable Battery Types:	Lithium Ion	Lithium Ion rechargeable	Lithium Ion rechargeable
Batteries Included:	1x Proprietary BP-511 Lithium Ion rechargeable	1 x Proprietary BP-511A Lithium Ion rechargeable	1 x Proprietary KLIC-5001 Lithium Ion rechargeable
Battery Charger Included:	Yes	Yes	Yes

More Information

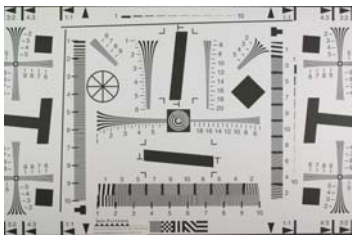
Model Name:	Canon EOS D60	Canon PowerShot Pro1	Kodak EasyShare P880 Zoom
Notes & Features:	Chassis is glass-fiber reinforced polycarbonate and stainless steel, similar to EOS D30. Has pixel size of 7.4 microns (square). Viewfinder	The first PowerShot camera with a Canon 'L' lens, indicating that it uses advanced technology aimed at reducing chromatic aberrations, as including two UD-glass elements and two	

Display now shows
counter of frames
remaining at burst-
mode speeds, shots
remaining

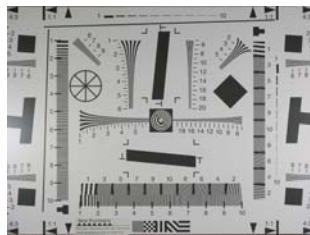
aspheric elements.

Βήματα διαδικασίας αξιολόγησης:

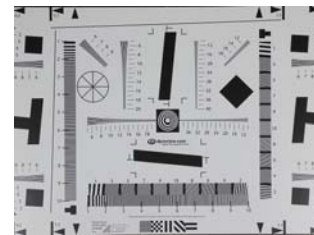
1. “Κατεβάζουμε” τους φωτογραφημένους στόχους *ISO 12233* από έναν από τους επίσημους ιστορόπους (πχ. dpreview.com). Είναι οι παρακάτω:



Canon EOS D60



Canon Pro 1



Kodak P880

2. Στο λογισμικό Imatest τρέχουμε τον αλγόριθμο SFR.
3. Φέρνουμε κάθε στόχο και επιλέγουμε τις περιοχές εκπαίδευσης μέσα στην εικόνα.
4. Για κάθε στόχο αποθηκεύουμε και αναλύουμε τα αποτελέσματα που παράγονται σε μορφή εικόνας.

Για να επιλέξουμε τον τελικό τρόπο με τον οποίο θα γίνει η αξιολόγηση της εικόνας υπενθυμίζεται ο στόχος της εργασίας που αναλύθηκε στην Εισαγωγή. Στόχος είναι, λοιπόν, η βέλτιστη δυνατή, επιστημονικά αποδεκτή αξιολόγηση μιας ψηφιακής μηχανής με τον ταχύτερο και ευκολότερο τρόπο. Πώς δηλαδή θα μπορεί κάποιος που έχει ειδικές απαιτήσεις, πριν ακόμα αγοράσει την ψηφιακή φωτογραφική μηχανή και χωρίς ιδιαίτερο κόστος, να αξιολογήσει από το πλήθος των προσφερόμενων ψηφιακών μηχανών της αγοράς ποιά είναι εκείνη που ικανοποιεί καλύτερα τις ανάγκες του. Απορρίπτεται έτσι οποιαδήποτε μέθοδος προϋποθέτει την εκ των προτέρων αγορά της μηχανής. Επίσης απορρίπτεται κατ' αρχήν και η δοκιμή μηχανών για λίγο καιρό, που προσφέρεται από τις διάφορες εταιρίες, καθώς αυτό προϋποθέτει χρόνο και κάποιον εξοπλισμό (αγορά ή κατασκευή στόχου, εύρεση καλού εκτυπωτή, εξασφάλιση κατάλληλου φωτισμού για φωτογράφιση του στόχου, εξασφάλιση τρίποδα για αποφυγή μικρομετακινήσεων κατά την φωτογράφιση κ.λπ.).

Έτσι, αυτό μπορεί να γίνει απλώς με “κατέβασμα” ήδη φωτογραφημένων στόχων, οι

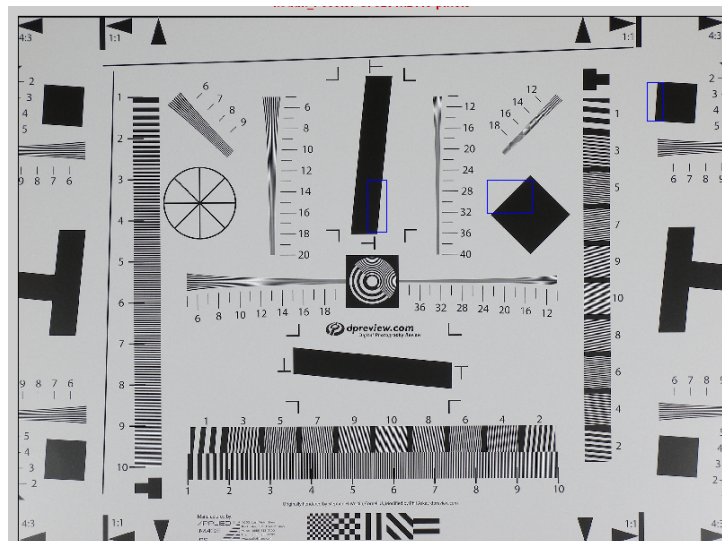
οποίοι προσφέρονται σε διάφορους ιστοτόπους του Διαδικτύου, και τη χρήση κατάλληλου λογισμικού που επεξεργάζεται τις εικόνες αυτές. Στην προκειμένη περίπτωση το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε, όπως είπαμε, ήταν το **Imatest** (imatest.com). Το λογισμικό αυτό διατίθεται ελεύθερα στο Διαδίκτυο σε μορφή 'Demo', η οποία επιτρέπει να χρησιμοποιηθεί μέχρι 20 φορές. Για τις ανάγκες, πάντως, της παρούσας εργασίας το λογισμικό αυτό αγοράστηκε από το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας (έναντι 99\$).

Για την αξιολόγηση έχουμε να λάβουμε υπόψιν τα εξής

1. Η ποιότητα δεν είναι ίδια σε ολόκληρη την έκταση του οπτικού πεδίου.
2. Δύο είναι οι δείκτες που θα δώσουν ένα τελικό αποτέλεσμα σχετικά με την ποιότητα του φακού: η καμπύλη MTF και ο δείκτης SQF.

Καμπύλη MTF

Παράδειγμα: Για το πρώτο θέμα, η λύση την οποία και εφαρμόσαμε είναι η επιλογή περισσότερων από μια περιοχών σε όλο το εύρος της εικόνας (βλ. ενότητα 6.3). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα επιλέξουμε μόλις τρεις περιοχές στην εικόνα. Και επειδή ήδη υπάρχει στη θεωρία του SQF κάποια οδηγία βάσει της οποίας επιλέγονται οι θέσεις στην εικόνα όπου θα γίνουν οι μετρήσεις, θα πορευτούμε σύμφωνα με αυτήν. Επιλέγουμε λοιπόν τις περιοχές με βάση το επόμενο σχήμα. Η εικόνα που ακολουθεί δείχνει ακριβώς πάνω στο διάγραμμα τις θέσεις που επιλέξαμε.



Στόχος: <http://www.graphics.cornell.edu/~westin/misc/res-chart.html>

Για το δεύτερο θέμα θα ακολουθήσουμε το παράδειγμα του ιστοτόπου της Imatest ό-

που και αναφέρει ότι “εμπειρικά ο καλύτερος δείκτης οξύτητας είναι οι χωρικές συχνότητες όπου η τιμή της MTF πέφτει στο 50% της τιμής που έχει στις πιο χαμηλές χωρικές συχνότητες (MTF50) ή στο 50% της μέγιστης τιμής της (MTF50P)”. Με την επιλογή της τιμής MTF50 αποφεύγουμε να κάνουμε ανάλυση της γραφικής παράστασης της MTF (κάτι που είναι θεμιτό δεδομένου ότι δεν είμαστε έμπειροι χρήστες). Αυτό το αντισταθμίζουμε με την επιλογή περιοχών σε όλο το εύρος της εικόνας, ενισχύοντας έτσι την αξιοπιστία της αξιολόγησης που θα κάνουμε. Άλλωστε η επιλογή της τιμής MTF50 προτείνεται και στις οδηγίες του ίδιου του ιστοτόπου της Imatest που προωθεί το πρόγραμμα.

Πέρα από το Imatest, η ίδια άποψη συναντάται και σε γνωστούς δικτυακούς τόπους:

“Imatest yields results in line widths per picture height (LW/PH), a figure that is directly comparable between all digital cameras, regardless of sensor size.”

“The “MTF 50” numbers tend to correlate best with visual perceptions of sharpness, so those are what I focus on here”.

<http://www.imaging-resource.com/PRODS/E1D2/E1D2IMATEST.HTM>

“50% MTF (modulation transfer function) which most authorities consider to be a better indicator of camera system sharpness.”

http://www.wlcastleman.com/equip/reviews/film_ccd/index.htm

“There is general agreement that perceived image sharpness is more closely related to the spatial frequency (lp/mm) where MTF is 50% (i.e., where contrast has dropped by half) than to resolution alone.”

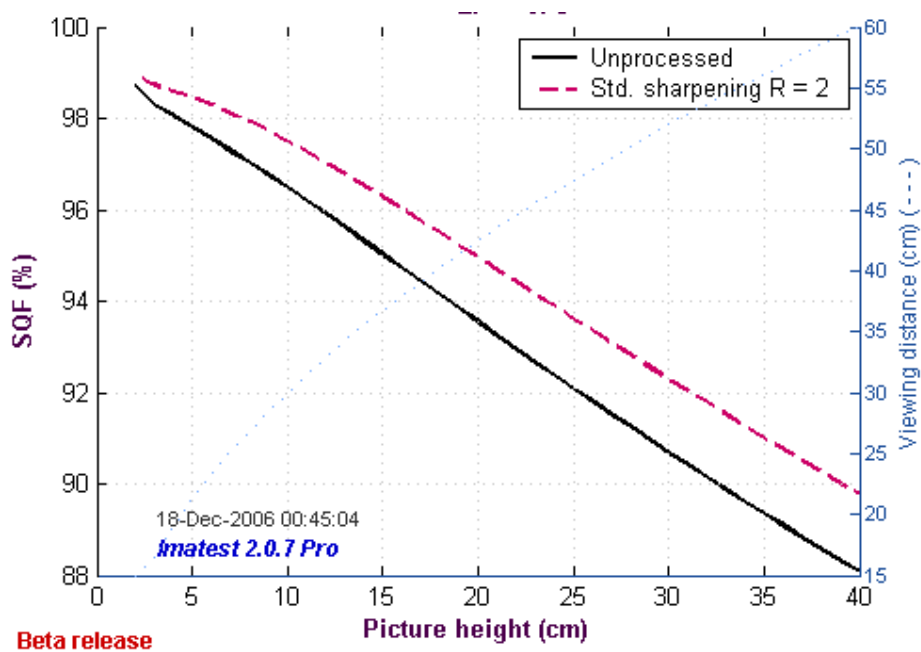
http://www.wlcastleman.com/equip/reviews/28_300/mtf.htm

MTF50 και MTF50P είναι ιδανικές παράμετροι για σύγκριση διαφορετικών φωτογραφικών μηχανών για τους εξής λόγους:

- (1) Η αντίθεση της εικόνας είναι στο μισό της μέγιστης τιμής της, άρα οι λεπτομέρειες είναι ακόμα ορατές
- (2) Το μάτι, όπως αναφέρθηκε και στη θεωρία του SQF, έχει περιορισμένη ευαισθησία σε χαμηλές συχνότητες (όταν η MTF είναι στο 10 % ή λιγότερο). Βλέπουμε ότι έμμεσα η επιλογή της MTF50 περιλαμβάνει και την ευαισθησία του ανθρώπινου ματιού.
- (3) Η απόδοση όλων των μηχανών παίρνει μεγάλο εύρος τιμών στην περιοχή γύρω από την MTF50 και η τιμή MTF50 είναι χαρακτηριστική του πλήθους των τιμών αυτών.

Δείκτης SQF

Όσον αφορά τον δείκτη SQF, το Imatest αντί να δίνει μια τιμή για κάθε μέγεθος εκτύπωσης, γιατί όταν μιλάμε για SQF αναφερόμαστε σε μια αριθμητική τιμή, χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο για να κάνει μια γραφική παράσταση του παράγοντα SQF στην οποία θα μπορεί να ανατρέξει ο χρήστης για οποιαδήποτε τιμή του μεγέθους εκτύπωσης τον ενδιαφέρει. Σε αυτό το διδιάστατο διάγραμμα τρίτος άξονας είναι η απόσταση παρατήρησης που προκύπτει συναρτήσει του μεγέθους εκτύπωσης. Το γράφημα που έπεται δείχνει τα παραπάνω. Ουσιαστικά είναι το ίδιο με έναν πίνακα με τιμές.



Αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε ένα από τα μεγέθη ως σταθερό και να δούμε ποια ποιότητα δίνει κάθε μηχανή για αυτό. Ως σταθερή ελήφθη η απόσταση από την οποία παρατηρεί ο χρήστης την εικόνα και επιλέξαμε τα 35 cm, γιατί είναι η τυπική απόσταση από την οποία κοιτάει κανείς μια εικόνα. Σε αυτή την απόσταση συγκρίναμε την ποιότητα που έδινε κάθε μηχανή σε κάθε θέση στην φωτογραφία, συνυπολογίζοντας πάντα το μέγεθος εκτύπωσης.

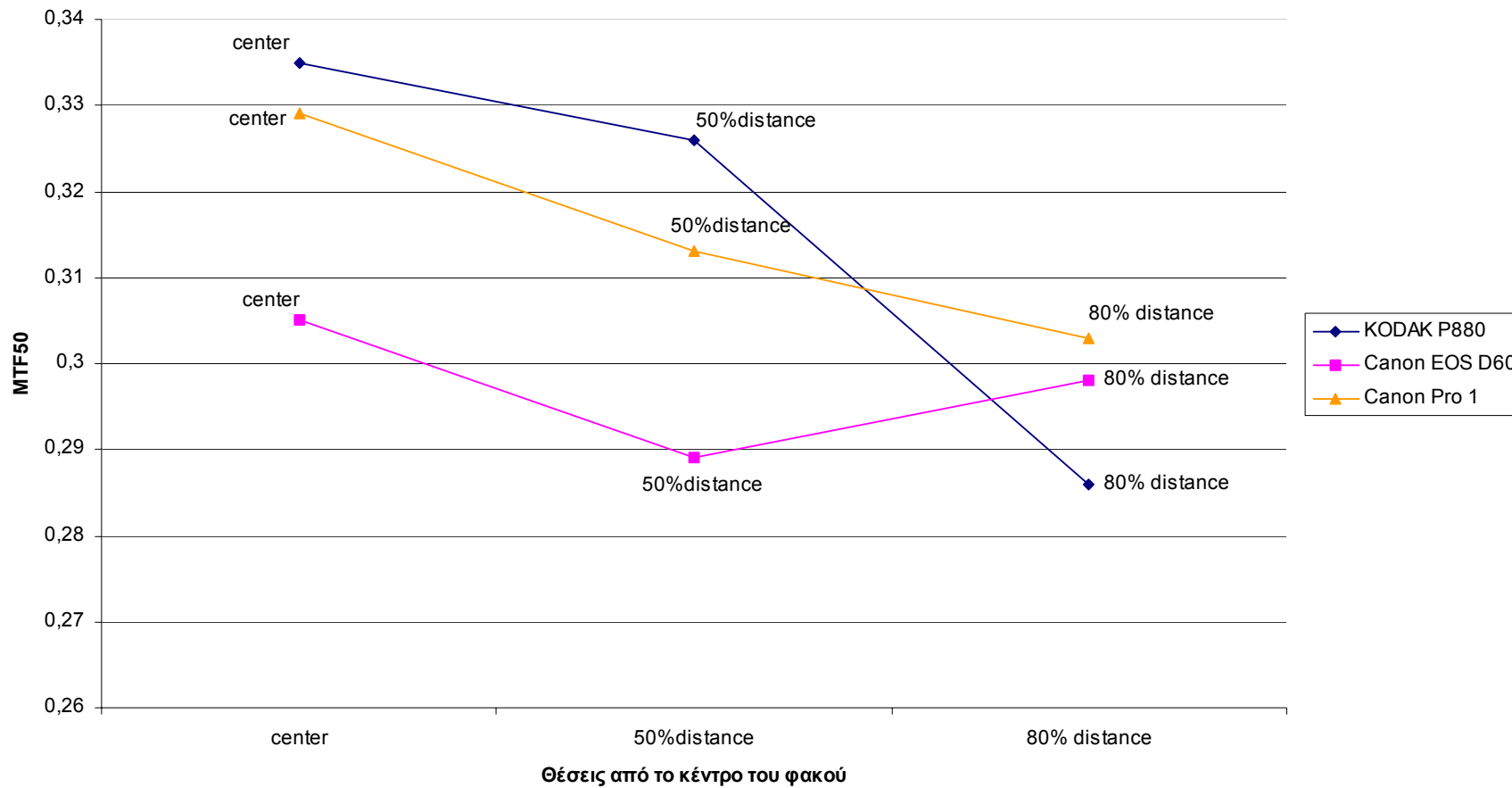
Τελικά λοιπόν είχαμε τρεις δείκτες MTF (έναν για κάθε θέση στην εικόνα) και τρεις τιμές SQF (ομοίως) για κάθε μηχανή. Τώρα μπορούσαμε να δούμε ποιά μηχανή είναι αισθητά καλύτερη ως προς την οξύτητα του φακού – του υπ' αριθμόν ένα παράγοντα ποιότητας εικόνας. Αναλυτικότερα τα στοιχεία και τα συμπεράσματα υπάρχουν στο

επόμενο Κεφάλαιο. Οι τρεις ψηφιακές μηχανές, για τις οποίες αντλήθηκαν φωτογραφημένοι στόχοι από το Internet, ήταν οι

- Kodak P880 (5 Megapixel)
- Canon EOS D60 (6 Megapixel)
- Canon Pro 1(8 Megapixel).

Γιά να υπάρχει δυνατότητα αξιόπιστης σύγκριση οι λήψεις είχαν γίνει με εστιακή απόσταση 50 mm και το μέγιστο άνοιγμα διαφράγματος.

