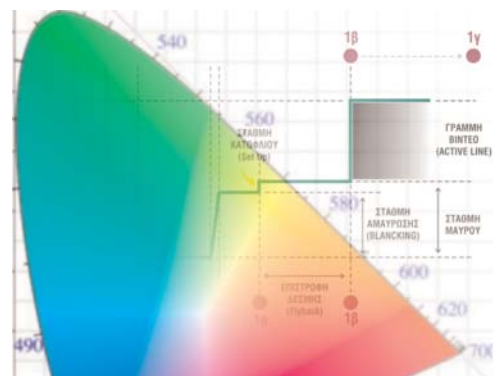


KnowHow Series

Video Basics

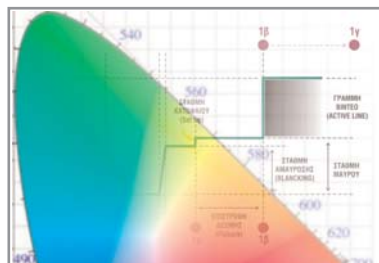
Μερικά πράγματα που πρέπει να γνωρίζετε γύρω από τις τεχνολογίες εικόνας...

Οι βάσεις επάνω στις οποίες στηρίζεται η αναπαραγωγή εικόνων μέσω βίντεο και η εξήγηση πολλών από τις -συχνά- μυστηριώδεις έννοιες που αναπόφευκτα θα συναντήσετε!



Δημήτρης Σταματάκος, έκδοση 06/2007

Video Basics



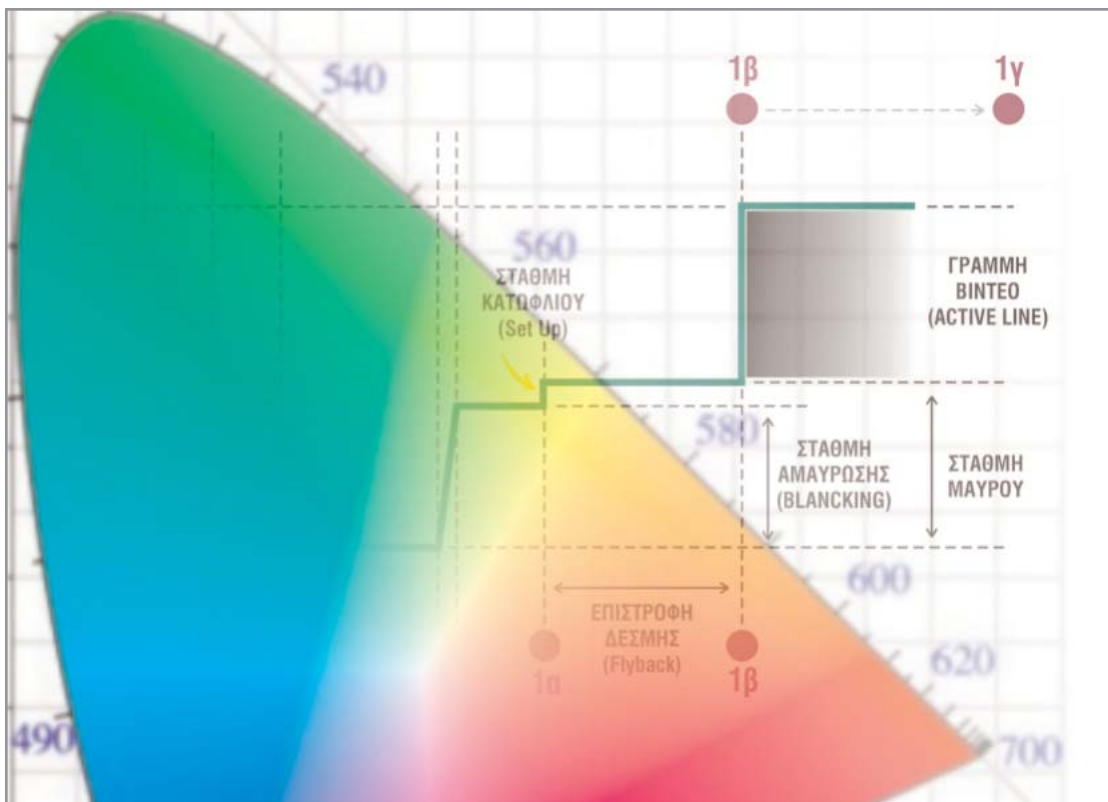
Εισαγωγή

Η τηλεόραση και το βίντεο είναι τεχνολογίες που έχουμε στη διάθεσή μας εδώ και πολλές δεκαετίες. Τις θεωρούμε δεδομένες και μέχρι πριν από μερικά χρόνια είχαν ενσωματωθεί πλήρως στον τρόπο ζωής μας σε σημείο που να μην προβληματιζόμαστε ποτέ γύρω από αυτές. Ο οικιακός κινηματογράφος με τα υψηλότερα επίπεδα ποιότητας που απαιτήσε, το DVD-Video, οι μεγάλες τηλεοράσεις, οι προβολείς και η δυνατότητα προβολής σήματος σε υψηλή ευκρίνεια (μέσω upscaling αρχικώς και σήμερα, πλέον, μέσω υλικού εγγενώς HD), έφεραν και πάλι στην επιφάνεια την ίδια την τεχνολογία της εικόνας: Νέοι όροι, νέες απαιτήσεις και προδιαγραφές και νέοι προβληματισμοί πήραν τη θέση της χαρούμενης άγνοιας του πρόσφατου παρελθόντος. Είναι, όπως καταλαβαίνει κανείς, δεδομένο ότι για να κινηθείς στην αγορά της εικόνας θα πρέπει να γνωρίζεις μερικά βασικά πράγματα γύρω από την τεχνολογία της.

KnowHow Series

Στις δέκα κουβέντες που λέγονται γύρω από τα θέματα εικόνας, πάνω από τις μισές είναι ανακριβείς... Το βίντεο γενικώς, είτε αυτό είναι απλή έγχρωμη τηλεόραση, είτε ψηφιακός δίσκος υψηλής ευκρίνειας, είναι μια δύσκολη υπόθεση με πολύπλοκα μαθηματικά και ακόμη δυσκολότερη εικονογράφηση, επομένως αυτός που θέλει να μιλάει (και όχι να μασάει...) καλόν είναι να γνωρίζει τουλάχιστον μερικά από τα βασικά. Αν, λοιπόν, γνωρίζετε τί ακριβώς είναι η οξύτητα, τι διορθώνει το Gamma, πώς διαβάζεται το διάγραμμα χρωματικότητας, πώς λειτουργούν η σάρωση και ο συγχρονισμός και ποιές είναι διαφορές μεταξύ ρυθμιστικών φωτεινότητας και αντίθεσης και των πραγματικών παραμέτρων με αυτό το όνομα, δεν υπάρχει λόγος να διαβάσετε περισσότερα. Αλλά, πόσα ακριβώς γνωρίζετε γι' αυτά τα θέματα τελικώς;

Δημήτρης Σταματάκος
(http://www.avmentor.gr/about/ids_bio.htm)



Τεχνολογίες Εικόνας: Καλύτερα να Μασάς, παρά να Μιλάς...