MTF50 για τρεις ψηφιακές μηχανές

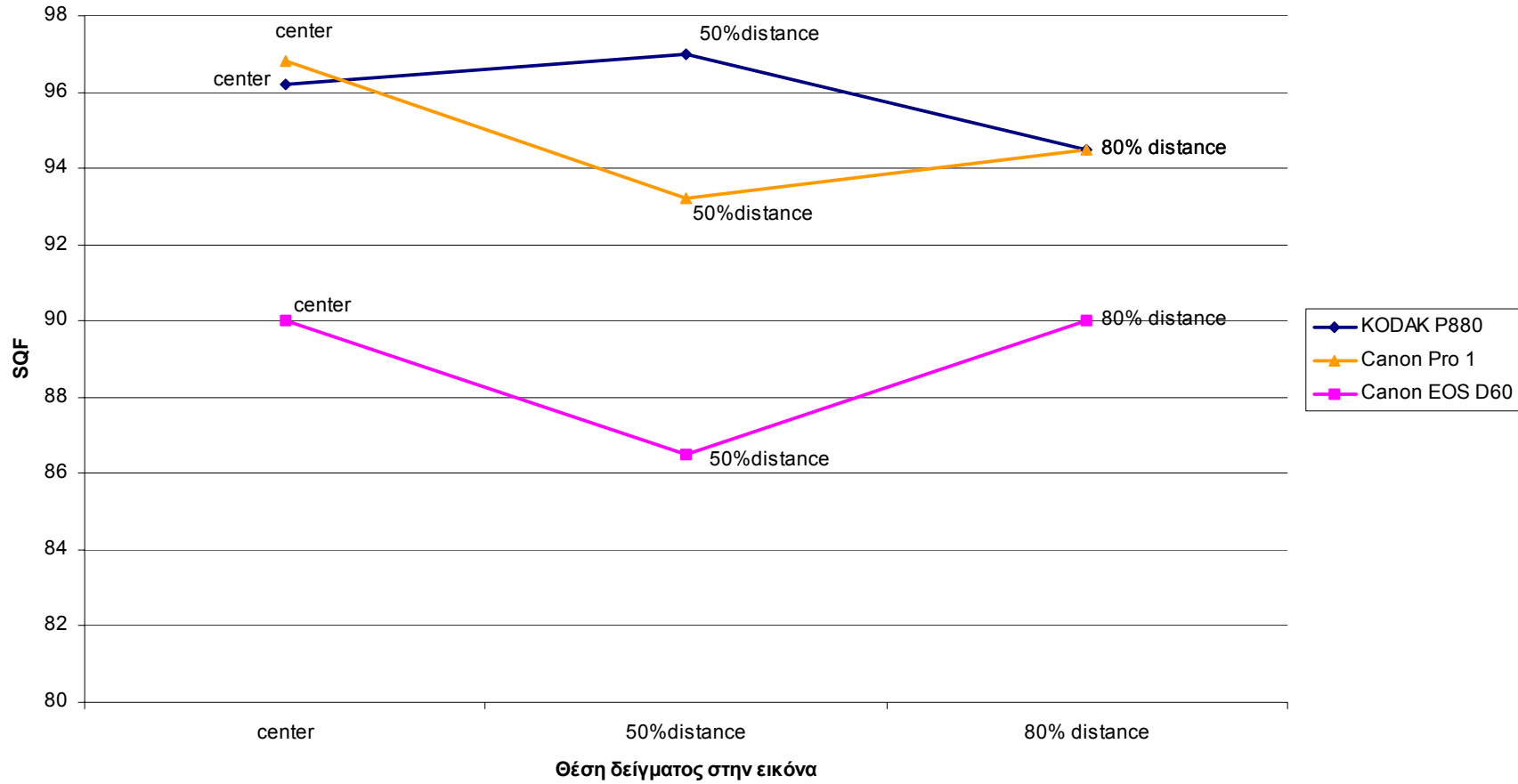


Το προηγούμενο διάγραμμα δείχνει ότι στην περιοχή που περιλαμβάνει το κέντρο της εικόνας μέχρι και το μισό της απόστασης από τα άκρα η Kodak P880 εμφανίζεται να έχει καλύτερο φακό από τις άλλες μηχανές. Πρέπει όμως να λάβουμε υπόψιν κάτι που μπορεί αλλάξει πλήρως την κρίση μας σχετικά με το ποιό φακό (και συνεπώς ποιά μηχανή) θα διαλέξει κανείς. Αυτό αφορά τις περιοχές στα άκρα του οπτικού πεδίου. Εδώ λοιπόν βλέπει κανείς ότι η απόδοση του φακού ως προς την οξύτητα πέφτει πολύ απότομα για την Kodak P880 και με τα κριτήρια αξιολόγησης βάσει της MTF50 η τιμή στα άκρα της εικόνας είναι πολύ διαφορετικού επιπέδου ποιότητας από ό,τι στο κέντρο, είναι μάλιστα υποδέεστερη από τις άλλες δυο μηχανές. Σε μιά επιλογή λοιπόν παίζει άμεσο ρόλο ο σκοπός του χρήστη. Αν, για παράδειγμα, ενδιαφέρει κάποιον η χρήση της μηχανής κυρίως για το κέντρο της εικόνας (έχει αναφερθεί το παράδειγμα των πορτρατέτων), τότε έχει μεγαλύτερη σημασία να είναι καλός ο φακός στο κέντρο του. Η Kodak P880 θα ήταν τότε η καλύτερη επιλογή.

Τί συμβαίνει όμως όταν πρόκειται να γίνει χρήση της μηχανής για φωτογραμμετρικές εφαρμογές; Πέραν της καθαυτό ανάλυσης μιάς εικόνας (πράγμα προφανώς εξαιρετικά κρίσιμο για την φωτογραμμετρία), από άποψη ποιότητας θεωρώ ότι υπάρχει και ανάγκη για ομοιόμορφη κατανομή της ποιότητας σε ολόκληρο το εύρος του οπτικού πεδίου. Σε αυτή την περίπτωση τις ανάγκες θα τις καλύψει καλύτερα Canon Pro I, η οποία αν και ελαφρώς κατώτερη σε ποιότητα απο την Kodak P880 κοντά στο κέντρο της εικόνας έχει πολύ καλύτερη απόδοση στα άκρα. Η ισοροπία αυτή σε όλο το εύρος του οπτικού πεδίου είναι αναγκαία στην φωτογραμμετρική χρήση και αυτή την μηχανή θα έπρεπε να επιλέξει ένας τοπογράφος μηχανικός που ασχολείται με την φωτογραμμετρία. Βέβαια, μιά φωτογραμμετρική απόδοση πρακτικά δεν γίνεται συνήθως με ολόκληρη την έκταση της εικόνας (προβλήματα στερεοσκοπικής παρατήρησης, μεγάλες τιμές ακτινικής διαστρόφης κ.λπ.). Ακόμα κα έτσι, πάντως, τα άκρα των εικόνων χρησιμοποιούνται για άλλους λόγους, πχ. για την σκόπευση σημείων σύνδεσης ή και φωτοσταθερών που έτυχε να απεικονιστούν εκεί. Ίσως λοιπόν μιά τέτοια λεπτομερής (ή και υπερβολική) ανάλυση του φακού να κάνει απλώς τη διαφορά σε πολύ ειδικές περιπτώσεις ή εξειδικευμένες εφαρμογές, αλλά γιατί να μην έχει τη δυνατότητα ένας επαγγελματίας να επιλέξει με κάθε λεπτομέρεια το πού θα επενδύσει τα χρήματα που διαθέτει;

Τέλος, για την Canon EOS D60 έχουμε να παρατηρήσουμε ότι εμφανίζεται γενικά σαφώς υποδέεστερη των άλλων δύο, με ποιότητα εικόνων καλύτερη στο κέντρο και τα άκρα του οπτικού πεδίου, αλλά κατώτερη στο ενδιάμεσο τμήμα.

SQF Διαγράμματα τριών διαφορετικών ψηφιακών μηχανών



Ο παράγοντας SQF δίνει κάπως διαφορετικά αποτελέσματα από ό,τι η τιμή MTF50. Εδώ δέν έχουμε την ίδια απότομη πτώση στα άκρα της εικόνας. Παρατηρώντας τα διαγράμματα, βλέπουμε ότι η KODAK P880 είναι πιο καλή ως προς την ποιότητα. Υστερεί λίγο της Canon Pro I στο κέντρο αλλά είναι σαφώς καλύτερη στο μέσο της εικόνας, ενώ και οι δυο μηχανές δίνουν ίδιο αποτέλεσμα. Στην KODAK P880 παρατηρούμε την μικρή άνοδο του SQF από το κέντρο στο μέσο της εικόνας, κάτι που δεν ήταν αναμενόμενο. Ωστόσο, παρατηρώντας την διαφορά στην τιμή του SQF για τις δυο μηχανές KODAK P880 και Canon Pro I, βλέπουμε ότι οπτικά δεν έχουν ουσιαστική διαφορά ως προς την ποιότητα. Έχει επισημανθε ότι από 5 βαθμούς SQF και πάνω διαπιστώνει ο παρατηρητής αισθητή διαφορά ποιότητας εικόνας. Εδώ η μεγαλύτερη διαφορά στον SQF για τις KODAK P880 και Canon Pro I είναι 4 βαθμοί. Άρα, εκτιμώ ότι από την άποψη του SFQ οι δύο μηχανές είναι ισοδύναμες.

Επιπλέον, ας βγάλουμε τον συνολικό βαθμό SQF (με τον τρόπο που αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα) κατά μήκος της εικόνας και για τις τρεις μηχανές:

$$\text{KODAK P880} \quad (96.2 \times 0.5) + (97.0 \times 0.3) + (94.5 \times 0.2) = \mathbf{96.10}$$

$$\text{Canon Pro 1} \quad (96.8 \times 0.5) + (93.2 \times 0.3) + (94.5 \times 0.2) = \mathbf{95.26}$$

$$\text{Canon EOS D60} \quad (90.0 \times 0.5) + (86.5 \times 0.3) + (90.0 \times 0.2) = \mathbf{88.95}$$

Ο συνολικός βαθμός SQF δίνει πρακτικά ισοδύναμες τις δύο πρώτες μηχανές. Υπενθυμίζεται η βαθμολογία του SQF, όπως τη δίνει ο ιστότοπος της Imatest:

A+	A	B+	B	C+	C	D	F
94-100	89-94	84-89	79-84	69-79	59-69	49-59	Under 49

Βάσει του πίνακα κατατάσσουμε τις KODAK P880 και Canon Pro 1 στην πρώτη κατηγορία ποιότητας A+. Η τρίτη μηχανή υπάγεται σε κατώτερη κατηγορία, ακριβώς στο όριο του A και του B+. Γενικά, πάντως, εκτιμάται ότι και οι τρεις μηχανές είναι καλής ποιότητας.
































6.3 Αναλυτικότερη πειραματική αξιολόγηση φακών

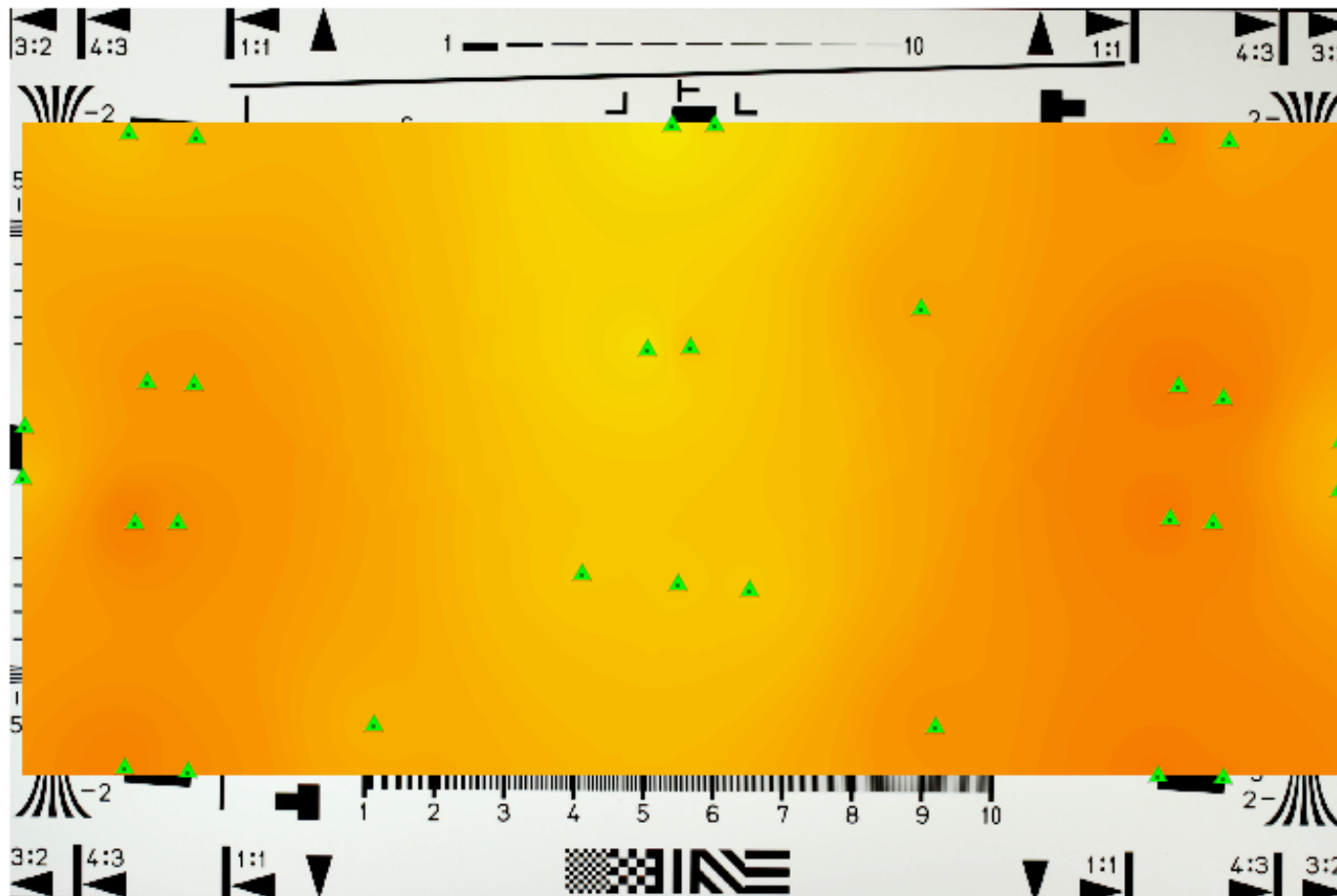
Οι τιμές της καμπύλης MTF από οκλόκληρο το φορμάτ των εικόνων χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία επιφανειών ώστε να μπορούμε να οπτικοποιήσουμε τα αποτελέσματα και η παρουσίαση να γίνει εποπτικότερη. Στις επιφάνειες αυτές δόθηκε χρωματική διαβάθμιση για να μπορούν να ξεχωρίζουν τα τμήματα της εικόνας που είχαν καλή ποιότητα από εκείνα με χαμηλό δείκτη ποιότητας εικόνας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και σχολιάζονται παρακάτω. Με κόκκινο έχουν χρωματιστεί περιο-

χές με χαμηλό δείκτη MTF και όσο πιο ανοικτό είναι το χρώμα (αποχρώσεις του πορτοκαλί μέχρι το κίτρινο) τόσο καλύτερη ποιότητα έχουμε:

Παλέτα χρωμάτων για τις τιμές της MTF

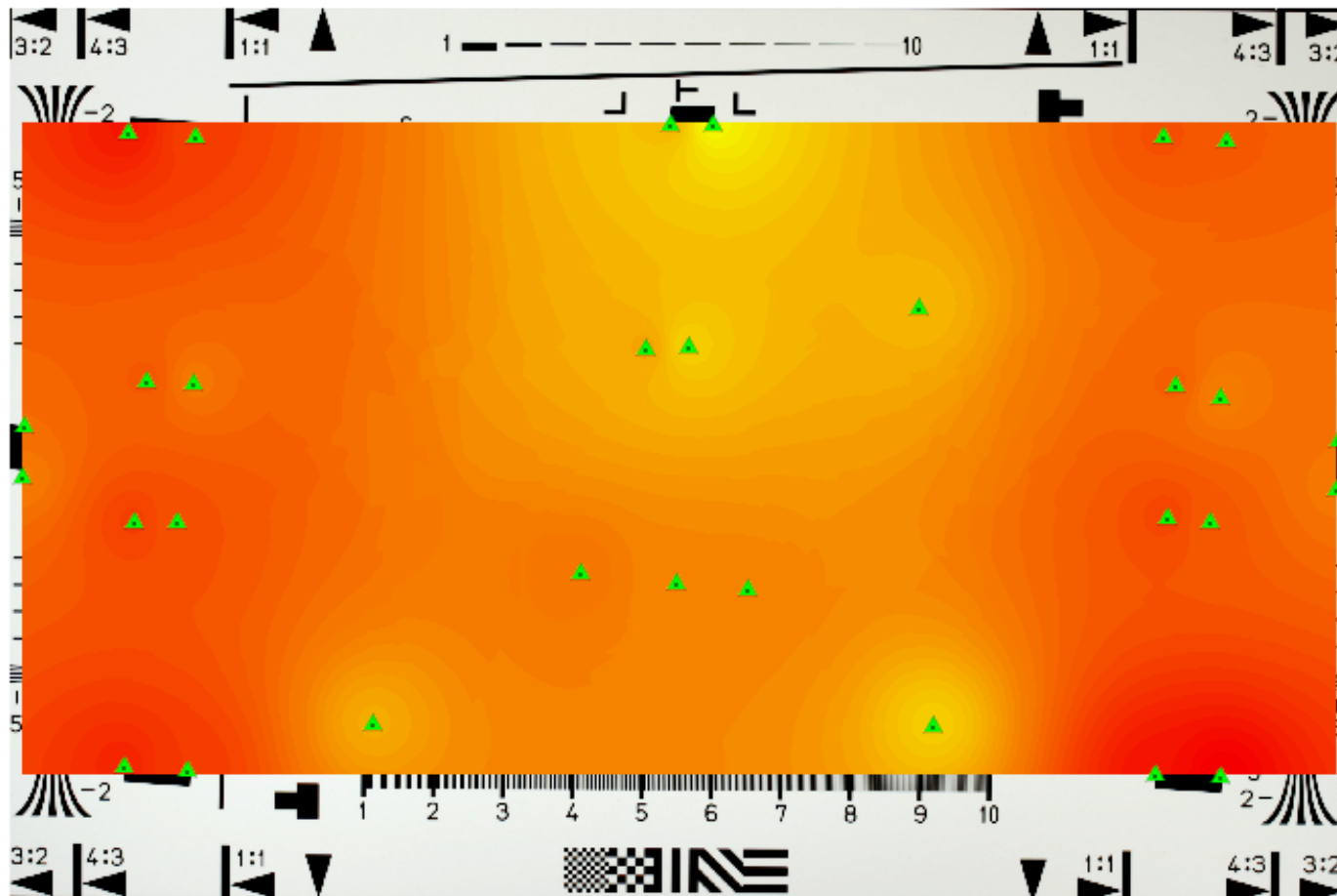
Τιμές

	0,254 - 0,257
	0,257 - 0,260
	0,260 - 0,2630
	0,263 - 0,266
	0,266 - 0,269
	0,269 - 0,272
	0,272 - 0,275
	0,275 - 0,278
	0,278- 0,281
	0,281- 0,284
	0,284 - 0,287
	0,287 - 0,290
	0,290 - 0,293
	0,293 - 0,296
	0,296 - 0,299
	0,299 - 0,302
	0,302 - 0,305
	0,305- 0,308
	0,308 - 0,311
	0,311 - 0,314
	0,314 - 0,317
	0,317 - 0,320
	0,320 - 0,323
	0,323 - 0,326
	0,326 - 0,329
	0,329 - 0,332
	0,332 - 0,335
	0,335 - 0,338
	0,338 - 0,341
	0,341 - 0,344
	0,344 - 0,347
	0,347 - 0,350



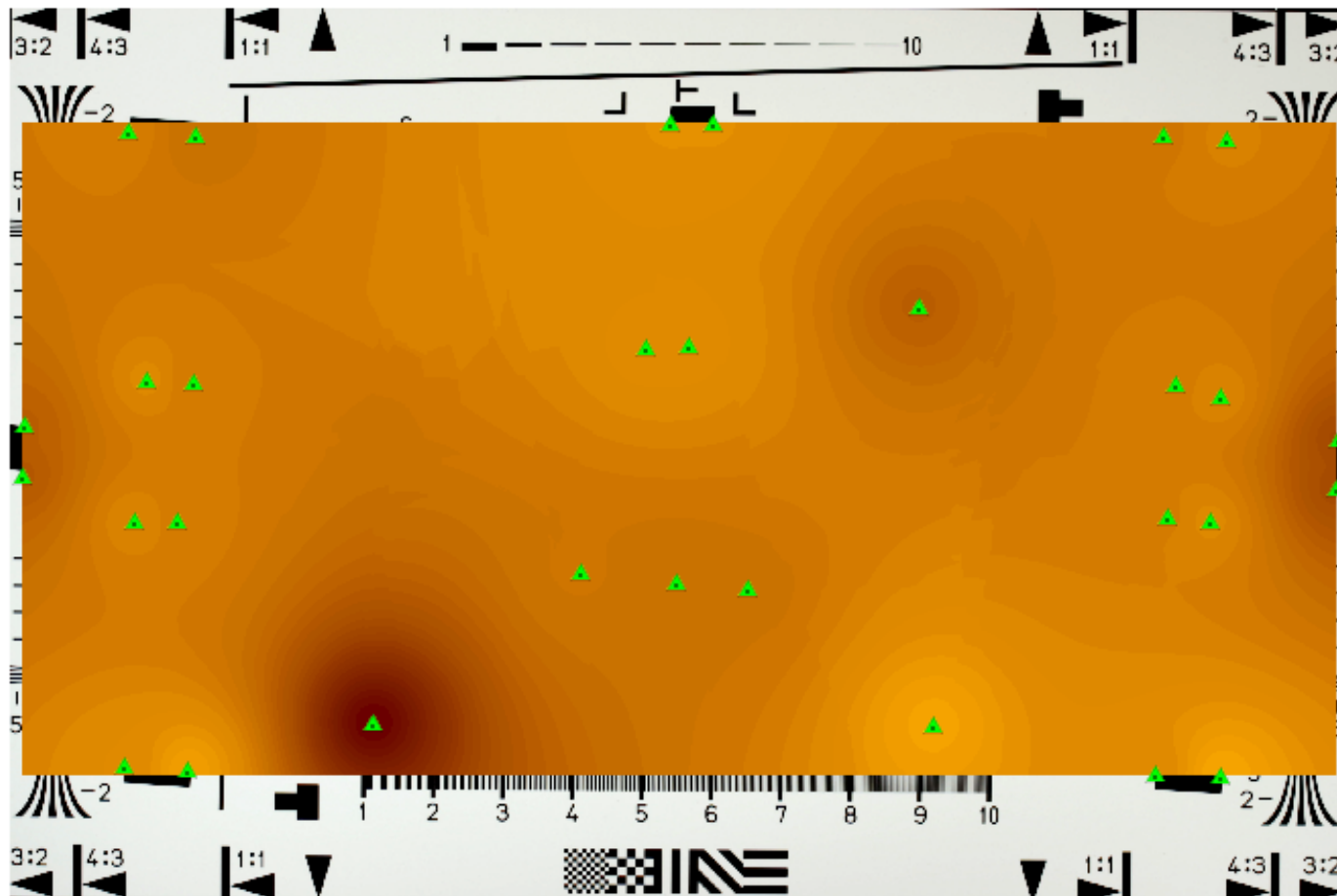
Η **Canon Pro 1** είναι η μηχανή με το μικρότερο εύρος τιμών MTF (0.295–0.354). Όπως φαίνεται παραπλευρώς, έχει καλή διακύμανση τιμών σε ολόκληρη την εικόνα. Δεν παρουσιάζεται περιοχή με ιδιαίτερα χαμηλή τιμή MTF που να υποδεικνύει σφάλμα στο σύστημα φακού-αισθητήρα.