Αξίζει να προβληματισθεί κανείς γύρω από το γιατί γνωρίζουμε τόσα λίγα πράγματα για την εικόνα, όταν ακόμη και ο ελάχιστος υποψιασμένος χρήστης cd player έχει ακούσει για τον θόρυβο κβαντισμού... Είναι πιθανόν, αυτό να οφείλεται στο γεγονός ότι την εποχή που έμπαιναν οι βάσεις για όλα αυτά τα πράγματα, τα προϊόντα τα οποία αφορούσαν ήταν το εξής ένα: Η τηλεόραση. Και οι τηλεοπτικές συσκευές επί πολλά χρόνια υπήρξαν ένα απλό καταναλωτικό προϊόν - αντε και ένα καλό δώρο γάμου. Ελάχιστοι αγόρασαν ποτέ συσκευή ρωτώντας τον πωλητή «πόσους κύκλους ανα χιλιοστό γραμμής οξύτητα διαθέτει» κι ακόμη λιγότεροι ασχολήθηκαν ποτέ με το πώς μια μονόχρωμη συσκευή παίζει κανάλια που εκπέμπουν έγχρωμα -απλώς τα έπαιζε... Γιατί όχι, βρε αδερφέ, στο κάτω-κάτω; Στην πραγματικότητα οι περισσότεροι από τους συνειδητοποιημένους καταναλωτές άρχισαν να γίνονται συνειδητοποιημένοι όταν άρχισαν να βομβαρδίζονται με τεχνικούς όρους όπως «ανάλυση», «ευκρίνεια», «προοδευτική σάρωση» και «λόγος αντίθεσης». Τί διάβολο σημαίνουν όλα αυτά; Γιατί «το PAL έχει 625 γραμμές αλλά εμείς βλέπουμε μόνο τις 600»; Ποιός κλέβει τις υπόλοιπες και τί τις κάνει; Πώς προκύπτουν τα μυστηριώδη διαγράμματα που από καιρού εις καιρόν δημοσιεύονται

από 'δω κι από 'κει και γιατί ενώ η «καλή εικόνα είναι η RGB» όλο το υλικό κωδικοποιείται σε αυτό το μυστηριώδες YCbCr; Αφού η τάδε εταιρία έβγαλε οθόνη με λόγο αντίθεσης 10:000:1, οι υπόλοιπες δεν ξέρουν τί κάνουν; Σχεδόν από την μια ημέρα στην άλλη, η τηλεόραση και το βίντεο έγιναν σκληροπυρηνική τεχνολογία (βεβαίως πάντοτε ήταν -απλώς δεν είχε δώσει κανείς σημασία) και αν θέλει κανείς να κάνει μια καλή αγορά (ή εν πάση περιπτώσει μια αγορά για την οποία να μην μετανιώσει αμέσως...) θα πρέπει να μάθει ένα-δύο πράγματα. Για παράδειγμα τις διαφορές του Lumen από το ANSI Lumen, τί είναι τα Nits και γιατί δεν πρέπει να παίζει ποτέ (μα ποτέ) με το ρυθμιστικό του κόντραστ -που (όπως θα δούμε) δεν έχει καμμία σχέση με το κόντραστ -τελικώς... Μετά από όλα αυτά είναι λογικό να σκεφτεί κανείς, ότι το πρώτο πράγμα με το οποίο θα πρέπει να ασχοληθεί, αν θέλει να καταλάβει μερικά πράγματα, είναι το ίδιο το φως και το πώς το αντιλαμβανόμαστε...

Το Φως, τα Χρώματα και το Μάτι

Θα το έχετε ακούσει σίγουρα: «Φως» ονομάζουμε μια συγκεκριμένη περιοχή του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, στο οποίο τυχαίνει τα μάτια

μας να είναι ευαίσθητα. Αν οι ραδιοφωνικοί μας δέκτες είχαν ταλαντωτές που έφθαναν μέχρι τα 750.000.000.000.000Hz (αντί των 108.000.000Hz) θα μπορούσαμε μια χαρά να «πιάσουμε» κόκκινο (και η ελεύθερη ραδιοφωνία θα είχε μια τελείως διαφορετική έννοια...).

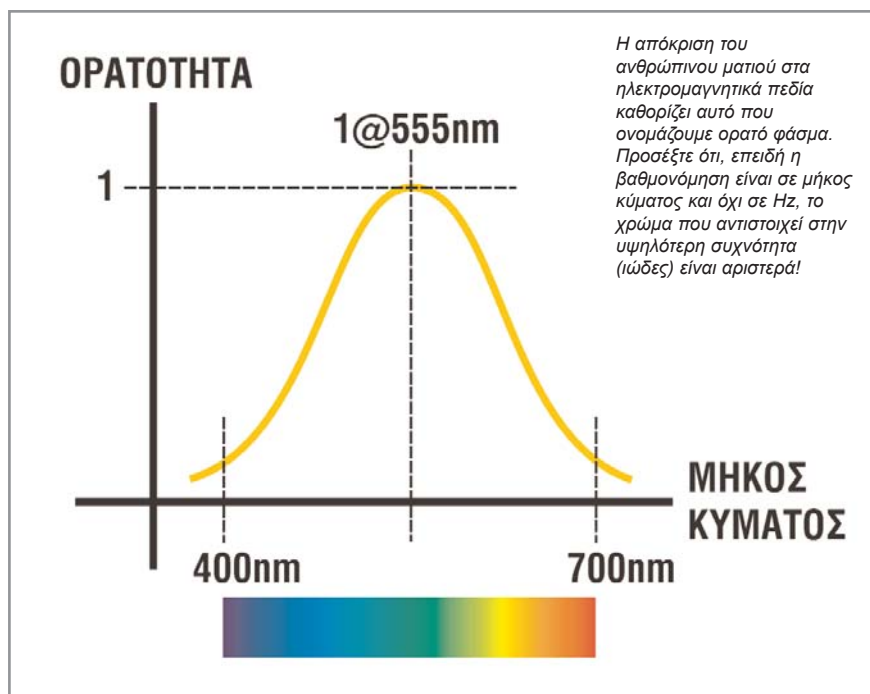
Αυτό που εμείς, ως ανώτερα θηλαστικά, ονομάζουμε χρώμα στην πραγματικότητα είναι διαφορετικές συχνότητες, οι οποίες, ειδηί είναι τεράστιες, σπανίως χρησιμοποιούνται στην πράξη όταν συζητάμε για χρώματα. Προτιμούμε να χρησιμοποιούμε το μήκος κύματος που αντιστοιχεί στις συχνότητες αυτές και μάλιστα μια πολύ μικρή μονάδα, το νανόμετρο (1nm=0.000000001m). Όπως όλα τα συστήματα που διαχειρίζονται σήματα που χαρακτηρίζονται από συχνότητες, έτσι και το οπτικό σύστημα του ανθρώπου (οι οφθαλμοί, τα νεύρα και το κομμάτι του εγκεφάλου που συμμετέχει στην όραση) φαίνεται ότι διαθέτουν μια συγκεκριμένη απόκριση συχνότητας. Το εύρος των συχνοτήτων που βλέπουμε το ονομάζουμε ορατή περιοχή του φάσματος και βρίσκεται μεταξύ των 700nm και των 400nm. Τα όρια αυτά του φάσματος έχουν όνομα: Στα 700nm βρίσκεται το κόκκινο και στα 400nm βρίσκεται το ιώδες, γι αυτό τις περιοχές έξω από τα όρια αυτά, στις οποίες το μάτι δεν λειτουργεί, τις ονομάζουμε υπέρυθη και υπεριώδη

αντιστοίχως. Η έκφραση των χρωμάτων με μήκη κύματος και όχι με συχνότητες δημιουργεί ένα μικρό πρόβλημα: Το χρώμα με την χαμηλότερη συχνότητα έχει το μεγαλύτερο μήκος κύματος και γι' αυτό στα συνήθη διαγράμματα βρίσκεται δεξιά. Έχουμε έτσι την ιδιόμορφη περίπτωση να ονομάζουμε «κάτω του ερυθρού» κάτι που βρίσκεται δεξιότερα του -εντελώς ασυνήθιστη σύμβαση στις μαθηματικές εκφράσεις την οποία δεν πρέπει να αφήνετε να σας μπερδεύει.

Όπως θα περίμενε κανείς από ένα όργανο που έχει αναπτυχθεί για επιβίωση (και όχι για παρακολούθηση κινηματογράφου) η απόκριση του ματιού δεν είναι καθόλου επίπεδη. Έχει μια περιοχή μεγάλης ευαισθησίας γύρω από τα 555nm, μήκος κύματος που αντιστοιχεί σε ένα πράσινο χρώμα και η ευαισθησία του πέφτει ταχύτατα έξω από αυτήν. Το ανθρώπινο μάτι είναι ευαίσθητο κυρίως στην πληροφορία της φωτεινότητας και πολύ λιγότερο στην πληροφορία του χρώματος (όταν σε κυνηγάει ο ρινόκερος σπανίως ενδιαφέρεσαι για το hue του... Βασικές προσπάθειες να απομακρυνθείς από τον όγκο του!). Ίσως έχετε ακούσει για τους υποδοχείς φωτός του ματιού: Τα ραβδία και τα κωνία. Τα πρώτα είναι υπεύθυνα για την περιφερειακή όραση που είναι μονοχρωματική, μικρής ικανότητας για αντίληψη λεπτομερειών αλλά εξαιρετικά ευαίσθητη και τα δεύτερα είναι υπεύθυνα για την όραση των χρωμάτων, έχουν μεγάλη ικανότητα για αντίληψη λεπτομερειών αλλά δεν είναι τόσο ευαίσθητα.

Το μάτι είναι ίσως ο πρώτος μηχανισμός διακριτού sampling στον πλανήτη: Οι υποδοχείς του είναι συγκεκριμένοι, επομένως παίρνει διακριτά δείγματα της εικόνας. Είναι μάλιστα ένα «διπλό» σύστημα υπό την έννοια ότι πραγματοποιεί ταυτόχρονα δύο δειγματοληψίες την χωρική (spatial) στην οποία βασίζεται η αντίληψή μας για το πώς εξελίσσεται το ηλεκτρομαγνητικό κύμα στο χώρο (ποιά είναι δηλαδή η συχνότητα και το πλάτος του) και την χρονική (temporal) στην οποία βασίζεται η αντίληψή μας για το πώς κινείται η πηγή στον χώρο. Υπάρχουν δύο ακόμη ιδιότητες του ματιού που μας αφορούν: Η σακκαδική κίνηση, οι συνεχείς μικροκινήσεις που κάνει ο κάθε οφθαλμός ώστε να πραγματοποιεί oversampling και να αυξάνει έτσι την ανάλυση και το tracking, η δυνατότητά του να παρακολουθεί ένα κινούμενο αντικείμενο, διατηρώντας το στην περιοχή των κωνίων που είναι οι υποδοχείς με την μεγαλύτερη ικανότητα αντίληψης λεπτομερειών.

Σε γενικές γραμμές πάντως, το ίδιο το μάτι δεν έχει αυτό που θα λέγαμε «μεγάλη ανάλυση». Έχει αποδειχθεί ότι η εικόνα που βλέπουμε είναι τελικώς ένα μοντέλο του κόσμου που μας περιβάλλει, το οποίο φτιάχνει ο εγκέφαλος χρησιμοποιώντας ως απλές αναφορές τα ερεθίσματα που προέρχονται από τα μάτια. Γι' αυτό



άλλωστε οι οφθαλμαπάτη είναι μια διαδεδομένη έννοια που μπορεί να πάρει και μορφή τέχνης [2].

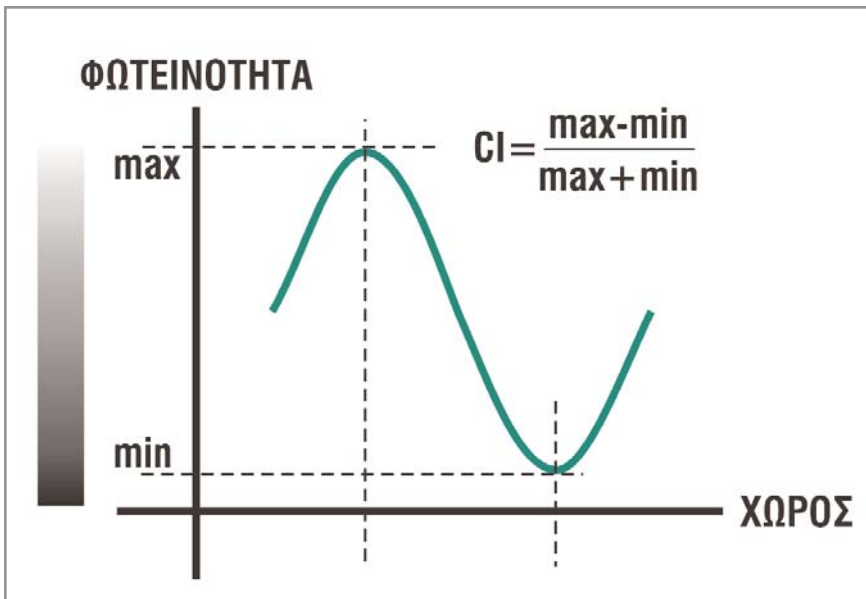
Το φως φτάνει μέχρι εμάς από δύο κυρίως πηγές: είτε μέσω κάποιου σώματος που ακτινοβολεί, λόγω της θερμοκρασίας του, είτε μέσω κάποιου σώματος που ανακλά φως που προέρχεται από αλλού. Η φυσική αρέσκεται να περιγράφει το φως και τα χρώματα ως προϊόντα της ακτινοβολίας ενός ιδεατού σώματος, απολύτως απορροφητικού, που ονομάζεται «Μαύρο Σώμα». Το χρώμα της ακτινοβολίας του Μαύρου Σώματος (που ονομάζεται και Σώμα Planck) είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του και μόνο, την οποία μετράμε σε βαθμούς Kelvin. Την επόμενη φορά που θα συζητήσετε για την θερμοκρασία λευκού του τάδε προβολέα, δεν θα κάνετε τίποτε άλλο από το να αντιστοιχήσετε το «λευκό χρώμα» που παράγει ο προβολέας αυτός με το χρώμα που εκπέμπει το Σώμα Planck στου 6500K (και το οποίο συμβατικά ονομάζουμε «λευκό φως ημέρας»).