Εύρος τιμών MTF :
0.295–0.354 C/P



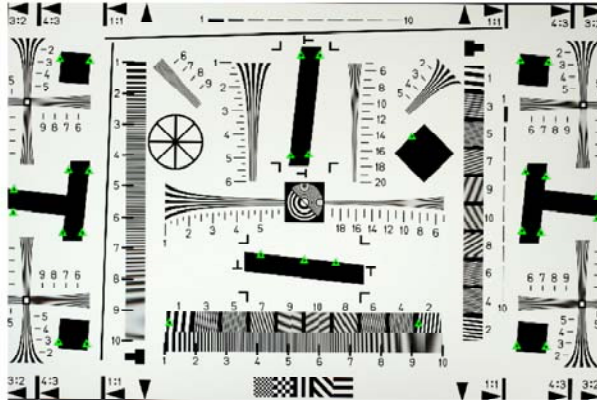
Η **Kodak P880** έχει χαμηλές τιμές στα άκρα (κόκκινο χρώμα). Στο κέντρο παρουσιάζεται πολύ καλή. Παρ' όλα αυτά, δεν φαίνεται να ξεπερνάει την απόδοση της Canon Pro 1 ακόμα και στο κέντρο της εικόνας.

Εύρος τιμών MTF
0.263 – 0.350 C/P

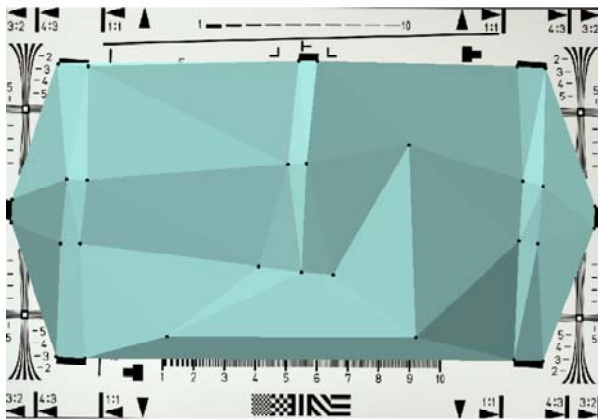


Η **Canon EOS D60** έχει μια γενικά σταθερή απόδοση. Όμως στο κάτω αριστερό τμήμα της εικόνας έχουμε μια ξαφνική πτώση. Εάν δεν πρόκειται λοιπόν για τυχαία εμφάνιση, υπάρχει μάλλον σε αυτό το σημείο στον αισθητήρα ή τον φακό κάτι που προκαλεί αυτή τη μείωση στην απόδοση. Σκοπός της εργασίας δεν είναι να προσδιοριστεί αυτό το σφάλμα αλλά να εντοπιστεί και να αποτελέσει ίσως ένα επιπλέον στοιχείο στην αξιολόγηση της μηχανής.

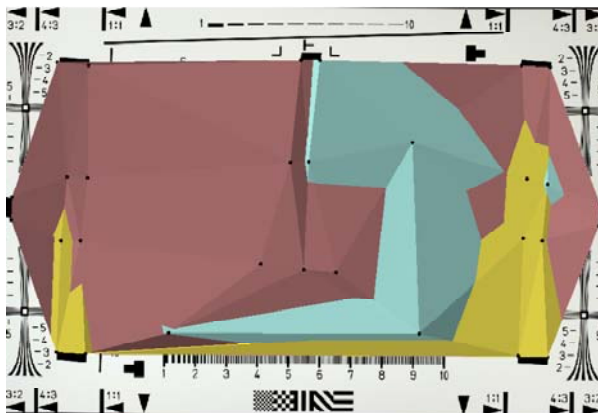
Κάθε μηχανή έχει απεικονίσει τον στόχο που προβλέπουν οι προδιαγραφές. Ο στόχος είναι κοινός και εξυπηρετεί την αξιολόγηση της ποιότητας εικόνας που παράγουν οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές.



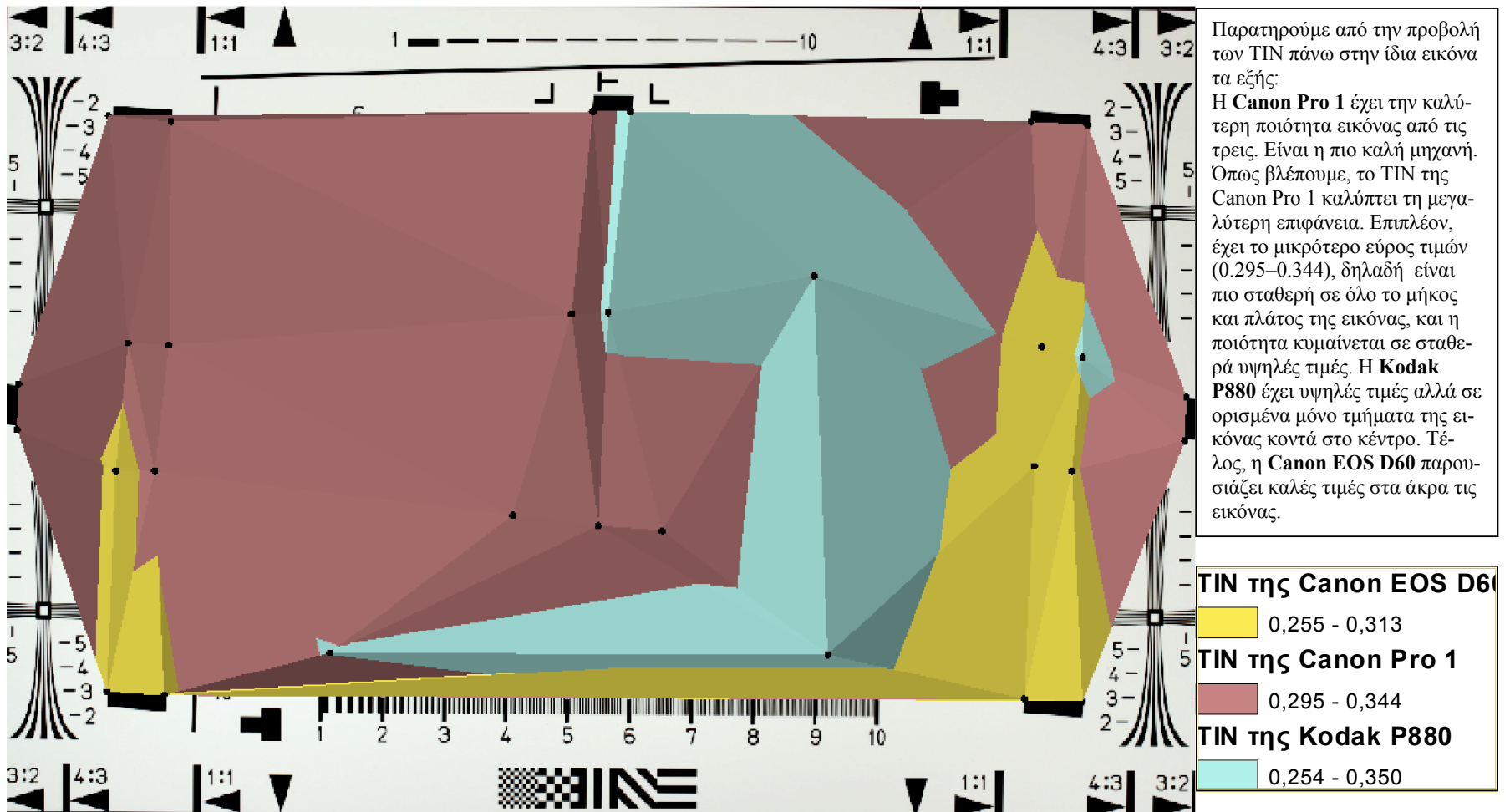
Εδώ φαίνεται ένας τυπικός στόχος και σε ποιες περιοχές επιλέχθηκαν μικρά τμήματα της εικόνας για την εξαγωγή αποτελεσμάτων από το Imatest.

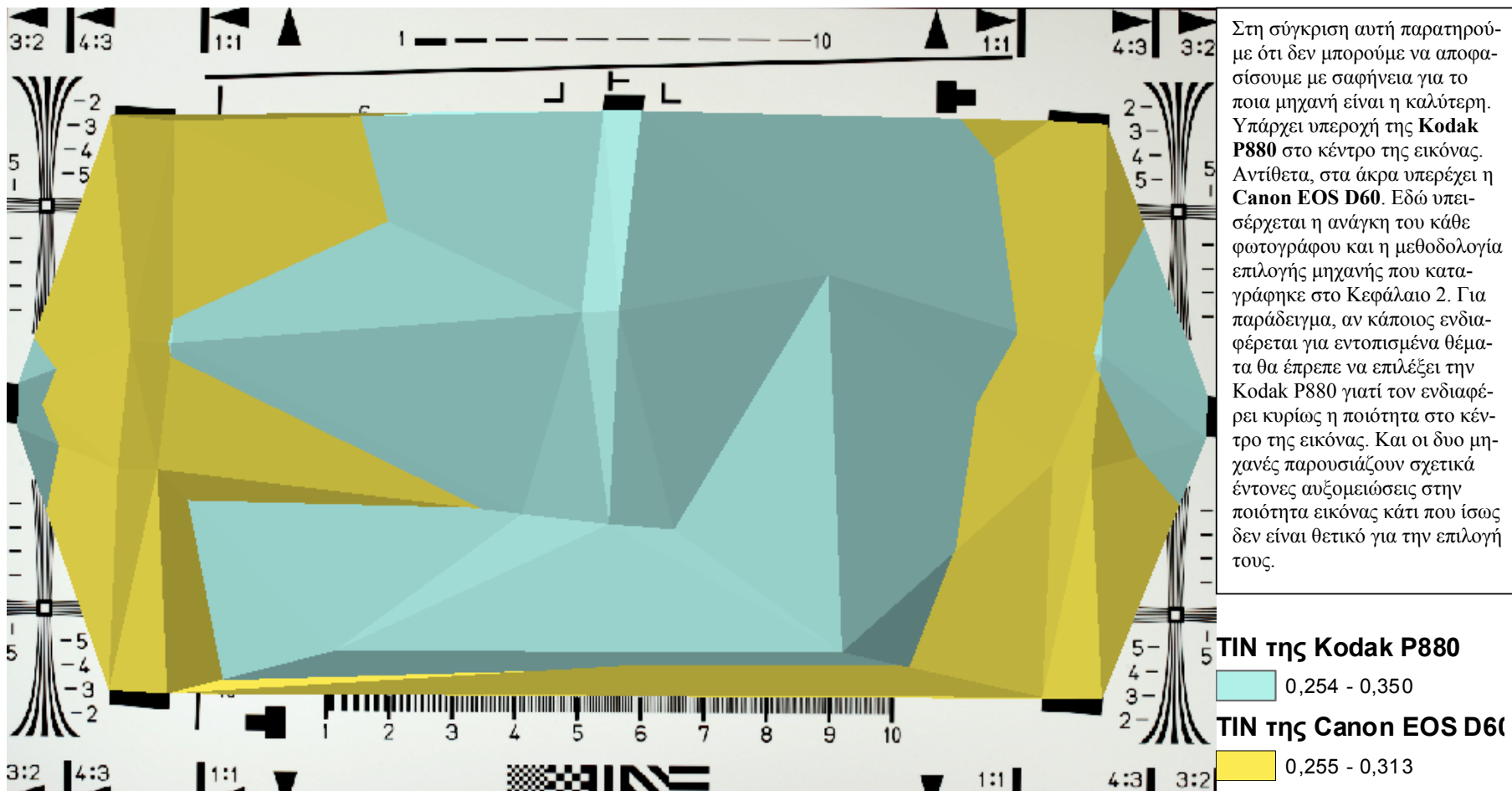


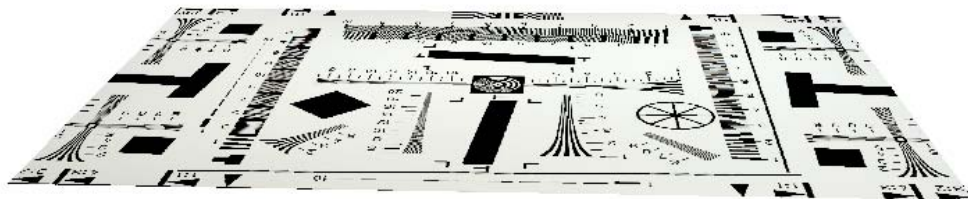
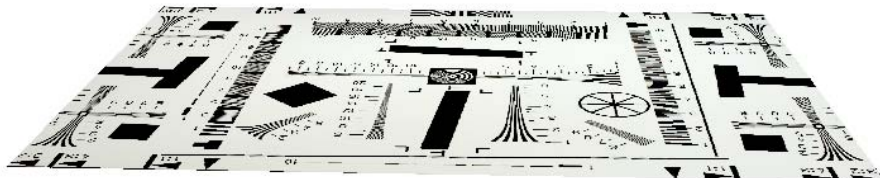
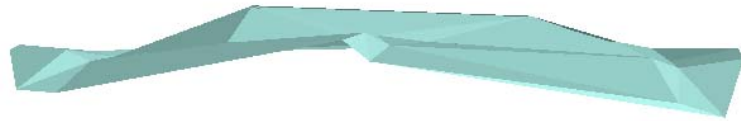
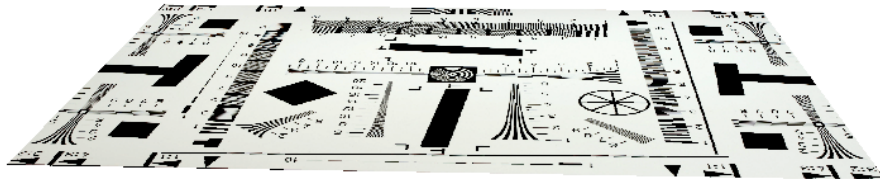
Κάθε μηχανή έδωσε και διαφορετικό αποτέλεσμα στις μετρήσεις ποιότητας εικόνας με το Imatest. Αυτά τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία ενός TIN για κάθε ψηφιακή μηχανή. Τα ύψη του αντιστοιχούν στην ποιότητα της εικόνας, όπως αυτή προκύπτει αριθμητικά από το Imatest. Επιλέχθηκε το TIN σαν επιφάνεια γιατί περιλαμβάνει τις πρωτογενείς παρατηρήσεις και χωρίς σφάλματα λόγω παρεμβολής.



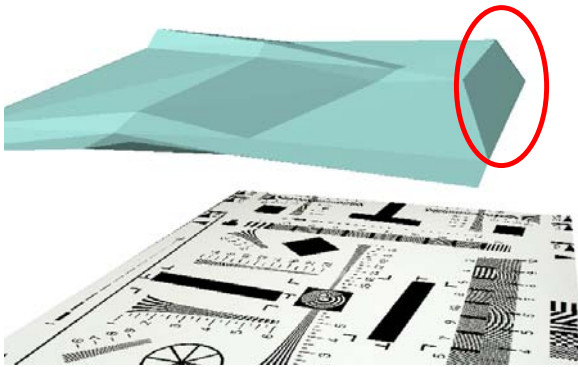
Τελικά φέραμε τις επιφάνειες των τριών μηχανών στο ίδιο επίπεδο και από τις διαφορές των υψομέτρων των TIN βγάλαμε συμπεράσματα για το ποια ψηφιακή μηχανή παρουσιάζει την καλύτερη ποιότητα παραγόμενης εικόνας.



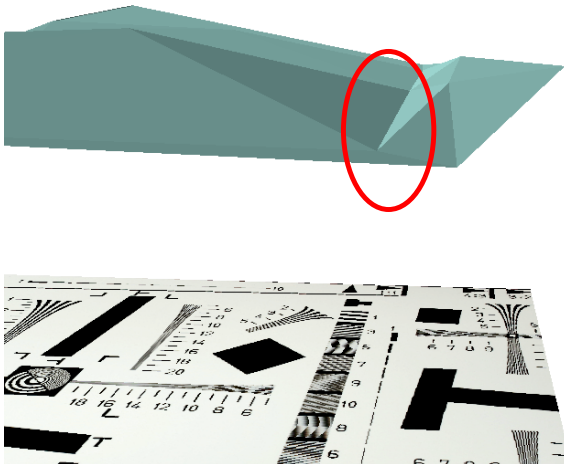




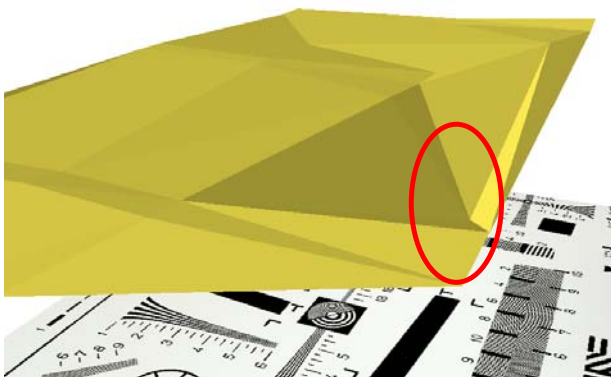
Η προηγούμενη σελίδα υπάρχει με σκοπό να οπτικοποιήσει τις εναλλαγές στην ποιότητα που εμφανίζει κάθε μηχανή. Είναι μια όψη του τρισδιάστατου μοντέλου που δείχνει τις διακυμάνσεις του TIN. Από τα παραπάνω φαίνεται, όπως προαναφέρθηκε, ότι η πιο σταθερή μηχανή στο μήκος και πλάτος της εικόνας είναι η Canon Pro 1. Μετά θα επιλέγαμε ίσως την Kodak P880 μόνο γιατί είναι σταθερά πιο ποιοτική στο κέντρο, αν και παρουσιάζει έντονη μείωση ποιότητας στα άκρα της εικόνας. Παρατηρώντας τα δυο μοντέλα στις τρεις διαστάσεις μπορούμε να εξαγάγουμε σημαντικά συμπεράσματα για σφάλματα τοπικά και ατέλειες του συστήματος φακού-αισθητήρα. Έτσι:



Στην βάση της εικόνας η Kodak P880 παρουσιάζει μια απότομη μείωση στην ποιότητα όπως φαίνεται και στο TIN.