Το φως μπορούμε να το μετρήσουμε αντικειμενικά και υπάρχουν διάφορες τέτοιες μετρήσεις με τις αντίστοιχες μονάδες τους. Η βασική μέτρηση είναι η ένταση (Luminous Intensity). Η ένταση μιας φωτεινής πηγής μετράται σε Candella και 1Cd είναι η φωτεινή ένταση μιας μονοχρωματικής πηγής στα 540nm της οποίας η ένταση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι 1/683W ανα sterad [1]. Περισσότερο γνωστή μέτρηση είναι αυτή της Φωτεινής Ροής (Luminous Flux) η οποία μετράται σε Lumen: 1 Lumen είναι η φωτεινή ροή που προκαλεί μια πηγή έντασης 1Cd μέσα σε μια μοναδιαία στερεά γωνία (φανταστείτε μια γωνία η οποία εκτείνεται στις τρεις διαστάσεις). Ο τρόπος με τον οποίο κάνουμε την μέτρηση του Lumen επηρεάζει το αποτέλεσμα

γι' αυτό πολύ συχνά χρησιμοποιείται ο όρος «ANSI Lumen» ο οποίος απλώς εκφράζει την προδιαγραφική μέτρησης (κατά ANSI -παρεμπιπτόντως είναι ένας πολύ καλός τρόπος μέτρησης, ειδικά για πηγές που δεν είναι σημειακές, όπως οι οθόνες, επειδή λαμβάνει υπ' όψιν του τον μέσο όρο μετρήσεων σε διάφορα σημεία). Πολύ συχνά, τέλος, χρησιμοποιούμε την έννοια της Φωτεινότητας (Luminance) η οποία μετράται σε Cd/m². Η επίσημη αυτή ονομασία αντικαθίσταται πολλές φορές στην βιβλιογραφία με κάτι πιο κομψό, το Nit.

Ο Δείκτης Αντίθεσης και η Οξύτητα σε μια προβαλλόμενη εικόνα

Ο όρος «Οξύτητα» (Sharpness) αναφέρεται στην δυνατότητα μας να χειριστούμε τις λεπτομέρειες ενός σύνθετου ηλεκτρομαγνητικού κύματος στην περιοχή του ορατού φάσματος. Η οξύτητα της όρασης, εκφράζει την ικανότητά μας να δούμε λεπτομέρειες μέσα στο οπτικό μας πεδίο, η οξύτητα μιας εικόνας βίντεο σχετίζεται με την δυνατότητα της κάμερας να συλλάβει τις λεπτομέρειες αυτές και η οξύτητα σε ένα σύστημα προβολής αναφέρεται στην δυνατότητά του να αναπαράγει λεπτομέρειες που (ελπίζουμε) περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα (αν δεν περιλαμβάνονται, απλώς λέμε ανοησίες -επομένως προσοχή!). Η οξύτητα είναι ένα χαρακτηριστικό που είναι συνάρτηση της φωτεινότητας μιας λεπτομέρειας και στο πώς αυτή μεταβάλλεται στον χώρο: «Βλέπω μικρές λεπτομέρειες» σημαίνει ότι «μπορώ να ξεχωρίζω μεταβολές φωτεινότητας που συμβαίνουν σε πολύ μικρό χώρο». Μπορείτε να αντικαταστήσετε την οξύτητα με την



Ετσι καθορίζεται ο δείκτης αντίθεσης σε ένα ορατό σήμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του οποίου η φωτεινότητα μεταβάλλεται. Η μεταβολή, φυσικά, δεν είναι απαραίτητο να είναι ημιπονοειδής.

λεπτομέρεια (Detail) αλλά όχι με την ανάλυση (Resolution): Η ανάλυση είναι μια σταθερή τεχνική παράμετρος ενός συστήματος που -ιδανικά- μας επιτρέπει να έχουμε μεγάλη οξύτητα η οποία είναι χαρακτηριστικό της εικόνας! Με δεδομένο ότι η οξύτητα περιλαμβάνει μεταβολές φωτεινότητας και χώρου, μπορούμε να την εκφράσουμε σε κύκλους ανα μονάδα μήκους (c/mm για παράδειγμα). Αν ένα σύστημα έχει δυνατότητα να αποδώσει οξύτητα 80c/lw (80 κύκλους ανά εύρος γραμμής) αυτό σημαίνει ότι μπορεί να αποδώσει 80 εναλλαγές φωτεινότητας (από το μέγιστο στο ελάχιστο) στο μήκος της γραμμής αυτής. Οπως καταλαβαίνετε, αυτή την «γραμμή» θα την συναντήσουμε σύντομα.

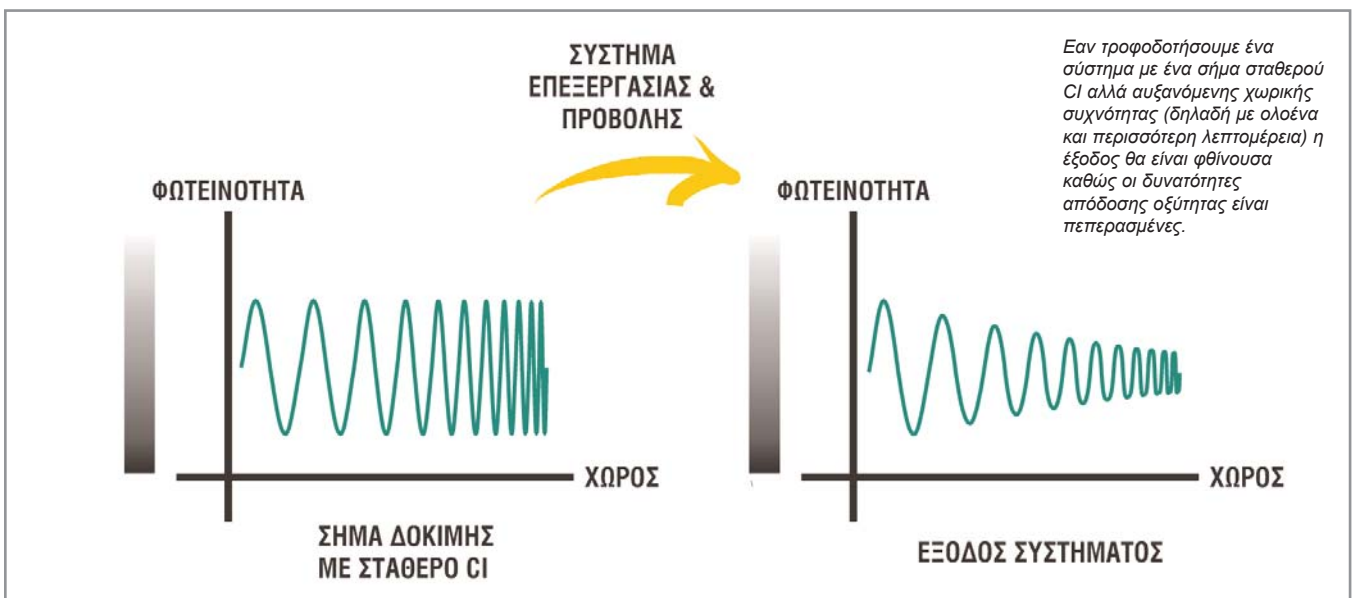
Οι κύκλοι φωτεινότητας υποδηλώνουν ότι το φωτεινό μας κύμα έχει μία ελάχιστη και μια μέγιστη τιμή. Γνωρίζοντας τις τιμές αυτές μπορούμε να καθορίσουμε ένα ενδιαφέρον μέγεθος το οποίο ονομάζουμε Δείκτη Αντίθεσης (Contrast Index, CI). Αν

καταφέρουμε να δημιουργήσουμε ένα φωτεινό κύμα με σταθερό CI σε συνάρτηση με την οξύτητά του, τότε έχουμε ένα ιδανικό σήμα μέτρησης: Τι θα γίνει αν τροφοδοτήσουμε με αυτό ένα σύστημα βίντεο; Το αποτέλεσμα θα είναι ένα σήμα του οποίου το CI μεταβάλλεται, μειούμενο σε συνάρτηση με την οξύτητα επειδή το σύστημά μας έχει διάφορες ατέλειες και περιορισμούς. Επειδή η οξύτητα μετράται σε κύκλους «ανά κάτω» ο πειρασμός να ονομάζουμε το αποτέλεσμα «απόκριση οξύτητας» είναι μεγάλος, αλλά αυτός ο όρος δεν υπάρχει. Υπάρχει όμως ο όρος MTF (Modulation Transfer Function, Συνάρτηση Μεταφοράς Διαμόρφωσης, το πηλίκο του δείκτη αντίθεσης στην έξοδο με τον δείκτη αντίθεσης στην είσοδο ενός συστήματος) που έχει την ίδια χρησιμότητα: Μας δείχνει μέχρι ποιά οξύτητα μπορεί να φτάσει το υπό μέτρηση σύστημα. Καθώς όσο αυξάνεται η οξύτητα το CI μειώνεται, κάποια στιγμή (δηλαδή από κάποιο σημείο

λεπτομέρειας και πάνω) δεν θα μπορούμε να αντιληφθούμε διαφορές φωτεινότητας επομένως αυτό είναι και το όριο του συστήματος μας. Αν σχεδιάσουμε ένα διάγραμμα με άξονες αυτή την «χωρική» συχνότητα (spatial frequency, c/mm) στον οριζόντιο και την MTF στον κάθετο, παίρνουμε μία καμπύλη που μας είναι περισσότερο χρήσιμη. Την τιμή η οποία καθορίζεται από το σημείο πτώσης της MTF στο 50% την ονομάζουμε «τυπική οξύτητα» ενώ την τιμή η οποία καθορίζεται από το σημείο πτώσης της MTF στο 10%, την ονομάζουμε «όριο οξύτητας» του συστήματος. Γύρω από το θέμα της οξύτητας και δείκτη αντίθεσης υπάρχουν δύο ενδιαφέρουσες λεπτομέρειες: Πρώτον, η οξύτητα εξαρτάται σε κάποιο βαθμό από τον δείκτη αντίθεσης: Αν τον αυξήσουμε με κάποιο τρόπο (μεγαλώνοντας το εύρος μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης φωτεινότητας) τότε στο μάτι η εικόνα εμφανίζεται με μεγαλύτερη οξύτητα, μπορούμε δηλαδή να διακρίνουμε περισσότερες λεπτομέρειες. Δεύτερον, σε ένα σύστημα προβολής ο πραγματικός δείκτης αντίθεσης εξαρτάται και από τον φωτισμό του περιβάλλοντος, ένα φαινόμενο το οποίο ονομάζουμε Surround Effect. Στο σημείο αυτό (πλὴν του να προβάλλουμε εικόνες σε πλήρως σκοτεινό χώρο) μπορεί να μας βοηθήσει μερικώς ένας γνωστός-βεβαίως, για το πολύπαθο Gamma (όνομα και μη χωριό...!)

Τί είναι τελικώς η διόρθωση Gamma;

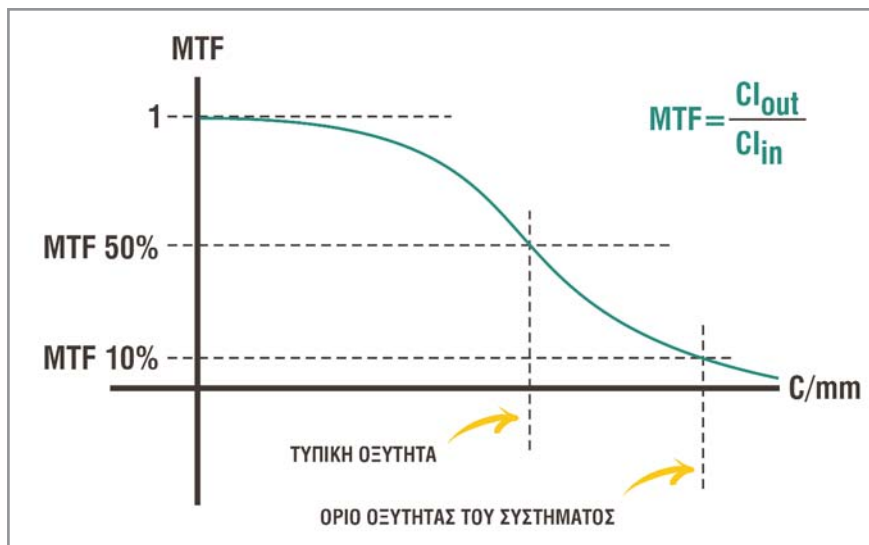
Κατ' αρχήν, πράγματι, το Gamma σημαίνει απλώς «γ». Και το γάμμα αυτό δεν είναι τίποτε άλλο από ένας ταπεινός εκθέτης στον οποίο πρέπει να ψωφθεί η τιμή ενός σήματος βίντεο (της τάσης που χρησιμοποιούμε για να περιγράψουμε ένα οπτικό γεγονός δηλαδή) για να επιστρέψει στην γραμμική σχέση που πρέπει να έχει με την φωτεινότητα της σκηνής στην



Εαν τροφοδοτήσουμε ένα σύστημα με ένα σήμα σταθερού CI αλλά αυξανόμενης χωρικής συχνότητας (δηλαδή με ολοένα και περισσότερη λεπτομέρεια) η έξοδος θα είναι φθίνουσα καθώς οι δυνατότητες απόδοσης οξύτητας είναι πεπερασμένες.