Όλη η δεξιά πλευρά της Kodak P880 παρουσιάζει μειωμένη ποιότητα, ειδικά δεξιά και κάτω. Αυτές είναι ενδείξεις για σφάλματα του φακού (ή του συστήματος φακού-αισθητήρα). Βέβαια πρέπει να έχουμε υπόψιν ότι γενικά μιλάμε για καλές τιμές οξύτητας αλλά οι αλλαγές σε ποιότητα σε τμήματα της εικόνας δεν είναι αμελητέες.



Αδύνατο σημείο της Canon EOS D60 είναι κάτω αριστερά στην εικόνα. Εκεί υπάρχει απότομη αλλαγή κλίσης του TIN και ελάχιστη τιμή ποιότητας. Αν αναλογιστούμε ότι υπάρχουν περιοχές με ένδειξη οξύτητας 0.313 και δίπλα σημειώνεται οξύτητα 0.255, αυτό σημαίνει μείωση 2-3 επιπέδων ποιότητας εικόνας στο συγκεκριμένο τμήμα.

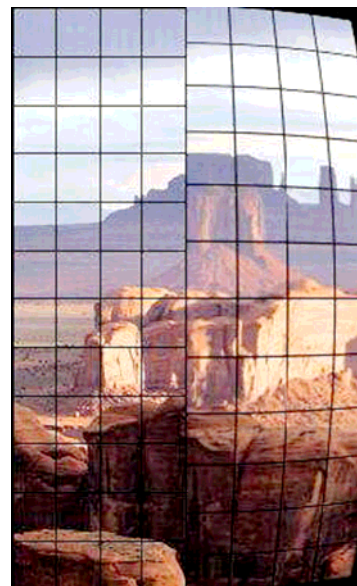
6.4 Σχολιασμός

Από τις τρεις μηχανές και χρησιμοποιώντας ως κριτήριο την ποιότητα θα επιλέγαμε την Canon Pro 1. Δεύτερη επιλογή μας από άποψη ποιότητας θα ήταν η Kodak P880 με μικρή διαφορά από την Canon EOS D60. Τώρα όμως που υποτίθεται ότι έχουμε διαπιστώσει ποιά είναι η πιο ποιοτική ψηφιακή μηχανή, θα την αγοράζαμε τελικά ή θα υπεισέρχονταν και άλλοι παράγοντες, όπως η τιμή ή ο σκοπός χρήσης της, που θα άλλαζαν την τελική μας απόφαση; Για να ξεκαθαρίσουμε ποιά θα έπρεπε τελικά να επιλέξουμε πρέπει να ακολουθήσουμε την διαδικασία του Κεφαλαίου 2. Τις μετρήσεις τις κάναμε, έχουμε τις καμπύλες MTF και τα αποτελέσματά τους, μένει να αποφασίσουμε για τί ακριβώς χρειαζόμαστε την ψηφιακή μηχανή που σκοπεύουμε να αγοράσουμε.

Προφανώς, στην φωτογραμμετρία είναι τελικά άλλοι παράγοντες (πλὴν του οικονομικού που είναι κοινός γιά όλους) οι οποίοι καθορίζουν την επιλογή, και κυρίως γεωμετρικοί παράγοντες. Ίσως ο πιο σημαντικός είναι η ανάλυση των εικόνων, η οποία έχει άμεση επίπτωση στις ακρίβειες μετρήσεων που είναι δυνατόν να επιτευχθούν. Ένας ακόμα σημαντικός παράγων είναι τα γεωμετρικά σφάλματα των φακών και ιδιαίτερα η ακτινική διαστρόφη. Δεδομένου ότι το Imatest παρέχει και αυτή την δυνατότητα ελέγχου, στην επόμενη ενότητα θα δοθούν σχετικά πειραματικά αποτελέσματα. Αν όμως υπάρχουν μηχανές με παρόμοια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τότε θεωρούμε ότι είναι σκόπμου ο έλεγχος ποιότητας με τα απλά μέσα που περιγράφηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια αυτής της εργασίας.

6.5 Εκτίμηση καμπύλης ακτινικής διαστρόφης

Η ακτινική διαστρόφη του φακού είναι ένα σημαντικό σφάλμα του φακού, που έχει ως αποτέλεσμα οι ευθείες γραμμές να καμπυλώνονται, ιδιαίτερα κοντά στα άκρα της εικόνας (δεξιά στο σχήμα φαίνεται μία τέτοια περίπτωση εικόνας χωρίς και με ακτινική διαστρόφη). Αυτό οφείλεται στο ότι το μέγεθος του σφάλματος αυξάνει με την ακτίνα, και έτσι η ακτινική διαστρόφη περιγράφεται με πολυώνυμα των περιττών δυνάμεων της ακτι-



(15) www.imatest.com

νικής απόστασης του σημείου από το κέντρο της εικόνας (σωστότερα από το πρωτεύον σημείο ή, ακόμα, το κέντρο συμμετρίας της διαστροφής). Είναι προφανές ότι η παραμόρφωση αυτή δημιουργεί μετρητικό πρόβλημα στην φωτογραμμετρία. Συνεπώς πρέπει γενικά να διορθώνεται μέσω το πολυωνυμου της διαστροφής που προδιορίζεται με διαδικασίες της βαθμονόμηση μηχανής. Το σφάλμα της διαστροφής είναι πιο έντονο σε ευρυγώνιους φακούς.

Το υποπρόγραμμα *Imatest™ Distortion* εκτιμά αυτόματα την ακτινική διαστροφή Δr του φακού από εικόνες ειδικών καννάβων και υπολογίζει παραμέτρους για την διόρθωσή της. Το πιο απλό μοντέλο διαστροφής που χρησιμοποιεί είναι το εξής:

$$r_u = r_d + \Delta r = r_d + k_1 r_d^3$$

όπου r_d : ακτίνα επηρεασμένη από το σφάλμα ακτινικής διαστροφής

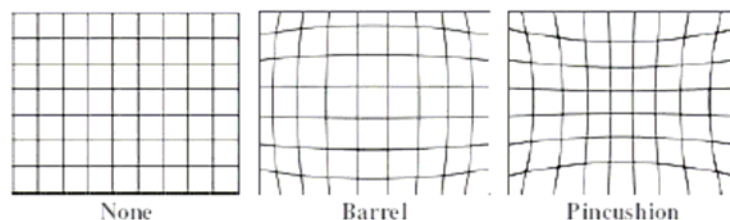
r_u : η ακτίνα απαλλαγμένη από το σφάλμα της ακτινικής διαστροφής

k_1 : συντελεστής της τρίτης δύναμης της ακτινικής απόστασης του σημείου από το κέντρο της εικόνας.

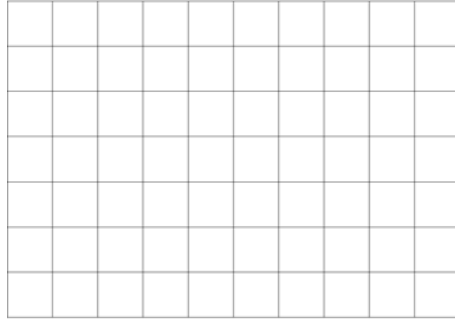
Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί έναν συντελεστή και θεωρείται επαρκές για τους περισσότερους φακούς. Σημειώνεται ότι στην παραπάνω εξίσωση που χρησιμοποιείται στο λογισμικό Δr είναι η διόρθωση της ακτινικής διαστροφής και όχι η ίδια η ακτινική διαστροφή, επομένως ο συντελεστής k_1 έχει εδώ αντίθετο πρόσημο με τον συντελεστή που χρησιμοποιούμε στην φωτογραμμετρία. Παράλληλα, επειδή η εξίσωση 3^{ου} βαθμού δεν είναι επαρκής για όλους τους φακούς, το *Distortion* μπορεί να υπολογίζει και τους συντελεστές του πολυωνύμου 5^{ου} βαθμού:

$$r_u = r_d + h_1 r_d^3 + h_2 r_d^5$$

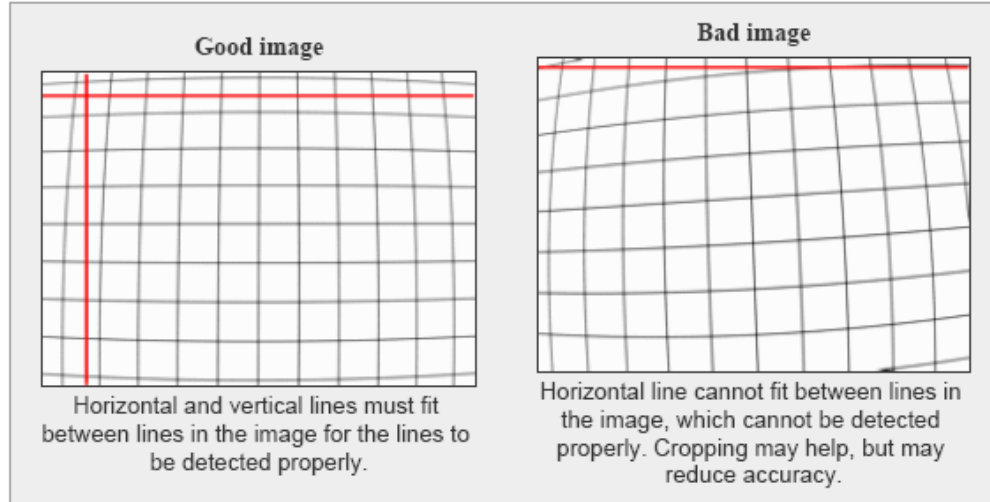
Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, η ακτινική διαστροφή του φακού μπορεί να έχει δυο μορφές, την πιθοειδή – barrel-type (με $k_1 > 0$ για το Imatest και $k_1 < 0$ στην τυπική περίπτωση της φωτογραμμετρίας) και την μηνγοειδή – pincushion-type ($k_1 < 0$ στην περίπτωση του Imatest, $k_1 > 0$ στην τυπική περίπτωση της φωτογραμμετρίας).



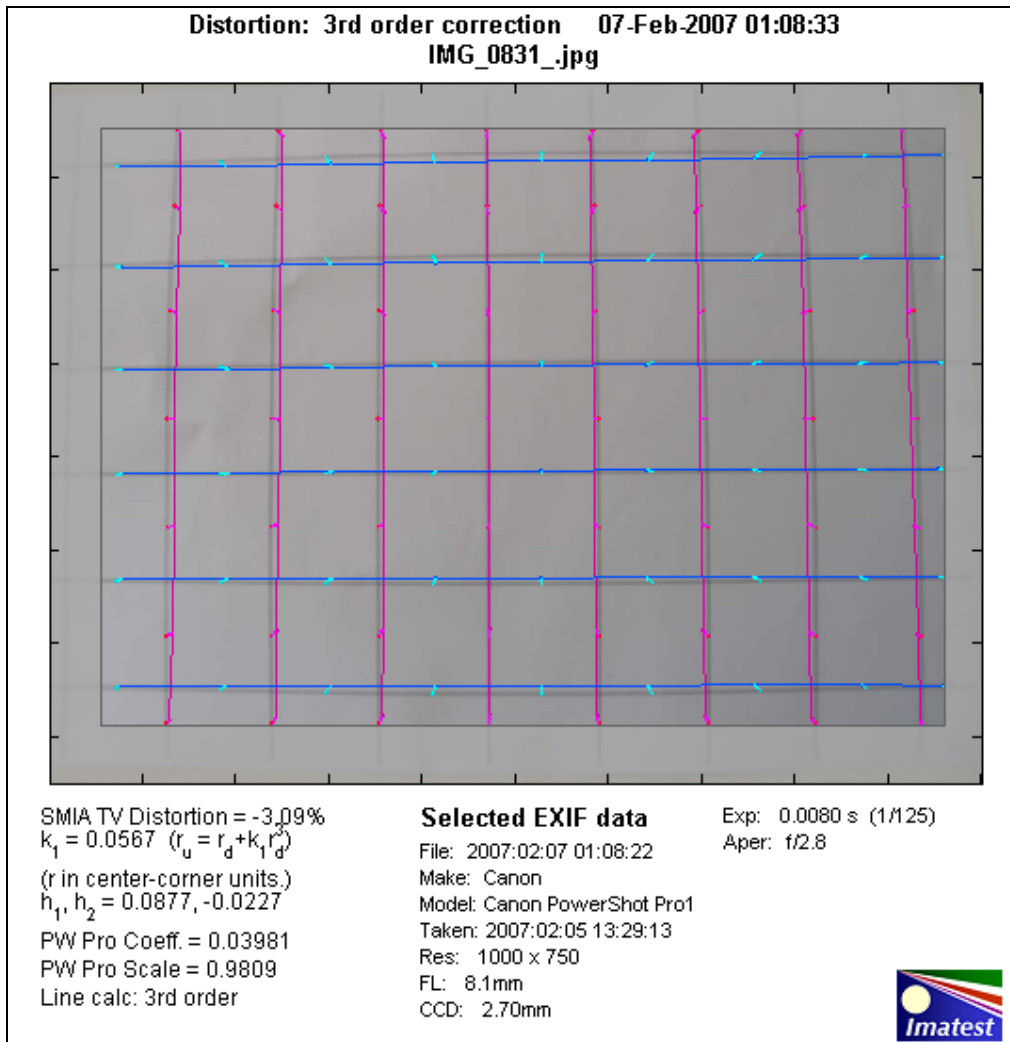
Για να μετρήσει κανείς την ακτινική διαστρόφη μέσω του *Imatest™ Distortion* θα πρέπει να χρησιμοποιήσει έναν τετραγωνικό κάρναβο από εκείνους που προσφέρει το πρόγραμμα στην περιοχή του *Test Charts* (επόμενο σχήμα).



Εκτυπώνουμε τον κάρναβο, τον φωτογραφίζουμε με την ψηφιακή μηχανή και εισάγουμε την εικόνα στο *Imatest™ Distortion* για να υπολογιστεί η ακτινική διαστρόφη. Οι εικόνες πρέπει να είναι κατά το δυνατόν μετωπικές (αριστερά στο επόμενο σχήμα) και όχι με έντονες στροφές (δεξιά στο επόμενο σχήμα).



Η διαδικασία εκτίμησης της διαστρόφης είναι αυτόματη. Το πρόγραμμα εντοπίζει τις κορυφές του κάρναβου και βάσει αυτών προσδιορίζει την διαστρόφη. Δεν εξηγείται πώς γίνεται αυτό, κατά πάσα πιθανότητα όμως στηρίζεται στην διαδικασία παρεμβολής ευθειών στα συνειθιακά σημεία. Μετά από αυτό εμφανίζεται ένα παράθυρο όπως το επόμενο. Στο αποτέλεσμα εμφανίζονται και τα διανύσματα της διόρθωσης της διαστρόφης (ανοιχτόχρωμα βελάκια).



Στα αποτελέσματα, εκτός από τα δεδομένα της λήψης (στοιχεία μηχανής, εστιακή απόσταση κ.λπ.) παρουσιάζονται ορισμένες διαφορετικές εκφράσεις της ακτινικής διαστρόφης. Οι πιο ενδιαφέρουσες είναι οι ακόλουθες δύο:

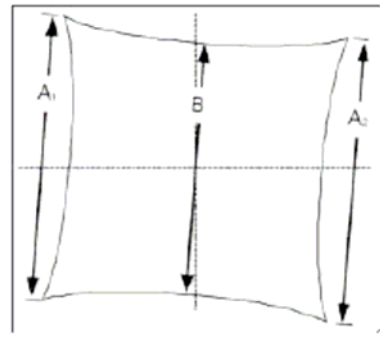
- Συντελεστής k_1 του πολωνύμου 3^{ου} βαθμού και συντελεστές h_1, h_2 του πολωνύμου 5^{ου} βαθμού. Αυτοί οι συντελεστές ενδιαφέρουν την φωτογραμμετρία. Υπογραμμίζεται ότι υπάρχει περίπτωση η εικόνα να είναι πιο μεγάλη σε όγκο από όσο μπορεί να χειριστεί το λογισμικό. Στην περίπτωση αυτή καλείται ο χρήστης να μειώσει την χωρική ανάλυση της εικόνας. Για να μην υπάρξει πρόβλημα, το Imatest δίνει τις κανονικοποιημένες τιμές συντελεστών, δηλαδή τιμές ανηγμένες στο μήκος της ημιδιαγωνίου της εικόνας. Έτσι, εάν r_{max} (σε μονάδες pixel) είναι η ημιδιαγώνιος της αρχικής εικόνας, η φωτογραμμετρική τιμή k_1' του συντελεστή του πολωνύμου 3^{ου} βαθμού είναι:

$$k'_1 = -\frac{k_1}{r_{\max}^2}$$

Αντίστοιχα συμβαίνει με το h_1 (το h_2 πρέπει να διαρεθεί με την 4^η δύναμη του r_{\max}).

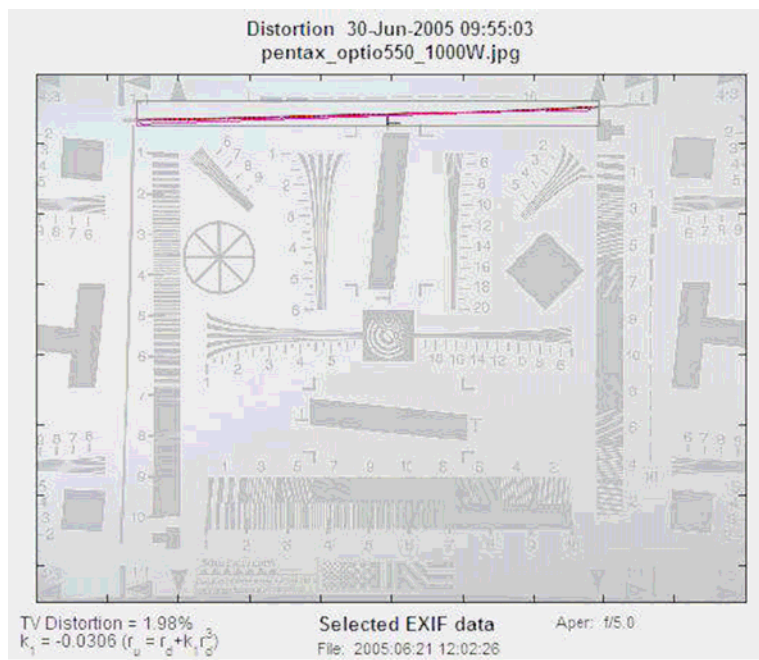
- Ακόμα, το Imatest δίνει μία προσθετη εκτίμηση που αναφέρεται στην λεγόμενη TV Distortion. Βάσει και του σχήματος δεξιά όπου φαίνονται τα A_1 , A_2 και B , αυτή υπολογίζεται ως:

$\text{SMIA TV Distortion} = 100(A-B)/B$ $A = (A_1 + A_2)/2$
--



Η “TV Distortion” χρησιμοποιείται γιατί είναι απλή και εύκολο να οπτικοποιηθεί.

Τέλος, σε περίπτωση που ζητείται ένας γρήγορος υπολογισμός της ακτινικής διαστρωφής μπορεί κανείς να την υπολογίσει από τον στόχο *ISO 12233*. Εκεί υπάρχουν δυο γραμμές οι οποίες επαρκούν για τον υπολογισμό, αλλά αυτός δεν είναι βέβαια ο βέλτιστος τρόπος υπολογισμού της διαστρωφής και τα αποτελέσματα θα δώσουν απλώς μία γενική εικόνα της ακτινικής διαστρωφής.