οποία αντιστοιχεί. Όταν δύο μεγέθη σχετίζονται γραμμικά, μπορούμε να τα περιγράψουμε με ένα διάγραμμα όπου η σχέση έχει την μορφή μιας ευθείας γραμμής. Ανησυχείτε; Κακώς. Μπροστά μας έχουμε μια παλιά καλή λύση στην οποία η τεχνολογία καταφεύγει συστηματικά όταν θέλει να αποφύγει τον θόρυβο: την έμφαση και την αποέμφαση. Αν έχετε χωνέψει την ισοστάθμιση RIAA (των δίσκων βινυλίου) το Gamma θα σας φανεί άσκηση νηπιαγωγίου. Ιδού πώς έχει το πράγμα:

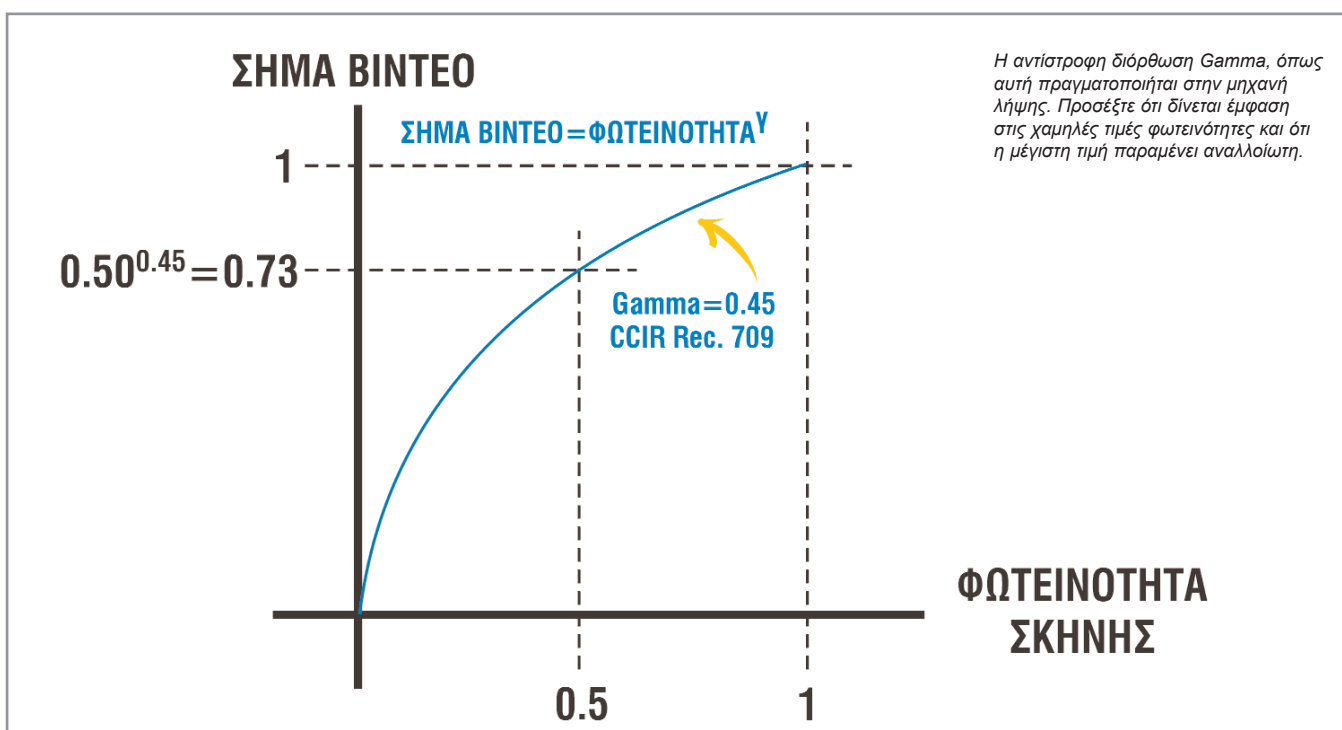
Το μάτι μας είναι περισσότερο ευαίσθητο στον θόρυβο, όταν η φωτεινότητα της σκηνής είναι χαμηλή. Στην φύση, βεβαίως, δεν υπάρχει θόρυβος, υπάρχει όμως στα ηλεκτρονικά. Στα αναλογικά συστήματα είναι αναλογικός και προέρχεται από τα κυκλώματα, ενώ στα ψηφιακά έχουμε να κάνουμε με τον θόρυβο κβάντισης. Έχοντας ως δεδομένο ένα ποσοστό θορύβου, είναι σίγουρο ότι τα λιγότερο φωτεινά μέρη του σήματος θα βρίσκονται κοντά σε αυτόν, επομένως θα ήταν μια καλή ιδέα να τα απομακρύνουμε. Μάλιστα, όσο πιο χαμηλή φωτεινότητα έχουν, τόσο περισσότερο θα θέλαμε να τα απομακρύνουμε επομένως (με ολίγα μαθηματικά) μια συνάρτηση με εκθέτη ανεξάρτητης μεταβλητής μικρότερο της μονάδας μας έρχεται κοντί. Η διαδικασία αντιστοίχισης της φωτεινότητας μιας σκηνής σε ένα σήμα βίντεο (δηλαδή σε μια τάση) όχι γραμμικά, όπως θα έπρεπε, αλλά μέσω μιας εκθετικής σχέσης γίνεται με συγκεκριμένες προδιαγραφές (CCIR Rec.709) και ονομάζεται «αντίστροφη συνάρτηση γάμμα», ο δε εκθέτης είναι 0.45. Αν είστε λάτρης των ανατριχιαστικών λεπτομερειών, ίσως σας ενδιαφέρει να γνωρίζετε ότι στην πραγματικότητα η CCIR Rec. 709 προβλέπει την χρήση μιας γραμμικής



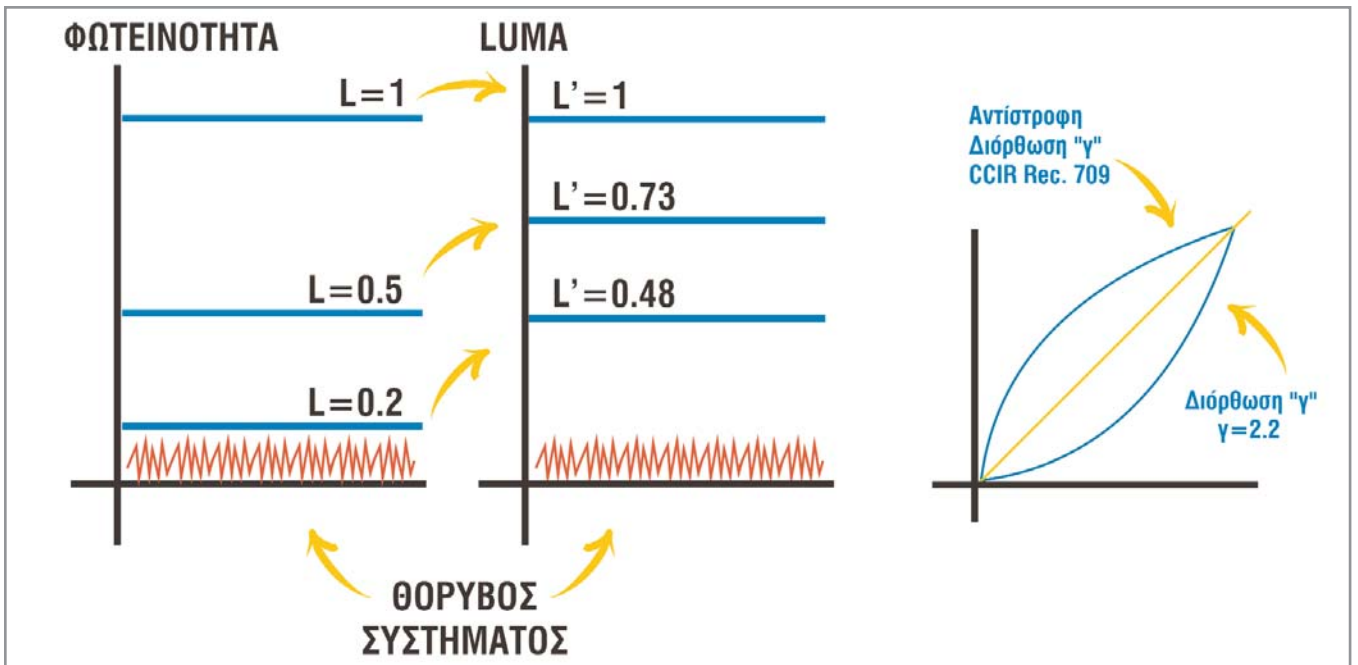
Αυτή είναι η μορφή της MTF ενός συστήματος. Με βάση αυτήν μπορούμε να καθορίσουμε την τυπική και την ελάχιστη οξύτητα που μπορεί να αποδώσει.

σχέσης στην αρχή (που υλοποιείται με μια ευθεία με κλίση 4.5) επιλογή η οποία σχετίζεται με τον θόρυβο της ίδιας της κάμερας τον οποίο δεν θέλουμε να ενισχύσουμε -αλλά αυτά είναι, πραγματικά, λεπτομέρειες. Το ενδιαφέρον, βεβαίως, βρίσκεται στο σύστημα προβολής: Εδώ, πρέπει να εφαρμοστεί η «διόρθωση γάμμα» (θυμηθείτε ότι κατά την λήψη χρησιμοποιήσαμε την «αντίστροφη»!) ώστε η σχέση τάσης σήματος βίντεο και φωτεινότητας να επανέλθει στο φυσιολογικό να είναι δηλαδή γραμμική. Στην πράξη, η διόρθωση γάμμα γίνεται με μια συνάρτηση στην ανεξάρτητη μεταβλητή της οποίας ο εκθέτης είναι ο αντίστροφος του εκθέτη που χρησιμοποιήσαμε για την αντίστροφη διόρθωση γάμμα, δηλαδή $(1/0.45)=2.2$. Επειδή η διόρθωση αυτή «τρέχει» στο

σύνολο του σήματος, μειώνει παράλληλα και την στάθμη του θορύβου. Ο συντελεστής γάμμα (2.2) έχει, επίσης ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον: Η σχέση φωτεινότητας-τάσης ανόδου-πλέγματος σε μια οθόνη CRT είναι μια συνάρτηση με εκθέτη 2.8, δηλαδή πολύ κοντά στο 2.2 που απαιτούμε και αυτό είναι -πράγματι- τυχαίο! Στην πράξη, πάντως, μας βόλεψε επί δεκαετίες και θεωρείται επαρκές ώστε η διόρθωση να γίνεται αυτόματα από την ίδια την οθόνη. Βεβαίως, σε άλλα συστήματα προβολής που δεν χρησιμοποιούν CRTs αυτό δεν ισχύει και η διόρθωση γίνεται ηλεκτρονικά και κάποιες φορές μπορεί να ρυθμιστεί. Θεωρητικά, τώρα, δεν έχει κάποιος λόγο να πειράξει το Gamma επειδή αφορά την διαδικασία λήψης των εικόνων (το 0.45 είναι προδιαγραφή που δεν αλλάζει, επομένως και για το 2.2 ισχύει το ίδιο),



Η αντίστροφη διόρθωση Gamma, όπως αυτή πραγματοποιείται στην μηχανή λήψης. Προσέξτε ότι δίνεται έμφαση στις χαμηλές τιμές φωτεινότητας και ότι η μέγιστη τιμή παραμένει αναλλοίωτη.



Ετσι δουλεύει η διόρθωση Gamma: Το σήμα με την πολύ χαμηλή φωτεινότητα είναι επικίνδυνα κοντά στον θόρυβο και το απομακρύνουμε χάρις στην συνάρτηση Gamma. Στο playback θα εφαρμόσουμε την αντίστροφη συνάρτηση ώστε να επανέλθει η γραμμική σχέση μεταξύ σήματος βίντεο και φωτεινότητας.