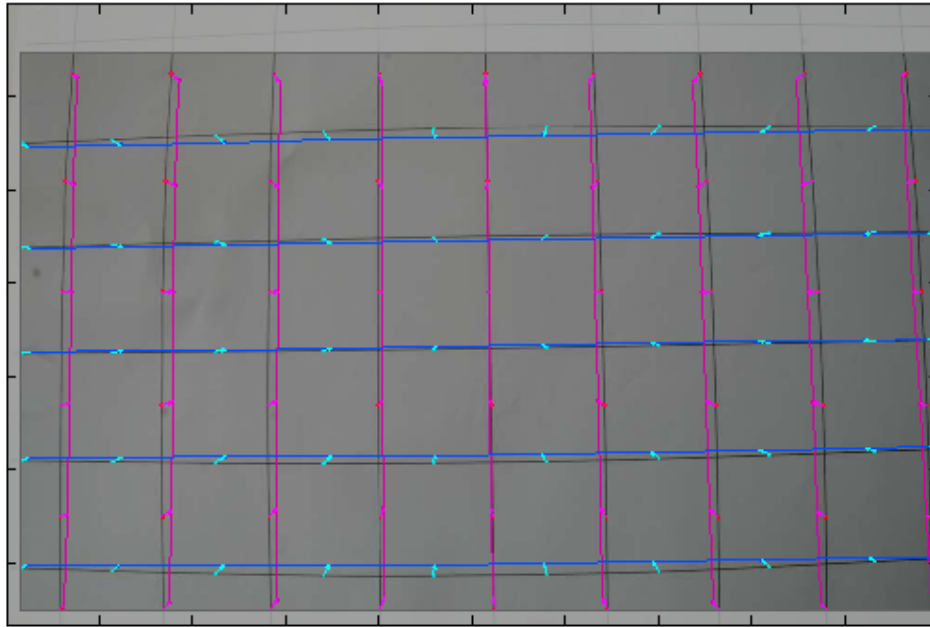
Εκτιμήσεις ακτινικής διαστροφής διαφορετικών φακών

Γενικά, το Imatest παρέχει εργαλεία για αυτό που θα ονόμαζε κανείς “ποιοτική αξιολόγηση” φακών. Δεδομένου ότι η ακτινική διαστροφή είναι ουσιαστικά η μόνη γεωμετρική παραμόρφωση που αντιμετωπίζεται στο πρόγραμμα Imatest, θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνουν και ορισμένες πειραματικές εφαρμογές προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση του λογισμικού απέναντι σε μια δοκιμασμένη φωτογραμμετρική τεχνική προσδιορισμού της διαστροφής. Έτσι, έγιναν λήψεις του εκτυπωμένου καννάβου – βάσει και των οδηγιών (φωτισμού κ.λπ.) που δίνει το πρόγραμμα – σε δύο διαφορετικές εστιακές αποστάσεις με τους φακούς των ακόλουθων τριών ψηφιακών μηχανών:

- **Canon EOS-1D Mark II** (φωτοευαίσθητη επιφάνεια 36 x 24 mm²)
 - 1) f = 24 mm
 - 2) f = 85 mm
- **Canon EOS 400D Digital** (φωτοευαίσθητη επιφάνεια 22.2 x 14.8 mm²)
 - 1) f = 18 mm (ισοδύναμο f = 29 mm για μηχανή 35 mm)
 - 2) f = 55 mm (ισοδύναμο f = 88 mm για μηχανή 35 mm)
- **Canon Power Shot Pro 1** (φωτοευαίσθητη επιφάνεια 8.8 x 6.6 mm²)
 - 1) f = 8.1 mm (ισοδύναμο f = 33 mm για μηχανή 35 mm)
 - 2) f = 13.6 mm (ισοδύναμο f = 55 mm για μηχανή 35 mm)

Τα αποτελέσματα φαίνονται στις εκόνες που ακολουθούν.

Distortion: 3rd order correction 06-Feb-2007 22:24:18
W8M2419.jpg



SMIA TV Distortion = -3.49%
 $k_1 = 0.0589$ ($r_u = r_d + k_1 r_d^3$)
(r in center-corner units.)
 $h_1, h_2 = 0.0099, 0.044$
PW Pro Coeff. = 0.04013
PW Pro Scale = 0.9834
Line calc: 3rd order

Selected EXIF data

File: 2007:02:06 22:20:06
Make: Canon
Model: Canon EOS-1D Mark II
Taken: 2007:02:05 13:28:38
Res: 1000 x 667
FL: 24.0mm
CCD: 8.80mm

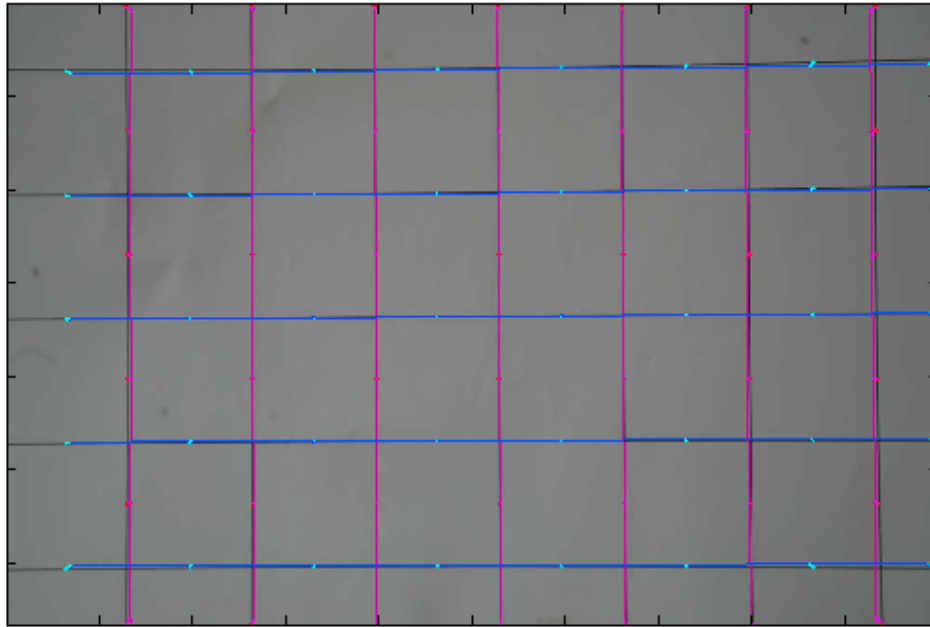
Exp: 0.0100 s (1/100)

Aper: f/6.3

ISO: 100



Distortion: 3rd order correction 07-Feb-2007 01:00:31
W8M2420.jpg



SMIA TV Distortion = 1.26%
 $k_1 = -0.0183$ ($r_u = r_d + k_1 r_d^3$)
(r in center-corner units.)
 $h_1, h_2 = -0.0294, 0.0106$
PW Pro Coeff. = -0.02394
PW Pro Scale = 1.019
Line calc: 3rd order

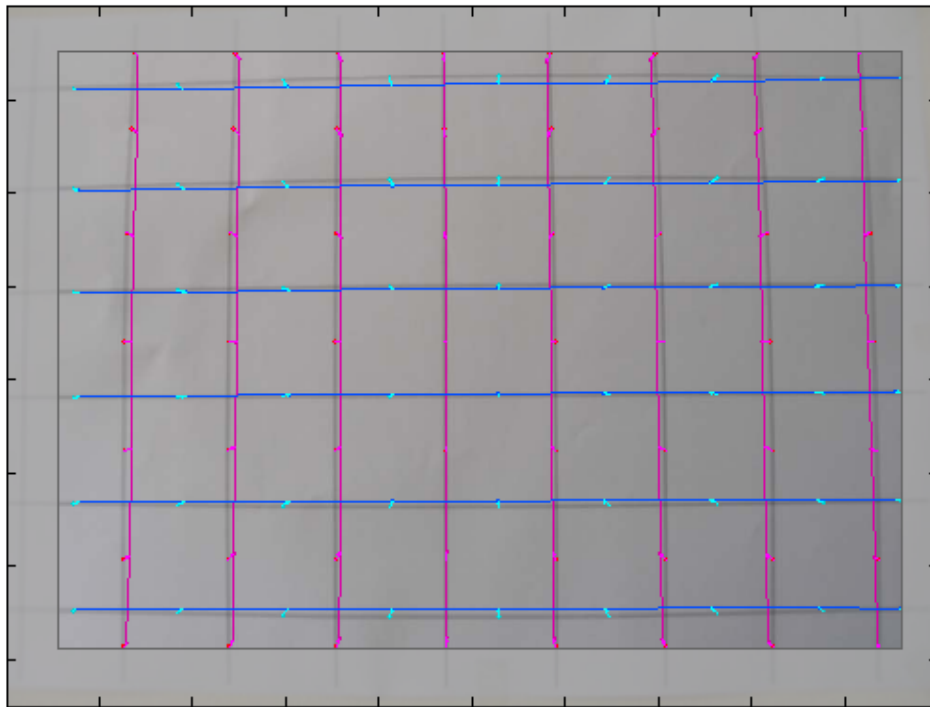
Selected EXIF data

File: 2007:02:07 01:00:25
Make: Canon
Model: Canon EOS-1D Mark II
Taken: 2007:02:05 13:29:17
Res: 1000 x 667
FL: 85.0mm
CCD: 8.80mm

Exp: 0.0080 s (1/125)
Aper: f/5.6
ISO: 100



Distortion: 3rd order correction 07-Feb-2007 01:08:33
IMG_0831_.jpg



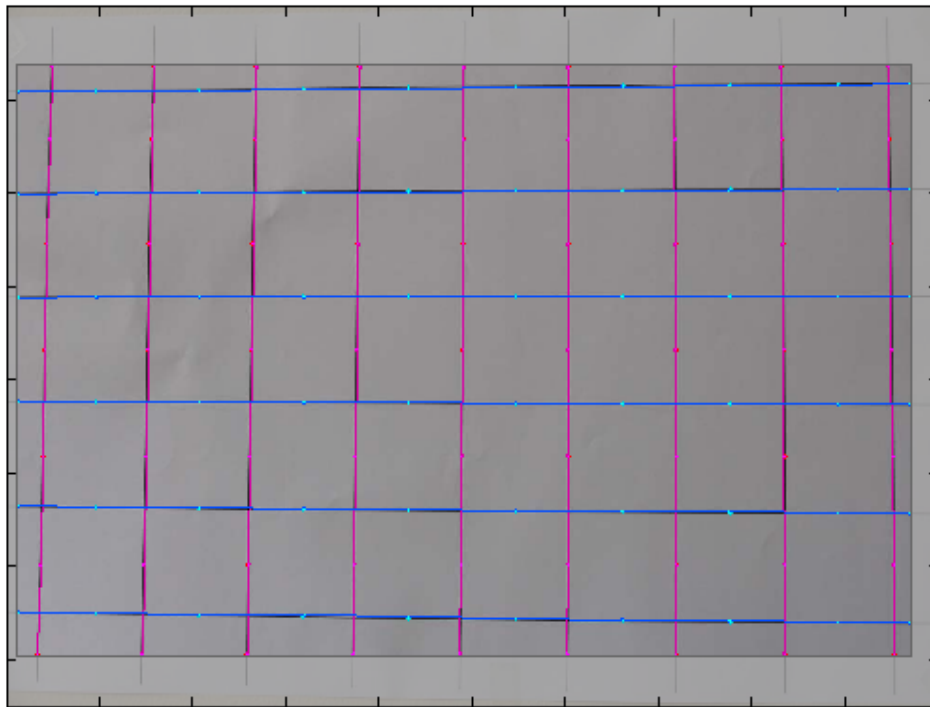
SMIA TV Distortion = -3.09%
 $k_1 = 0.0567$ ($r_u = r_d + k_1 r_d^3$)
(r in center-corner units.)
 $h_1, h_2 = 0.0877, -0.0227$
PW Pro Coeff. = 0.03981
PW Pro Scale = 0.9809
Line calc: 3rd order

Selected EXIF data
File: 2007:02:07 01:08:22
Make: Canon
Model: Canon PowerShot Pro1
Taken: 2007:02:05 13:29:13
Res: 1000 x 750
FL: 8.1mm
CCD: 2.70mm

Exp: 0.0080 s (1/125)
Aper: f/2.8



Distortion: 3rd order correction 07-Feb-2007 01:09:48
IMG_0834_.jpg



SMIA TV Distortion = -0.509%
 $k_1 = 0.0085$ ($r_u = r_d + k_1 r_d^3$)
(r in center-corner units.)
 $h_1, h_2 = 0.00661, 0.00352$
PW Pro Coeff. = 0.01588
PW Pro Scale = 0.997
Line calc: 3rd order

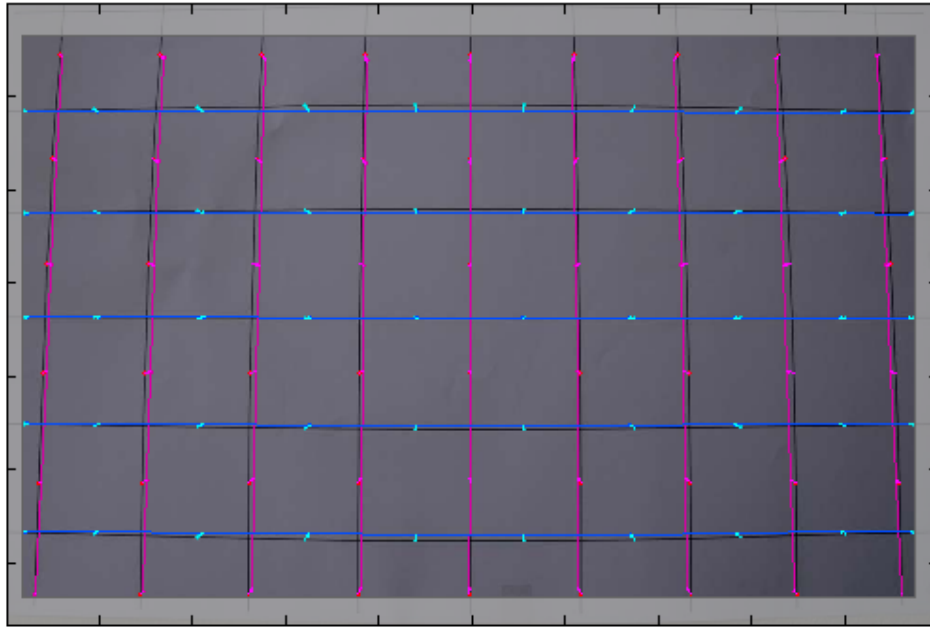
Selected EXIF data

File: 2007:02:07 01:09:44
Make: Canon
Model: Canon PowerShot Pro1
Taken: 2007:02:05 13:32:46
Res: 1000 x 750
FL: 13.6mm
CCD: 2.70mm

Exp: 0.0080 s (1/125)
Aper: f/3.2



Distortion: 3rd order correction 07-Feb-2007 01:03:18
IMG_1405_.jpg



SMIA TV Distortion = -2.4%
 $k_1 = 0.039$ ($r_u = r_d + k_1 r_d^3$)
(r in center-corner units.)
 $h_1, h_2 = -0.000736, 0.0355$
PW Pro Coeff. = 0.03313
PW Pro Scale = 0.9887
Line calc: 3rd order

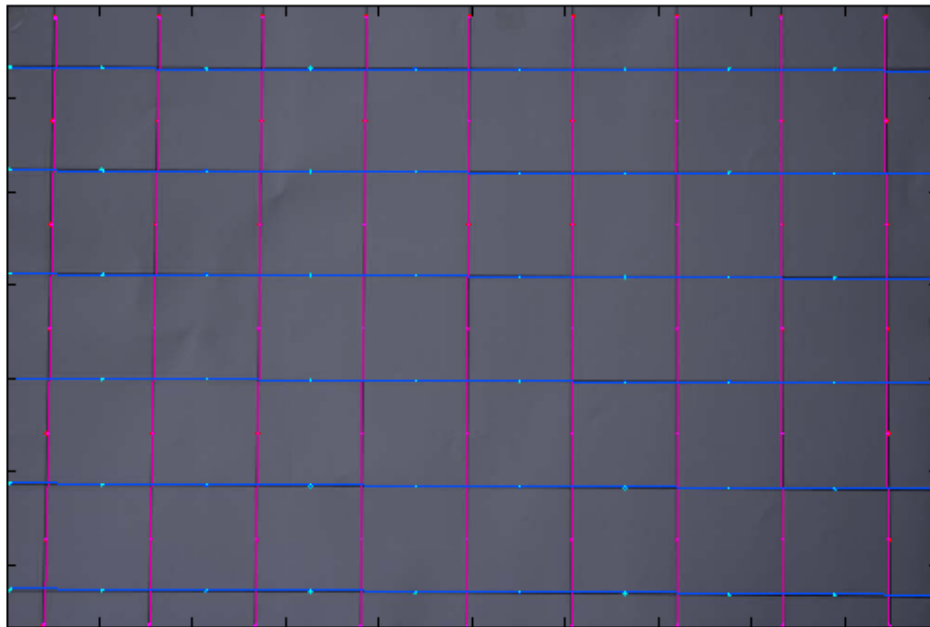
Selected EXIF data

File: 2007:02:07 01:02:36
Make: Canon
Model: Canon EOS 400D DIGITAL
Taken: 2007:02:05 13:08:17
Res: 1000 x 667
FL: 18.0mm
CCD: 5.73mm

Exp: 0.013 s (1/80)
Aper: f/6.3
ISO: 100



Distortion: 3rd order correction 07-Feb-2007 01:05:32
IMG_1406_.jpg



SMIA TV Distortion = 0.37%
 $k_1 = -0.00556$ ($r_u = r_d + k_1 r_d^3$)
(r in center-corner units.)
 $h_1, h_2 = -0.00959, 0.00364$
PW Pro Coeff = -0.01306
PW Pro Scale = 1.006
Line calc: 3rd order

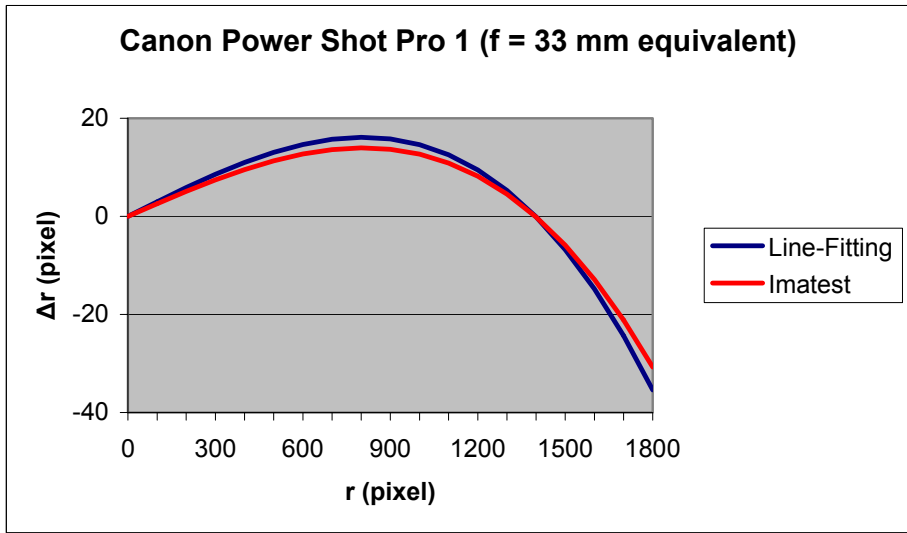
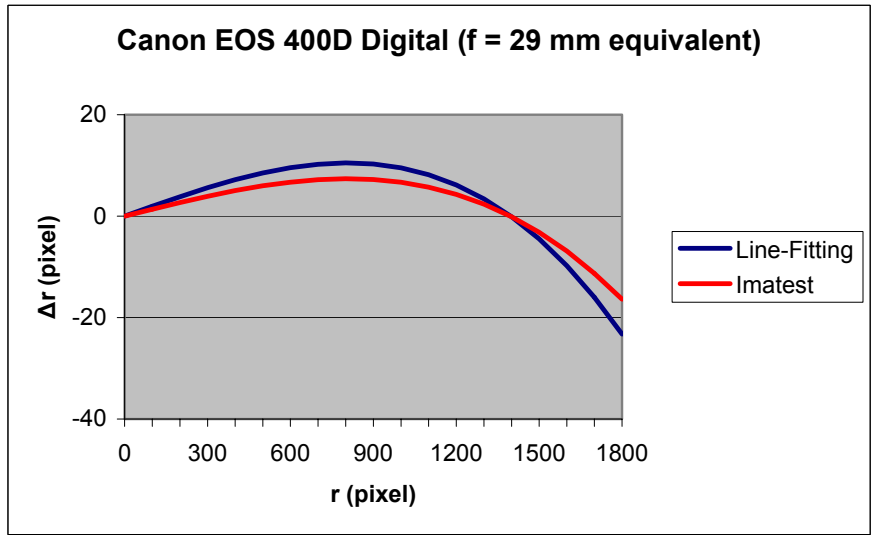
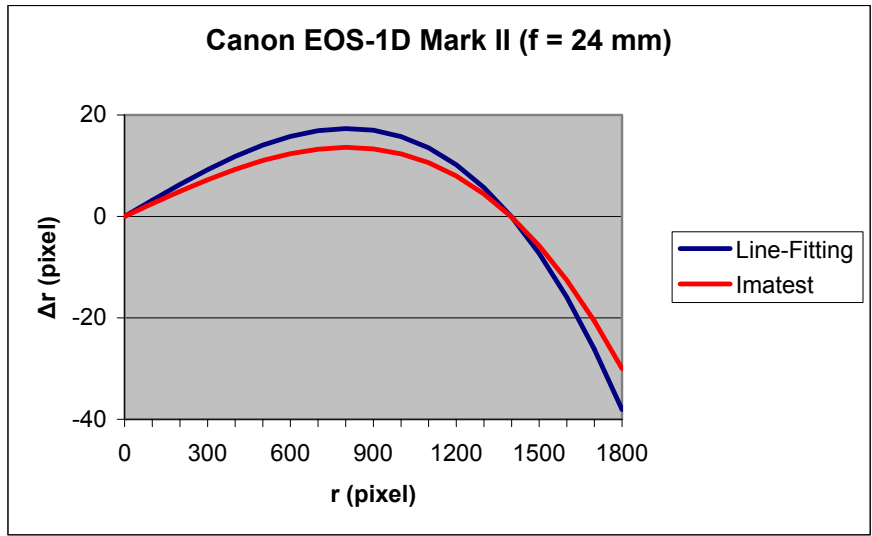
Selected EXIF data

File: 2007:02:07 01:05:27
Make: Canon
Model: Canon EOS 400D DIGITAL
Taken: 2007:02:05 13:10:49
Res: 1000 x 667
FL: 55.0mm
CCD: 5.73mm

Exp: 0.013 s (1/80)
Aper: f/6.3
ISO: 100



Από τα δεδομένα αυτά εκτιμάται ότι, γενικά, η αυτόματη διαδικασία υπολογισμού της ακτινικής διαστρωφής στο Imatest δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, όπως φαίνεται από τις απεικονιζόμενες ευθείες. Παρατηρείται ότι η ακτινική διαστρωφή προκύπτει πράγματι μεγαλύτερη στις μικρές εστιακές αποστάσεις, όπου το μέγεθος της διαστρωφής είναι ιδιαίτερα σημαντικό. Για να αξιολογηθούν καλύτερα αυτά τα αποτελέσματα έγινε σύγκριση με ανεξάρτητη εκτίμηση διαστρωφής από τις ίδιες εικόνες. Χρησιμοποιήθηκε η ευρυγώνια λήψη από κάθε μηχανή και η διαστρωφή υπολογίστηκε με αλγόριθμο παρεμβολής ευθείας, όπως αυτό περιγράφεται σε παλαιότερη Διπλωματική Εργασία (Γ. Μουντράκης, *Προσδιορισμός και Διόρθωση της Ακτινικής Διαστρωφής Υπερευρυγώνιων Φακών από Λήψεις Ευθειογενών Αντικειμένων*, ΤΑΤΜ ΕΜΠ, 1998). Οι καμπύλες της διαστρωφής βαθμονομήθηκαν με τον τρόπο που περιγράφεται εκεί, και τα αποτελέσματα φαίνονται στα επόμενα διαγράμματα.



Από την σύγκριση φαίνεται ότι τα αποτελέσματα από την αυτόματη διαδικασία στο Imatest υποτιμούν ελαφρώς, αλλά με τρόπο συστηματικό, το μέγεθος της ακτινικής διαστρόφης του φακού σε σχέση με την παρεμβολή ευθειών. Γενικά, πάντως, περιγράφουν το ίδιο φαινόμενο, και επομένως θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν σε πολλές φωτογραμμετρικές εφαρμογές όπου δεν χρειάζεται η μέγιστη δυνατή ακρίβεια.

Κεφάλαιο 7^ο: Συμπεράσματα

Είναι δυνατή η αξιολόγηση και σύγκριση ψηφιακών μηχανών από έναν απλό χρήστη; Ναι, είναι δυνατή, αλλά πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν οι περιορισμοί μιας τέτοιας εξέτασης. Αντίθετα με αυτό που θα περίμενε κανείς, τα μέσα που προσφέρονται σχεδόν χωρίς κόστος δεν αποτελούν περιορισμό σε μια τέτοια προσπάθεια.

- Το λογισμικό Imatest είναι ευρέως αποδεκτό στην κοινότητα του Διαδικτύου. Όλοι οι ιστότοποι αναφέρονται στα αποτελέσματά του ακόμα και εαν εκφράζουν τις αμφιβολίες τους. Τα αποτελέσματά του συμπίπτουν με την εμπειρική παρατήρηση των φωτογράφων. Οι εργασίες που έχουν πραγματοποιηθεί με το συγκεκριμένο λογισμικό έχουν ξεφύγει από τα όρια της Φωτογραφίας. Τέλος εαν η MTF50 (κατα τη γνώμη μας είναι ικανοποιητική ένδειξη και εξηγείται στη θεωρία) αποτελεί αντικείμενο διαφωνίας για το αν αντιπροσωπεύει την αντιληπτή οξύτητα, αυτό δεν αλλάζει το γεγονός ότι το Imatest είναι ένα λογισμικό γνωστό για το ότι παράγει αξιόπιστες καμπύλες MTF.
- Οι στόχοι ISO-12233 είναι φωτογραφημένοι υπό τις ίδιες συνθήκες σε εργαστήρια και υπάρχουν προδιαγραφές λήψης των συγκεκριμένων εικόνων που τηρούνται. Το “κατέβασμα” και η αποθήκευση των εικόνων των στόχων δεν επηρεάζει την ποιότητα της εικόνας (δεν υπάρχει συμπίεση).

Οι περιορισμοί έχουν να κάνουν με:

1. Την σε βάθος κατανόηση των εννοιών της φωτογραφίας και της ποιότητας εικόνας.
2. Την κατανόηση της επιρροής του κάθε παράγοντα ποιότητας της εικόνας στην ποιότητα εικόνας, και επίσης την αλληλεξάρτηση αυτών των παραγόντων.

Πρέπει, τέλος, να γνωρίζει κανείς ότι προσανατολίζεται στον κυριότερο παράγοντα ποιότητας εικόνας. Την ευκρίνεια (οξύτητα) της εικόνας. Υπολογίστηκε ακόμα και η βασική γεωμετρική παραμόρφωση. Οπότε τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής αποτελούν ένδειξη των πιο σημαντικών παραγόντων ποιότητας εικόνας (οι υπόλοιποι θα ήταν το εύρος δυναμικού πεδίου, ο θόρυβος, η αναπαραγωγή τόνου, το “βινιετάρισμα” και η χρωματική εκτροπή).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΛΕΞΙΚΟ

Λεξικό ψηφιακών όρων

Πηγή: (25) Λεξικό ψηφιακών όρων

<http://www.photo.gr/main.php?showpage1=dlexicon.php>

A/D converter	Αναλογικοψηφιακός μετατροπέας. Συνήθως είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (chip) που μετατρέπει αναλογικό σήμα σε ψηφιακό. Υπάρχει στα scanner, ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, κάρτες οθόνης κλπ.
Aliasing	Το φαινόμενο με τα "δόντια" που παρατηρείται σε καμπύλες και ευθείες υπό γωνία λόγω διαφορών κοντράστ σε γειτονικά pixel.
Analog	Αναλογικό. Σήμα συνεχώς μεταβαλλόμενο, αντίθετα με το ψηφιακό που τελικά αναλύεται σε δυαδικές τιμές.
Banding	Ψευδοσολάρισμα. Φαινόμενο που παρατηρείται, όταν προσπαθούμε να αποδώσουμε τους τόνους με λιγότερο βάθος χρώματος από 24bit. Είναι ορατό ως σκαλοπάτια στα ντεγκραντέ ή όχι συνεχής διαβάθμιση χρώματος.
Binary number	Δυαδικός αριθμός. Αριθμός που αποτελείται από μια ακολουθία ψηφίων 1 και 0. Κάθε επιπλέον ψηφίο (bit) διπλασιάζει τους πιθανούς συνδυασμούς. Για παράδειγμα: δύο bit παράγουν τους εξής συνδυασμούς: 00, 01, 10, 11. Τρία bit παράγουν τους συνδυασμούς 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111. Κάθε φυσικός αριθμός μπορεί να αναπαρασταθεί από τον αντίστοιχο δυαδικό. Επειδή το 1 και το 0 αντιστοιχούν στις καταστάσεις των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων (ανοικτό - κλειστό) οι δυαδικοί αριθμοί είναι κατάλληλοι για να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές σε επίπεδο γλώσσας μηχανής που "μιλάει" κατευθείαν στον υπολογιστή αποκλειστικά με δυαδικές ακολουθίες 0 και 1.
Bit	Από τα αρχικά των αγγλικών λέξεων binary digit. Η μικρότερη μονάδα πληροφορίας στον υπολογιστή. Είναι είτε 1 είτε 0. Αντιπροσωπεύει δε τις δύο εναλλακτικές καταστάσεις των ηλεκτρικών κυκλωμάτων (ανοικτό - κλειστό). Τα προγράμματα των ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι γραμμένα σε διάφορες γλώσσες υψηλού επιπέδου (C++, Gobol, Visual Basic, Delphi κλπ.) που στον πυρήνα τους ανάγονται γλώσσα μηχανής, υπάρχουν δε ειδικά <input type="checkbox"/> μεταφραστικά <input type="checkbox"/> προγράμματα (compilers) που αναλαμβάνουν τη μετατροπή ανάμεσα στη γλώσσα υψηλού επιπέδου και την γλώσσα μηχανής.
Bit depth	Ο αριθμός των bit που αντιπροσωπεύουν την τονική και χρωματική τιμή κάθε pixel.

Bitmap	Χαρτογραφικό αρχείο. Αρχείο εικόνας που περιγράφεται σημείο προς σημείο με μια συγκεκριμένη ακολουθία bits. Είναι αντίθετο από τα διανυσματικά (vector) αρχεία εικόνας, τα οποία περιγράφονται μαθηματικά.
Blooming	Φαινόμενο παρασίτων στην ψηφιακή εικόνα που προκαλείται από διαρροή ρεύματος ανάμεσα στα στοιχεία CCD και οφείλεται σε μεγάλη υπερέκθεση. Αποτέλεσμα έχει την εμφάνιση <input type="checkbox"/> καμμένων <input type="checkbox"/> σημείων και ψευδοϊριδισμών στις περιοχές της εικόνας γύρω από ισχυρές φωτιστικές πηγές.
bmp	Τυποποίηση για έγχρωμες εικόνες σε Windows. Τα γράμματα της κατάληξης του ονόματος του αρχείου προέρχονται από την ορολογία Bit Mapped, που σημαίνει αντιστοιχία εικονοστοιχείου και byte. Είναι αρχεία ανεξάρτητα της συσκευής (device independent), μπορούν δηλαδή να 'ανοιχτούν' χωρίς πρόβλημα από διαφορετικού τύπου λογισμικό χωρίς αλλαγές.
Byte	Δυαδικός αριθμός 8bit, από 0 ως 255 (28). Χρησιμοποιείται για μέτρηση του μεγέθους των αρχείων. 1 Kilobyte περιέχει 1.024 bytes και ένα Megabyte 1.024 Kilobytes ή 1.048.576 bytes.
CCD	Από τα αρχικά των λέξεων Charged Couple Device. Φωτοευαίσθητα στοιχεία που μετατρέπουν σε ηλεκτρικό φορτίο το φως. Χρησιμοποιούνται στις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και τα scanner. Ακόμη βρίσκουν εφαρμογές στους αισθητήρες των autofocus reflex και στα camcorder.
CD ROM	Από τα αρχικά των λέξεων Compact Disk Read Only Memory. Περιφερειακό μέσο αποθήκευσης ψηφιακών δεδομένων παρόμοιο σε αρχιτεκτονική με το CD Audio που υπακούει στο πρότυπο της Κίτρινης Βίβλου (Yellow Book) όπως την τυποποίησαν αρχικά οι <input type="checkbox"/> μαμάδες <input type="checkbox"/> εταιρίες Philips και Sony. Μετά ήλθε το CD ROM Mode II για συμπιεσμένα ηχητικά και οπτικά/ video στοιχεία και το CD ROM XA (Εκτεταμένης Αρχιτεκτονικής). Η μεγάλη χωρητικότητα του CD ROM (πάνω από 650 MB) το κάνει κατάλληλο για αποθήκευση ψηφιακών εικόνων.
CIE	"Commission Internationale d' Eclairage". Διεθνής οργανισμός που μελετά και επιβάλλει χρωματικά πρότυπα και συστήματα διαχείρισης χρώματος.
Clipping	Ψαλιδισμός. Η αποκοπή ορισμένων τόνων είτε πιο ανοικτών από ένα ορισμένο επίπεδο και επάνω που γίνονται μαύροι είτε από ένα επίπεδο και κάτω που υποβιβάζονται στο μαύρο. Προκαλεί απώλεια λεπτομέρειας. Μπορεί να συμβαίνει και σε ένα μόνο channel.
Color model	Χρωματικό πρότυπο. Συχνά αποδίδεται και με τους όρους color

	space ή color mode, και υποδηλώνει τη μέθοδο απόδοσης των επιμέρους χρωμάτων. Στο RGB (προσθετικό μοντέλο) επιπλέον προσθήκη μονάδων αυξάνει φωτεινότητα. Στο αφαιρετικό CMYK συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο, δηλ. όταν αυξάνουμε την συμμετοχή των χρωστικών, το αποτέλεσμα είναι πιο σκούρο, επειδή ακριβώς μεγαλώνει η ποσότητα του μελανιού.
Compression	Συμπίεση. Τεχνική, η οποία μειώνει το χώρο που καταλαμβάνουν τα δεδομένα στο σκληρό δίσκο ή σε άλλα αποθηκευτικά μέσα. Διακρίνουμε ανάμεσα στις μη απωλεστικές (non lossy) και τις απωλεστικές (lossy) μεθόδους συμπίεσης. Οι πρώτες ανακτούν ολόκληρο το πληροφοριακό περιεχόμενο μετά την αποσυμπίεση και είναι κατάλληλες για αρχεία προγραμμάτων, κείμενα, DTP κλπ. Οι απωλεστικές μέθοδοι εφαρμόζονται μόνο σε αρχεία εικόνων ή ήχων επιφέροντας μια υπαρκτή μεν αλλά όχι ενοχλητική υποβάθμιση της ποιότητας. Κλασικά παραδείγματα είναι το zip, lzw, arj για την πρώτη κατηγορία και το jpg για την δεύτερη.
CPU	Κεντρικός μικροεπεξεργαστής. Από τα αρχικά των λέξεων Central Processing Unit. Το βασικό microchip στην καρδιά του υπολογιστή. Εκτελεί πράξεις και ενσωματώνει ορισμένη τεχνητή λογική. Διακρίνουμε τους RISC (reduced instruction set computer) και CISC (Complete Instruction Set Computer) επεξεργαστές ανάλογα με το σετ εντολών που χρησιμοποιούν και το είδος της αρχιτεκτονικής τους.
CMYK	Από τα αρχικά των λέξεων Cyan, magenta, yellow, black. Τα τρία χρώματα του αφαιρετικού συστήματος (κυανό, ματζέντα και κίτρινο) μαζί με το μαύρο. Η ανάμειξη των τριών θεωρητικά παρέχει το μαύρο, στην πράξη όμως χρειάζεται προσθήκη μαύρου για καλύτερο κοντράστ. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται εκτός από τους έγχρωμους εκτυπωτές σκοτεινού θαλάμου και τα minilab στην λιθογραφική εκτύπωση και στην ψηφιακή έξοδο (εκτύπωση σε inkjet, εικονοθέτες κλπ.)
Dark current φαινόμενο	Παρασιτικά ηλεκτρικά φορτία που δημιουργούνται στους αισθητήρες CCD όταν δεν εκτίθεται σε φωτεινή ακτινοβολία, προκαλώντας θόρυβο υπό μορφή στιγμάτων στην εικόνα ή λάθος χρώμα σε σημεία.
Density range	Εύρος Πυκνότητας. Η μέγιστη πυκνότητα που μπορεί να σκανάρει ένα slide scanner. Όσο μεγαλύτερη είναι τόσο καλύτερα αποδίδονται οι λεπτομέρειες στις σκιερές περιοχές των διαφανειών. Για καλή ποιότητα η Dmax πρέπει οπωσδήποτε να υπερβαίνει το 2,4D. Τα πιο ακριβά scanner με CCD φθάνουν ως Dmax 4.0. Τα scanner με φωτοπολλαπλασιαστές λόγω διαφορετικής αρχής λειτουργίας αποδίδουν και με χαμηλότερο Dmax.

Descreen	Αφαίρεση του moire δηλ. των έντονων φαινομένων ψαροκόκκαλου ή άλλων ενοχλητικών pattern που παρατηρούνται στο σκανάρισμα λιθογραφικών εικόνων. Επιτυγχάνεται με μείωση του νεταρίσματος ή μερικές φορές με ολοκληρωτική ανασύσταση της εικόνας με ειδικούς αλγορίθμους.
DIN	Προδιαγραφή ποιότητας σύμφωνα με τα στάνταρ Deutsche Industrie Norm. Σε μονάδες DIN εκφράζεται η ισοδύναμη ευαισθησία του αισθητήρα CCD. Πρόκειται για λογαριθμική κλίμακα, δηλ. διπλασιάζεται, αν προσθέσουμε τον αριθμό 3.
Dmax	Το σημείο μέγιστης πυκνότητας (αδιαφάνειας) σε μια εικόνα.
Dmin	Το σημείο ελάχιστης πυκνότητας στην εικόνα.
Dot gain.	Κέρδος κουκίδας. Η επίδραση του μεγέθους των κουκίδων του ράστερ προκειμένου να αντισταθμιστεί η διάχυση του μελανιού κατά την εκτύπωση. Έτσι το dot gain πρέπει να είναι μικρότερο στην τυπογραφική εκτύπωση παρά σε άλλες μεθόδους (π.χ. dye sublimation). Τέτοιες ρυθμίσεις ενσωματώνονται στα δημοφιλή προγράμματα επεξεργασίας εικόνας και επιδρούν στην μετατροπή των αρχείων RGB σε CMYK.
Downsample.	Υποδειγματοληψία. Η μείωση της ανάλυσης μιας εικόνας με αφαίρεση pixel. Πραγματοποιείται με την βοήθεια ειδικών αλγορίθμων.
Dynamic range.	Δυναμική περιοχή. Το μέγιστο της τονικότητας (το εύρος από τους ανοικτούς ως τους σκούρους τόνους) που ένα μέσο σάρωσης μπορεί να σαρώσει και αντίστοιχα ένας printer μπορεί να εκτυπώσει.
EPS	Encapsulated PostScript. Format αρχείου που οφείλεται στην Adobe. Είναι συμβατό με DTP προγράμματα και περιέχει ένα preview αρχείο χαμηλής ανάλυσης.
Exposure latitude.	Εύρος έκθεσης. Όρος δανεισμένος από την συμβατική φωτογραφία, αφορά την ιδιότητα του φιλμ να <input type="checkbox"/> ανέχεται <input type="checkbox"/> σφάλματα υπο/υπερέκθεσης, διατηρώντας αποδεκτή απόδοση της ωφέλιμης πυκνότητας. Οι αισθητήρες CCD συγχωρούν αποκλίσεις της τάξης των ± 2 stop, επειδή διαθέτουν πολύ ικανοποιητικά χαρακτηριστικά δυναμικής περιοχής.
Gamma	Η σχέση ανάμεσα σε στοιχεία εισόδου μιας ψηφιοποιημένης εικόνας και στοιχείων απεικόνισης σε μόνιτορ. Ουσιαστικά αναφέρεται στο κοντράστ της απεικόνισης. Επειδή το ανθρώπινο μάτι παρουσιάζει μικρότερη ευαισθησία σε αυξομειώσεις φωτεινότητας σε υψηλά επίπεδα φωτισμού παρά σε χαμηλά και τα μόνιτορ αντιδρούν διαφορετικά, οι διασθώσεις του gamma ακριβώς ρυθμίζουν αυτές τις

	ασυμβατότητες.
Gamut	Γκάμα. Το σύνολο των τόνων που μπορούν να καταγραφούν ή αναπαραχθούν από συγκεκριμένη συσκευή εισόδου - εξόδου ή χρωστική.
Gigabyte.	Μια μονάδα αυτού του μεγέθους αντιστοιχεί με 1.024Megabytes ή 1.048,576 kilobytes δεδομένων.
gif	Ο τύπος αυτός αφορά στις εικόνες που είναι κωδικοποιημένες σύμφωνα με την Graphics Interchange Format, μία τυποποίηση για έγχρωμες εικόνες που παρουσιάζονται ή μεταφέρονται σε δικτυακές
Grey level.	Επίπεδο ή διαβάθμιση του γκρι. Η μικρότερη απόκλιση λευκού/σκούρου σε μια ασπρόμαυρη εικόνα που μπορεί να διακρίνει το ανθρώπινο μάτι. Το μέγιστο είναι 256 επίπεδα (ή σκαλοπάτια) του γκρι.
Greyscale.	Διεθνής όρος που αναφέρεται στις ασπρόμαυρες εικόνες, διακρίνοντας αυτές από τις έγχρωμες ή τις γραμμικές (line art).
Halftone.	Το αντίθετο του contone. Η προσομοίωση συνεχών "φωτογραφικών" τόνων στην τυπογραφική αναπαραγωγή με ραστερ δηλ. με κουκίδες διαφορετικών σχημάτων, χρωμάτων και διάταξης στην επιφάνεια του χαρτιού.
Highlight.	Φωτεινό σημείο.
Histogram.	Ιστόγραμμα. Διάγραμμα που απεικονίζει τις τονικές κλίμακες ως σειρά κάθετων γραμμώσεων.
Hue.	Χροιά. Το χρώμα ενός αντικειμένου όπως το αντιλαμβάνεται η ανθρώπινη όραση, με βάση τις συνιστώσες του συστήματος RGB.
Interpolation.	Η αύξηση του αριθμού των pixel σε μια ψηφιοποιημένη εικόνα μέσω software και όχι με σάρωση εξ αρχής. Έτσι η πληροφορία που προστίθεται δεν αντιστοιχεί σε πραγματικές λεπτομέρειες στην εικόνα αλλά είναι τεχνητή. Εξυπακούεται λοιπόν ότι η ποιότητα χειροτερεύει αν μεγαλώσουμε με τον τρόπο αυτό την ανάλυση.
ISO ευαισθησία.	Ισοδύναμη ευαισθησία του αισθητήρα CCD σύμφωνα με το πρότυπο (για φιλμ) του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (International Standards Organization).
JPEG (Joint Photographic Expert Group)	Φορμά συμπιεσμένου φωτογραφικού αρχείου με μεταβλητό λόγο <input type="checkbox"/> απωλεστικής <input type="checkbox"/> συμπίεσης. Χρησιμοποιείται απ' όλα τα προγράμματα επεξεργασίας εικόνας και διαθέτει συμβατότητα με πλατφόρμα Mac & PC.

Line art	Η γραμμικό. Αρχείο με βάθος χρώματος 2bit που έχει τη δυνατότητα να καταλαβαίνει μόνο ανάμεσα στο άσπρο και το μαύρο (όπως κάνουν τα λιθογραφικά φιλμ). Στα προγράμματα σάρωσης συνήθως συμπεριλαμβάνεται ρύθμιση για το κατώφλι διαχωρισμού ανάμεσα στους τόνους δηλ. από πιο σημείο και μετά στην κλίμακα του γκρι.
Low Key	Το αντίθετο του hi key. Εικόνα στην οποία επικρατούν σκοτεινοί τόνοι.
LUT	Ένας προκαθορισμένος αριθμός χρωμάτων που χρησιμοποιείται σε μια εικόνα.
LZW	Είδος μη απωλεστικής συμπίεσης κατά Lempel - Ziv - Welch. Αποτελεί μέρος του φορμά TIFF.
Matrix	Δεν πρέπει να συγχέεται με τα matrix (πολυζωνικά) συστήματα φωτομέτρησης στις ρεφλέξ μηχανές και τα αντίστοιχα φωτοκύτταρα. Με τον όρο matrix εδώ περιγράφουμε τους μη γραμμικούς αισθητήρες των ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών. Πρόκειται για δισδιάστατες διατάξεις με διαφορετικές διαμορφώσεις είτε τυχαίας κατανομής είτε τριπλών διαδοχικών γραμμών με φίλτρα Matrix array
Moire	Ανεπιθύμητες διατάξεις pixel με κυματοειδή σχήματα που παρατηρούνται στα σκαναρισμένα από τυπωμένες με ράστερ εικόνες (δηλ. από λιθογραφικές αναπαραγωγές) και ενίοτε σε απεικόνιση monitor. Μουαρέ επίσης γίνεται αντιληπτό όταν δεν είναι σωστές οι συμπτώσεις των φιλμ των διαχωρισμών στο μοντάζ.
MPEG	Motion Picture Expert Group. Είδος συμπίεσης για video, audio και animation.
MTF	Modulation Transfer Function. Είδος μέτρησης που αφορά τις συνδυασμένες επιδόσεις φακού και αισθητήρα. Πραγματοποιείται φωτογραφίζοντας αλληπάλληλες μαύρες γραμμώσεις που εναλλάσσονται με ίσου πάχους λευκά κενά διαστήματα. Όσο πιο λεπτές γίνονται τόσο περισσότερο υπόκεινται σε φαινόμενα θόλωσης ώστε από ένα σημείο και μετά να μην είναι αντιληπτή η διαφορά γραμμής/λευκού διαστήματος. Η επίδοση MTF είναι ο αριθμός των ζευγών ανά χιλιοστό (lines/mm) που είναι εμφανείς όταν το κοντράστ μειώνεται κατ' ορισμένο ποσοστό.
Συχνότητα Nyquist	η υψηλότερη χωρική συχνότητα που μπορεί να κωδικοποιηθεί στην ψηφιακή εικόνα και η οποία συσχετίζεται με το μέγεθος των pixels
point spread function (PSF)	Περιγράφει την απόκριση ενός οπτικού συστήματος σε μια σημειακή πηγή ή ένα σημειακό αντικείμενο.

OCR	Οπτική αναγνώριση χαρακτήρων. Μέθοδος αναγνώρισης κειμένου με ανάλυση των επιμέρους χαρακτήρων ως σχημάτων που συσχετίζονται με συγκεκριμένα αλφαριθμητικά δεδομένα. Προηγείται η σάρωση του κειμένου σε γραμμικό αρχείο.
Optical Resolution	Οπτική ανάλυση. Η πραγματική ανάλυση του αισθητήρα CCD ενός scanner ή ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής, χωρίς τεχνητή επαύξηση μέσω software.
PCMCIA	Στάνταρ για κάρτες επέκτασης φορητών υπολογιστών που οφείλεται σε προδιαγραφές της Personal Computer Memory Card International Association. Αφορά κάρτες μνήμης, δικτύου, fax/modem, σκληρούς δίσκους κλπ.
PICT	Φορμά ψηφιακών εικόνων στην πλατφόρμα Macintosh.
Piezoelectric	Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο (η διαφορά τάσης σε ένα κρύσταλλο λόγω άσκησης πίεσης) αξιοποιείται σε μερικές φωτογραφικές μηχανές για την ακριβή τοποθέτηση των διατάξεων αισθητήρων CCD.
Pixel	Εικονοστοιχείο. Το ελάχιστο "μόριο" στην ψηφιακή εικόνα. Κάθε αρχείο ψηφιοποιημένης εικόνας αποτελείται από γειτονικά pixel σαν μωσαϊκό, που όταν τα παρατηρούμε από ορισμένη απόσταση δίνουν την εντύπωση του ενοποιημένου ειδώλου.
RAM	Random Access Memory. Μνήμη τυχαίας προσπέλασης. Ολοκληρωμένα κυκλώματα IC με δυνατότητα προσωρινής καταχώρησης δεδομένων που χάνονται όταν διακοπεί η παροχή τάσης. Οι σύγχρονες μνήμες βγαίνουν σε διάφορους τύπους και ταχύτητες. Πιο δημοφιλείς αυτή τη στιγμή είναι οι διαμορφώσεις μνήμης SDRAM σε αρθρώματα DIMM168 επαφών. Μνήμη RAM διαφορετικού τύπου χρησιμοποιούν οι κάρτες οθόνης.
Raster	Υποδηλώνει την κουκκίδα των διαχωρισμών τετραχρωμίας, δηλ. το μικρότερο ίχνος που μπορεί να καταγραφεί σε μια διαχωρισμένη λιθογραφική εικόνα.
Resampling	Επαναδειγματοληψία. Αύξηση ή μείωση του αριθμού των pixel μιας ψηφιοποιημένης εικόνας. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να μεγαλώσουμε ή να μικρύνουμε το μέγεθος μιας εικόνας (βλ. Μενού Image Size). Γίνεται με ειδικούς αλγόριθμους που συγκρίνουν τις ομοιότητες ή διαφορές γειτονικών Pixel.
Resolution	Ανάλυση. Εκφράζεται σε pixel π.χ. 150ppi σημαίνει 150 εικονοστοιχεία ανά ίντσα. Όσο αυξάνεται ο αριθμός τόσο περισσότερες λεπτομέρειες μπορεί να αποδώσει η συσκευή.
RGB	Από τα αρχικά Red Green Blue. Εκφράζει το προσθετικό

	<p>χρωματικό μοντέλο όπου το λευκό προκύπτει από συνδυασμό ίσων ποσοτήτων από τα τρία συγκεκριμένα βασικά χρώματα. Ανάμειξη αυτών των χρωμάτων μπορεί να δώσει όλες τις ενδιάμεσες χροιές στην παλέτα των φυσικών χρωμάτων (έχει βρεθεί ότι μπορεί να είναι μέχρι 16,7 εκ. χροιές). Το σύστημα RGB χρησιμοποιείται στα μόνιτορ. Οι εκτυπωτές αντίθετα εργάζονται στο αφαιρετικό σύστημα CMYK.</p>
RIP	<p>Raster Image Processor. Ειδικό ισχυρό computer ή πρόγραμμα που αναλαμβάνει τη μετατροπή διανυσματικών αρχείων χαμηλότερης ανάλυσης σε υψηλής ανάλυσης αρχεία με κουκκίδες. Τα συναντάμε σε γιγαντοεκτυπωτές inkjet (Large Format Printers) και σε εικονοθέτες (imagesetters) που παράγουν φιλμ διαχωρισμών.</p>
RISC	<p>Reduced Instruction Set Computer. Είδος επεξεργαστή που έχει περιορισμένο σετ εντολών και επιτυγχάνει πολύ γρήγορους χρόνους εκτέλεσης των κύκλων. Τέτοιοι επεξεργαστές είναι της Motorola που χρησιμοποιούνται στα Mac.</p>
ROM	<p>Read Only Memory. Μνήμη μόνο ανάγνωσης. Είδος ολοκληρωμένου κυκλώματος με μόνιμα δεδομένα (που δεν αλλάζουν) ούτε χάνονται με το κλείσιμο της συσκευής.. Τέτοια chip χρησιμοποιεί το BIOS. Παραλλαγή αποτελούν οι μνήμες EEPROM που μπορούν να προγραμματιστούν σε ειδική συσκευή εγγραφής.</p>
S-RAM Static RAM.	<p>Στατική RAM. Το πιο ακριβό είδος RAM που χρησιμοποιείται ως μνήμη cache σε επεξεργαστές και παλιότερα σε motherboard ως cache β' επιπέδου.</p>
Screen frequency	<p>Σε μια ραστεροποιημένη εικόνα, είναι ο αριθμός των γραμμών ανά ίντσα. Αποτελείται από κουκκίδες. Η εκτύπωση των περιοδικών ιλουστρασιών γίνεται στα 150-200ppi.</p>
Sharpen	<p>Όξυνση. Λειτουργία τονισμού των περιγραμμάτων που αποβλέπει να δοθεί η αίσθηση της μεγαλύτερης ευκρίνειας στις λεπτομέρειες.</p>
Signal to Noise Ratio	<p>Λόγος σήματος προς θόρυβο. Εκφράζει τη σχέση ανάμεσα στην πραγματική "πληροφορία" και το παρασιτικό χρώμα. Οφείλεται κατά μεγάλο μέρος στη σχεδίαση του ναλογικοψηφιακού μετατροπέα (RAM DAC)</p>
Supersampling	<p>Υπερδειγματοληψία. Καταγραφή περισσότερων βαθμίδων τονικότητας από την απαιτούμενη για την ρεαλιστική αναπαραγωγή μιας εικόνας. Τα παραπάνω δεδομένα χρησιμοποιούνται για τη μείωση του ηλεκτρομαγνητικού και παρασιτικού θορύβου ή την εξαγωγή περισσότερων λεπτομερειών στα σκιερά σημεία.</p>

TFT σκόπευτρο.	Thin-Film-Transistor. Τεχνολογία έγχρωμης οθόνης που αναφέρεται και ως active matrix (ενεργού μήτρας). Σε πολλές ψηφιακές compact αντί για το κλασικό οπτικό σκόπευτρο ενσωματώνεται μία οθόνη υγρών κρυστάλλων TFT. Η αποικόνιση μπορεί να είναι χαμηλής ανάλυσης, αντιστοιχεί όμως με ακρίβεια στο τελικό κάδρο. Δίνει τη δυνατότητα αναπαραγωγής των αποθηκευμένων στη μνήμη λήψεων.
TIFF	Tag Image File Format. Το πιο δημοφιλές και διαδεδομένο μορφή ψηφιοποίησης αρχείων εικόνας. Υποστηρίζεται απ όλα σχεδόν τα προγράμματα επεξεργασίας εικόνας αποτελώντας de facto στάνταρ.
Tone curve	Τονικές καμπύλες. Αναφέρονται και ως καμπύλες gamma. Ενσωματώνονται στα περισσότερα "σοβαρά" προγράμματα επεξεργασίας εικόνας, χρησιμοποιώντας στην εύκολη διόρθωση της τονικότητας είτε σε επίπεδο τριχρωμίας RGB και τετραχρωμίας CMYK ή σε επιμέρους χρώματα.
Unsharp Mask	Φίλτρο τεχνητής επαύξησης της οξύτητας που αυξάνει την υποκειμενική αίσθηση της καθαρότητας της εικόνας τονίζοντας τα περιγράμματα.
White balance	Ισορροπία του λευκού. Αναφέρεται στη δυνατότητα επεμβάσεων στις επιμέρους συνιστώσες μιας ψηφιακής βιντεοκάμερας, φωτογραφικής μηχανής ή μόνιτορ. Μέσω λεπτών διορθώσεων στα επιμέρους χρώματα μπορούμε να βελτιώσουμε τις αποκλίσεις από το ιδανικό λευκό φέρνοντάς το στο επιθυμητό ουδέτερο τόνο, χωρίς νόθες χροιές. Εκτός από την αυτόματη ισορροπία του λευκού, πολλά μοντέλα διαθέτουν χειροκίνητες ρυθμίσεις.
Zoom Lens	Φακός μεταβλητής εστιακής απόστασης

Λεξικό φωτογραφικών όρων

Πηγή: (24) *Λεξικό φωτογραφικών όρων*
<http://www.photo.gr/main.php?showpage1=clexicon.php>

Aberration (optical systems)	Παραμορφώσεις (παρεκλίσεις) σε οπτικά συστήματα (φακοί πρίσματα καθρέπτες και συστήματα αυτών με στόχο την παραγωγή οξείας εικόνας) οδηγούν στο θόλωμα της εικόνας. Παρουσιάζονται όταν το φως από ένα σημείο ενός αντικειμένου αφού περάσει μέσα από το οπτικό σύστημα δεν αντιστοιχεί σε σε ένα μοναδικό σημείο.
B, Bulb	Ρύθμιση που κρατά το φωτοφράκτη ανοικτό όσο

	είναι πατημένο το κλείστρο. Χρήσιμη στη φωτογραφία τη νύκτα.
Barrel Distortion	Βαρελοειδής Παραμόρφωση
Bracketing	Τεχνική κατά την οποία αντί για μία, πραγματοποιούμε μια σειρά λήψεων (τρεις ή πέντε) με ακριβώς το ίδιο κάδρο. Τα καρέ αυτά διαφέρουν από την κεντρική λήψη ως προς την έκθεση, αποκλείοντας κατά βήματα του 1/2 ή 1 stop κλπ. Παράδειγμα: βασική μέτρηση 1/250" με f/8, bracketing σε βήματα του 1 stop 1/250" f/5.6 και f/11. Η τεχνική αυτή αποτελεί μια από τις πιο προσφιλείς ασφαλιστικές δικλείδες για το φωτογράφο που θέλει άψογα αποτελέσματα ιδιαίτερα αν δουλεύει με slides. Το Autobracketing περιέχεται σε λίγες σοβαρές ρεφλέξ 35mm. Με τον αυτοματισμό αυτό απλώς επιλέγουμε την απόκλιση από τη βασική έκθεση (σε βήματα του 1/3 stop) και η μηχανή αναλαμβάνει να κάνει αντί για μία τρεις ή πέντε λήψεις του ίδιου καρέ.
Brightness	Λαμπρότητα
Databack	Προαιρετικό εξάρτημα. Πρόσθετη πλάτη που αντικαθιστά την κανονική και προσφέρει: καταγραφή ώρας και ημερομηνίας, intervalometer και στις πολύ σύγχρονες παραλλαγές ορισμένες δυνατότητες προγραμματισμού.
Contrast	Αντίθεση
Densitometer	Πυκνόμετρο
Density	Πυκνότητα
Diffusing	Διάχυση
Diffraction	Περίθλαση φωτός
Dispersion	Διασπορά
Distortion	Διαστρέβλωση
ISO (International	Πρότυπο του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης

Standards Organisation)	που έχει γίνει καθολικά αποδεκτό από τη φωτογραφική βιομηχανία για τη μέτρηση της ευαισθησίας των φιλμ.
JCI (Japan Camera Industry Inspection)	Τα αρχικά που βρίσκουμε πάνω στο γνωστό αυτοκόλλητο κάθε γιαπωνέζικης μηχανής. Πρόκειται για ανεξάρτητο οργανισμό στον οποίο συμμετέχουν όλοι οι γιαπωνέζοι κατασκευαστές και εξασφαλίζει τον ποιοτικό έλεγχο της παραγωγής.
Luminance	Φωτεινότητα
Ανίχνευση φάσης (Phase detection)	Η αρχή στην οποία στηρίζονται τα παθητικά συστήματα Autofocus στις ρεφλέξ 35mm. Το είδωλο χωρίζεται στα δύο και αναλύεται από μια σειρά αισθητήρων. Όταν ισαπέχουν το αντικείμενο μας είναι <input type="checkbox"/> εντός φάσεως <input type="checkbox"/> και όσον αφορά εμάς το σύστημα έχει εστιάσει σωστά.
Αντιστάθμιση κόντρα φωτισμού (Backlight compensation)	Λειτουργία συνήθως αυτόματη που διορθώνει την έκθεση δίνοντας 1.5 ή 2 stop παραπάνω, όταν το φωτόμετρο ανιχνεύει ότι το αντικείμενο είναι οπισθοφωτισμένο. Κλασικό παράδειγμα: λήψη πορτραίτου με φόντο τον ουρανό.
Αυτόματη Έκθεση (Autoexposure)	Η μηχανή επιλέγει ταχύτητες ή διαφράγματα ή και τα δύο. Περιλαμβάνει την προγραμματισμένη έκθεση και την προτεραιότητα διαφράγματος ή ταχύτητας. Είναι το αντίθετο της χειροκίνητης (manual) έκθεσης όπου ο φωτογράφος φροντίζει μόνος του για όλες τις ρυθμίσεις.
Αυτόματη επανατύλιξη φιλμ (Auto rewind)	Η μηχανή με ένα αισθητήρα ροπής πληροφορείται ότι το φιλμ τελείωσε και το ξανατυλίγει στην κασέτα. Στην ημιαυτόματη έκδοση του η λειτουργία αυτή απαντά σε πολλές ρεφλέξ και σημαίνει ότι ο χρήστης πρέπει να πατήσει κάποιο κουμπί και ο αυτοματισμός να αναλάβει τα περαιτέρω.
Αυτόματη εστίαση (Autofocus)	Διακρίνουμε την ενεργή αυτόματη εστίαση με υπέρυθρες (που εφαρμόζεται στις compact) και την παθητική με σύστημα ανίχνευσης φάσης (στις ρεφλέξ).
Βάθος πεδίου (Depth of field)	Η απόσταση εμπρός και πίσω από το σημείο ακριβούς εστίασης μέσα στην οποία το είδωλο διατηρεί ικανοποιητική ευκρίνεια. Εξαρτάται από α. την εστιακή απόσταση του φακού (είναι πολύ μεγάλο στους ευρυγώνιους και περιορισμένο στους τηλεφακούς) και θ. το διάφραγμα (είναι μεγάλο με κλειστό διάφραγμα ενώ μειώνεται όσο το

	ανοίγουμε).
Διαμέσου φακού TTL (through the lens)	Η φωτομέτρηση με τη μέθοδο αυτή έχει επικρατήσει πλήρως. Τα αισθητήρια του ενσωματωμένου φωτόμετρου □ διαβάζουν □ το φως που μόλις έχει περάσει από το φακό. Έτσι πραγματοποιείται αυτόματα ο υπολογισμός συντελεστή διόρθωσης για φίλτρα, προσθήκη ειδικών εξαρτημάτων όπως φυσούνες ή δακτυλίδια προέκτασης κλπ.
Διάφραγμα (Aperture)	Μηχανισμός με επάλληλα πτερύγια εντός του φακού που μπορεί να αυξομειώνει το μεταδιδόμενο μέσω του φακού φως. Οι ρυθμίσεις γίνονται είτε από το ειδικό δακτυλίδι πάνω στο φακό είτε από το σώμα στις πιο μοντέρνες μηχανές. Ο αριθμός f/ του διαφράγματος είναι το πηλίκο της εστιακής απόστασης του φακού διαιρούμενης με τη διάμετρο του ανοίγματος. Μαζί με την ταχύτητα καθορίζουν την έκθεση.
Έκθεση (Exposure)	Το μέτρο της έκθεσης είναι το γινόμενο της έντασης του φωτός που φθάνει και ευαισθητοποιεί το φιλμ επί το χρόνο. Το φωτογραφικό φιλμ και το χαρτί εκτίθενται με αυτές τις δύο αλληλένδετες παραμέτρους στο φως. Σε συνάρτηση με την ευαισθησία του υλικού καθορίζεται και η επιτυχία της έκθεσης αν δηλαδή είναι σωστά εκτεθειμένο από πυκνομετρική άποψη.
Ενδείξεις με φωτοεκπέμπουσες διόδους LED (Light emitting diode)	Χρησιμοποιούνται στα σκόπευτρα. Επειδή είναι σχετικά σπάταλες σε ηλεκτρική ενέργεια (καταναλίσκουν γρήγορα την μπαταρία) τείνουν να αντικατασταθούν ολοκληρωτικά από τις πολύ οικονομικές, ενεργειακά, διόδους υγρών κρυστάλλων LCD.
Εστιακή απόσταση (Focal Length)	Μέγεθος που καθορίζει ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του φακού. Είναι η απόσταση από το οπτικό κέντρο του φακού ως το επίπεδο του φιλμ.
Ευαισθησία φιλμ κατά ISO, ASA κλπ	Το μέτρο του πόσο □ γρήγορα □ αντιδρά το φιλμ στην έκθεση στο φως, πάντα σε σχέση με τα ορισμένα βιομηχανικά πρότυπα. Π.χ. το φιλμ ISO 200 έχει διπλάσια ευαισθησία από το αντίστοιχο ISO 100 διότι αρκείται σε επίπεδο φωτισμού κατά ένα stop χαμηλότερο για το ίδιο αποτέλεσμα.
Καρέ το δευτερόλεπτο Fps	Χαρακτηριστικό που αναφέρεται στην ταχύτητα του winder ή motordrive. Να σημειωθεί ότι η τιμή που δίνει ο κατασκευαστής αφορά συνήθως λειτουργία σε γρήγορη ταχύτητα 1/500 ή 1/1000 sec.

Κεντρικά ζυγισμένη φωτομέτρηση (Centre weighted metering)	Η πιο διαδεδομένη μέθοδος φωτομέτρησης που συναντάμε σε όλες σχεδόν τις SLR 35mm. Το αισθητήριο του φωτόμετρου είναι καλιμπραρισμένο ώστε να λαμβάνει υπόψη του περισσότερο τα αντικείμενα στο κέντρο του καρέ και λιγότερο στην περιφέρεια.
Κλείδωμα αυτόματης Έκθεσης(Autoexposure Lock)	Κουμπί που παγώνει μια φωτομέτρηση αδιάφορα αν ξανασυνθέσουμε το καρέ μας. Πολύ βολικό όταν το αντικείμενο μας έχει προβληματικό φως π.χ. πολύ κοντράστ: τότε παίρνουμε μια μέτρηση από αντικείμενο μεσαίου τόνου και ισοδύναμο επίπεδο φωτός, την <input type="checkbox"/> παγώνουμε <input type="checkbox"/> με το exposure lock και προχωράμε στη λήψη του αρχικού καρέ.
Κωδικοποίηση DX	Σύστημα αυτόματης αναγνώρισης της ευαισθησίας του φιλμ. Πάνω στην κασέτα του φιλμ 35mm υπάρχουν ειδικές αγωγίμες γραμμογραφήσεις που τις διαβάζουν ηλεκτρικοί αισθητήρες μέσα στο σώμα της μηχανής.
Μεταβλητό πρόγραμμα (Program shift)	Παραμένει η προγραμματιζόμενη έκθεση αλλά ο χρήστης μπορεί να την επηρεάσει επιλέγοντας πιο γρήγορες ταχύτητες ή πιο κλειστά διαφράγματα. Σε ορισμένες SLR αυτό γίνεται αυτόματα ανάλογα με την εστιακή απόσταση του φακού. Δηλ. αν η μηχανή <input type="checkbox"/> αντιληφθεί <input type="checkbox"/> ότι έχει προσαρμοστεί τηλεφακός, μεταβάλλει το πρόγραμμα για γρηγορότερες ταχύτητες ώστε να αποφευχθεί το κούνημα (camera shake).
Μονοπτική ρεφλέξ SLR (Single Lens Reflex)	Μηχανή 35mm με εναλλακτούς φακούς και προαιρετικά πρόσθετα αξεσουάρ όπως φλας, motor-drive κλπ. Χρησιμοποιεί ένα σύστημα με καθρέπτη, θαμπόγυαλο και πεντάπρισμα για την εστίαση του ειδώλου. Ο φωτοφράκτης είναι πάντα εστιακού επιπέδου (focal plane shutter).
Πάνελ ενδείξεων υγρών κρυστάλλων LCD (Liquid Crystal Display)	Τείνει να υποκαταστήσει τελείως τα LED. Χρησιμοποιείται και στο σκόπευτρο και σαν ξεχωριστή οθόνη ενδείξεων δίπλα από το πεντάπρισμα.
Πεντάπρισμα (Pentaprism)	Ειδικό πρίσμα που εφαρμόζεται πάνω από το θαμπόγυαλο, ώστε να βλέπουμε το είδωλο ορθό και όχι ανεστραμμένο
Προγραμματιζόμενη Έκθεση(Programmed autoexposure)	Λειτουργία αυτόματης έκθεσης όπου και το διάφραγμα και η ταχύτητα τίθεται αυτόματα από τη μηχανή χωρίς επέμβαση του χρήστη. Προσφέρει μηδενικό έλεγχο ως προς τις παραμέτρους της

	έκθεσης αλλά μέγιστη ευελιξία και απλοποίηση της λήψης ιδιαίτερα αν βιαζόμαστε.
Προτεραιότητα διαφράγματος(Aperture Priority)	Λειτουργία αυτόματης έκθεσης όπου ο φωτογράφος επιλέγει το διάφραγμα και η μηχανή αναλαμβάνει να ρυθμίσει την ταχύτητα ώστε να δώσει σωστή έκθεση ανάλογα με τις συνθήκες φωτισμού. Αποτελεί τον πιο διαδεδομένο και εύχρηστο τύπο αυτόματης έκθεσης με επαρκή έλεγχο των παραμέτρων της έκθεσης και μάλιστα του βάθους πεδίου.
Προτεραιότητα εστίασης (Focus priority)	Αφορά τις μηχανές AF όταν το κλείστρο δεν ενεργοποιείται αν δεν έχει επιτευχθεί ικανοποιητική εστίαση.
Προτεραιότητα χρόνου (Shutter priority)	Λειτουργία αυτόματης εστίασης όπου ο φωτογράφος επιλέγει την ταχύτητα και η μηχανή αναλαμβάνει να ρυθμίσει το διάφραγμα. Χρησιμεύει κυρίως στη φωτογραφία κίνησης, αγώνες, ρεπορτάζ κλπ.
Σκόπευτρο (Viewfinder)	Η οπτική επαφή του φωτογράφου με τη μηχανή. Στο σκόπευτρο πραγματοποιείται η εστίαση του ειδώλου αλλά και η πληροφόρηση του χρήστη για τις λειτουργίες της μηχανής και τη φωτομέτρηση.
Σκόπευτρο υψηλής θέσης (High eyepoint viewfinder)	Σχεδίαση σκοπεύτρου στην οποία επιτυγχάνεται να είναι ορατό το θαμπόγυαλο με το μάτι λίγο μακρύτερα απ' ό,τι στα συνηθισμένα σκόπευτρα. Διευκολύνει πολύ τους διοπτροφόρους φωτογράφους.
Στοιχείο CCD (Charge coupled device)	Τύπος αισθητήρα που χρησιμοποιείται στις ρεφλέξ αυτόματης εστίασης. Ανιχνεύει την απόσταση με βάση τη διαφορά κοντράστ.
Συγχρονισμός φλας μικρών ταχυτήτων(Slow sync)	Τεχνική με την οποία συγχρονίζουμε το φλας σε ταχύτητα αργότερη από τη βασική ταχύτητα συγχρονισμού (X). Συνήθως εφαρμόζεται όταν ο περιβαλλοντικός φωτισμός είναι χαμηλός και θέλουμε να <input type="checkbox"/> γράψει <input type="checkbox"/> και το φόντο μαζί με το βασικό μας αντικείμενο που φωτίζεται απο τό φλας.
Συνεχής Αυτόματη εστίαση(Continuous autofocus ή servo AF mode)	Η αυτόματη εστίαση δουλεύει συνεχώς αλλά το κλείστρο μπορεί να ενεργοποιηθεί οποιαδήποτε στιγμή.
T, Time	Ρύθμιση όπου ο φωτογράφος κρατιέται ανοικτός μεταξύ δύο διαδοχικών πατημάτων του κλείστρου. Οι παλιοί φωτογράφοι ισχυρίζονταν ότι ήταν πιο εύχρηστη από τη θέση B που έχει επικρατήσει σήμερα.

Τιμή Έκθεσης EV (Exposure value)	Καθαρός αριθμός που προσδιορίζει ορισμένο επίπεδο φωτεινότητας. Π.χ. EV 10 για φιλμ ευαισθησίας ISO100 αντιστοιχεί σε ισοδύναμους συνδυασμούς ταχύτητας / διαφράγματος 1/15 sec με f/8 ή 1/30 sec με f/5.6 ή 1/60 sec με f/8 κλπ.
Υπερέκθεση (Overexposure)	Όταν η ποσότητα του φωτός που τελικά επηρεάζει την εμουλσιόν του φιλμ είναι περισσότερη από τη βέλτιστη έκθεση σύμφωνα με τις συνθήκες φωτισμού. Μπορεί να συμβεί αν χρησιμοποιήσουμε είτε πιο ανοικτό διάφραγμα είτε πιο αργή ταχύτητα από το κανονικό. Ελαφρά υπερέκθεση κατά 1/2 stop ευνοεί τα έγχρωμα αρνητικά.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Αποτελέσματα αλγόριθμου υπολογισμού οξύτητας:

S F R

Canon PowerShot Pro1

Βιβλιογραφία

- 1) Williams J. B., 1990, *Image Clarity, High Resolution Photography*, Focal Pr
- 2) Atkins B., *MTF and SQF*
<http://www.bobatkins.com/photography/technical/mtf/mtf1.html>
- 3) McHugh S., *Tutorials: Sharpness*
<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/sharpness.htm>
- 4) Dr. Lenhardt K., Kreuznach B., *The image quality of lenses for digital photography*
http://www.schneiderkreuznach.com/knowhow/opt_quali_e.htm
- 5) Koren N., *DigitUnderstanding image sharpness part 1: Introduction to resolution and MTF curves*
<http://www.normankoren.com/Tutorials/MTF.html>
- 6) Canon's Lens Technical Reports, *Understanding the MTF graph*
<http://old.photodo.com/nav/artindex.html>
- 7) Hiromasa Ohehara, *Lens Performance*
<http://old.photodo.com/nav/artindex.html>
- 8) Khan M., *Understanding MTF charts*
<http://artlessbeauty.blogspot.com/2007/05/understanding-mft-charts.html>
- 9) Γεράκης Κ., *Ψηφιακή τεχνολογία*
<http://www.dpgr.gr/index.php?page=digitaltechnology>
- 10) The National Gallery of Canada, *Image Sharpness & Resolution*
http://beaux-arts.ca/cybermuse/youth/dwl/680740_e.jsp
- 11) Mabini A., *A Comprehensive Method for Choosing the Best Lens for Your Needs Using MTF Charts*
http://fotogenetic.dearingfilm.com/how_to_choose_a_lens.html
- 12) Koren N., *Image quality measurment: Real world chalenges*
http://www.imatest.com/packages/Google_Imatest_8-15-07_talk_final.pdf
- 13) 2008 Imatest LLC, *SFR: Measure sharpness*
http://www.imatest.com/docs/tour_sfr.html
- 14) 2008 Imatest LLC, *Imatest™ Distortion*
http://www.imatest.com/docs/tour_distortion.html
- 15) 2008 Imatest LLC, *Using Distortion*
<http://www.imatest.com/docs/distortion.html>

- 16) 2008 Imatest LLC, *Using Rescharts, Analysis of resolution-related charts*
<http://www.imatest.com/docs/rescharts.html>
- 17) 2008 Imatest LLC, *Image quality factors, Overview and Imatest measurements*
<http://www.imatest.com/docs/iqf.html>
- 18) 2008 Imatest LLC, *Sharpness What is it and how is it measured?*
<http://www.imatest.com/docs/sharpness.html>
- 19) 2008 Imatest LLC, *Sharpening, Why standardized sharpening is needed for comparing cameras*
<http://www.imatest.com/docs/sharpening.html>
- 20) 2008 Imatest LLC, *SQF, Subjective Quality Factor*
<http://www.imatest.com/docs/sqf.html>
- 21) Anders Uschold Digitaltechnik, *Μετάφραση : Ατσαμετάκης Γ., 2004, PHOTOnet imaging world news magazine, Τεύχος No 77, σελ.74*
- 22) Reichmann M., *Understanding MTF-The Modulation Transfer Function Explained*
<http://www.luminous-landscape.com/tutorials/understanding-series/understanding-mtf.shtml>
- 23) Περιοδικό Φωτογράφος, *Καμπύλες MTF*, Press Photo publications, *Τεύχος 30, σελίδα 90*
- 24) *Λεξικό φωτογραφικών όρων*
<http://www.photo.gr/main.php?showpage1=clexicon.php>
- 25) *Λεξικό ψηφιακών όρων*
<http://www.photo.gr/main.php?showpage1=dlexicon.php>
- 26) Μαϊδώνη Ν., *Ορολογία Τεχνικών Όρων για Ψηφιακή Φωτογραφία και Η/Υ*
<http://www.lefkk.gr/articles/03b-photography&PCterminology.htm>
- 27) McHugh S., *Tutorials: Diffraction & Photography*
<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/diffraction-photography.htm#>
- 28) *Andrew's Magnificent MTF Comparo-meter*
<http://www.ocf.berkeley.edu/~ashon/photo/comparo6.htm>
- 29) Edmund Optics Inc., *Understanding MTF Testing*
<http://www.edmundoptics.com/techSupport/DisplayArticle.cfm?articleid=248>
- 30): Foto @rt magazine, *Θεωρία Για την Φωτογραφία*
http://www.fotoartmagazine.gr/01_ELLHNIKO/FVTOGRAFIA/theoria/Theory_foto.htm

- 31) DeLaney C., *Sharp Photos*
<http://www.fotoartmagazine.gr/articles/tips/SharpPhotos/index.html>
- 32) Reichmann M., *The Luminous Landscape, Lens Sharpness The Never-Ending Quest*
<http://www.luminous-landscape.com/tutorials/sharp.shtml>
- 33) Reichmann M., *The Luminous Landscape, Understanding Sharpness*
<http://www.luminous-landscape.com/tutorials/sharpness.shtml>
- 34) Castleman W., *Resolution and 50% MTF with Canon CMOS and Film Cameras, Comparison among the Canon EOS-1Ds, EOS-1D Mark II, EOS-1D Mark II, 20D, D60 and EOS-1V /Astia 100F film*
http://www.wlcastleman.com/equip/reviews/film_ccd/index.htm
- 35) Clark J., Hertel D., Hultgren B., Scarff L., 2006, *Camera Phone Image Quality, Subjective and Objective Image Quality Evaluation*
http://scien.stanford.edu/CPIQ/Presentations/CPIQ_Hultgren_Hertel.pdf
- 36) Phillips F. *Introduction to Digital Photography*
<http://www.vividlight.com/Articles/3116.htm>
- 37) Καραθανάση Β., *Η ψηφιακή εικόνα, Επεξεργασία και φίλτράρισμα*
http://www.survey.ntua.gr/main/courses/general/sigproc/lectures/rslab_1st_day_intro.pdf
- 38) Luxen M., Forstner W., *Characterizing image quality: Blind estimation of the point spread function from a single image*
<http://www.isprs.org/commission3/proceedings02/papers/paper151.pdf>
- 39) The Imaging Resource, *Detailed analysis of the Kodak EasyShare P880 images, from Imatest(tm)*
<http://www.imaging-resource.com/PRODS/P880/P880IMATEST.HTM>
- 40) Σταματάκος Δ., *Τεχνολογίες Εικόνας*
http://www.avmentor.gr/tech/video_basics_2.htm
- 41) Koren N., *Image quality measurment: Real world challenges*
http://www.imatest.com/packages/Google_Imatest_8-15-07_talk_final.pdf
- 42) Bigelow R., *Sharpening*
<http://www.ronbigelow.com/articles/sharpen1/sharpen1.htm>
- 43) Digital Photography Review
www.dpreview.com