ωστόσο, υπάρχει το θέμα των Surround Effects τα οποία (το θυμάστε;) επηρεάζουν τον δείκτη αντίθεσης και κατ'επέκτασιν την οξύτητα της εικόνας. Υπό προϋποθέσεις λοιπόν, το Gamma μπορεί να ρυθμιστεί με γνώμονα τις συγκεκριμένες συνθήκες και έξω από την τυπικά σωστή τιμή του 2.2, ρύθμιση που καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο η συσκευή προβολής μεταφράζει το σήμα βίντεο ιδιαίτερα κοντά στο μαύρο. Ο στόχος της ρύθμισης θα πρέπει να είναι η αύξηση της οξύτητας. Αν το επιχειρήσετε θα πρέπει να θυμάστε ότι πολύ συχνά, οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν μια κανονικοποιημένη κλίμακα στις συσκευές τους, στις οποίες το Gamma 2.2 ισοδυναμεί με 1. Μην μπερδεύετε: Θα το καταλάβετε αν το «1» είναι η default

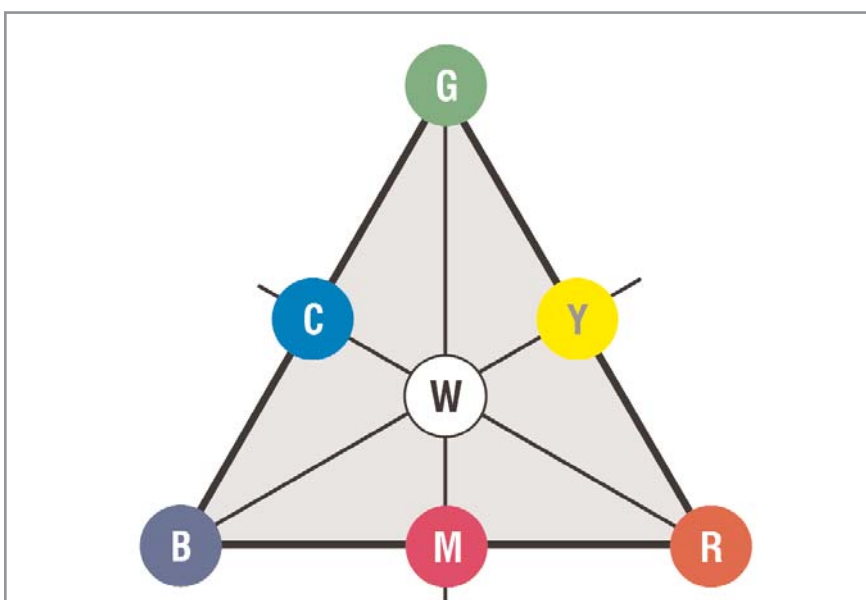
τιμή της ρύθμισης, ή το κέντρο της κλίμακας. Βεβαίως, όλα τα παραπάνω αναφέρονται κυρίως στην φωτεινότητα. Ωστόσο, το χρώμα παίζει σημαντικό ρόλο στην εντύπωση που σχηματίζουμε για μια σκηνή.

Εγχρωμη εικόνα: Πειράματα, Μοντέλα, Το Διάγραμμα CIE και το Gamut

Ενώ το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται τα χρώματα του φωτός άμεσα, μέσω των διαφορετικών υποδοχέων του, έχοντας τρία διαφορετικά είδη κωνίων το κάθε ένα από τα οποία έχει ευαισθησία σε διαφορετική περιοχή συχνοτήτων, πολύ χονδρικά με κέντρα το μπλέ, το πράσινο

και το κόκκινο, τα συστήματα λήψης και προβολής εικόνων έχουν ανάγκη από ένα σαφές μοντέλο περιγραφής των χρωμάτων μιας σκηνής. Ενα από τα παλαιότερα μοντέλα είναι το τρίγωνο του Maxwell. Πρόκειται για ένα ισόπλευρο τρίγωνο στις κορυφές του οποίου υπάρχουν τα τρία - λεγόμενα- βασικά χρώματα (κόκκινο, πράσινο μπλέ) η μείξη των οποίων μπορεί να δημιουργήσει ένα μεγάλο αριθμό χρωμάτων που περικλείονται στο τρίγωνο. Το λευκό βρίσκεται στο σημείο τομής των υψών/διχοτόμων του τριγώνου και παράγεται από μείξη σε ίσες ποσότητες και των τριών χρωμάτων. Στα σημεία τομής των υψών με τις απέναντι πλευρές υπάρχουν τρία διαφορετικά βασικά χρώματα, το κυανό, το ιώδες (ματζέντα) και το κίτρινο. Τα χρώματα αυτά μπορούν να παραχθούν από μείξη σε ίσες ποσότητες των βασικών χρωμάτων που βρίσκονται στις αντίστοιχες κορυφές της πλευράς του τριγώνου δίνοντας έτσι μια κομψότητα στο μοντέλο. Στην πράξη, από το τρίγωνο του Maxwell προκύπτουν δύο διαφορετικά μοντέλα, το αθροιστικό (additive), στο οποίο το άθροισμα των βασικών χρωμάτων δίνει το λευκό, και το αφαιρετικό (subtractive) στο οποίο η απουσία των βασικών χρωμάτων αντιστοιχεί στο λευκό. Το αθροιστικό μοντέλο είναι το γνωστό στο βίντεο RGB ενώ το CMY αποτελεί την θεωρητική βάση των χρωμάτων στην τυπογραφία. Ενα πρόβλημα το οποίο υπάρχει είναι η δυσκολία μας στο να συμφωνήσουμε για το πώς φαίνεται το κάθε χρώμα, επομένως είναι αντιστοίχως δύσκολο να συμφωνήσουμε ποιά σχέση μεταξύ R, G και B είναι η κατάλληλη για να το περιγράψει. Την διετία 1928, 1931 δύο

Το τρίγωνο του Maxwell αποτελεί ένα κομψό, αν και όχι επαρκές, μοντέλο των χρωμάτων, περιγράφοντας μάλιστα δύο τρόπους μείξης βασικών χρωματικών συνιστωσών: Τον Προσθετικό (RGB) και τον Αφαιρετικό (CMY).



ανεξάρτητα πειράματα από τους Wright και Guild έδωσαν μια λύση. Χρησιμοποιώντας μια διπλή οθόνη στην οποία πρόβαλαν ταυτόχρονα το άγνωστο χρώμα και τα τρία βασικά μπόρεσαν να φτιάξουν ένα διάγραμμα που έδινε τις σχέσεις των βασικών χρωμάτων για κάθε χρώμα. Η σχεδόν... Μια παρενέργεια των πειραμάτων των Wright και Guild ήταν η ανακάλυψη ότι το τρίγωνο Maxwell δεν αρκούσε για να περιγράψει όλα τα χρώματα. Πολύ απλά υπήρχαν χρώματα και έξω από αυτό, γεγονός που σήμαινε ότι, σε ορισμένες περιπτώσεις, υπήρχαν στο μοντέλο «αρνητικές» τιμές για κάποιο από τα βασικά χρώματα. Αν και τα ίδια τα πειράματα αντιπαρήλθαν το πρόβλημα μειζώντας το «αρνητικό» χρώμα μαζί με το άγνωστο και επιχειρώντας να προσεγγίσουν το νέο χρώμα που προέκυπτε μόνο με τα άλλα δύο βασικά, ήταν προφανές ότι ένα νέο μοντέλο ήταν απαραίτητο.

Το 1931 δημοσιεύθηκε για πρώτη φορά το «Διάγραμμα Χρωματικότητας CIE» (από την γαλλική φράση Commission Internationale de l'Éclairage, Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού). Η δημιουργία του ίδιου του διαγράμματος είναι μια εξαιρετικά κομψή και σύνθετη από μαθηματικής άποψης διαδικασία. Περιλαμβάνει την κατασκευή ενός τρισδιάστατου χρωματικού μοντέλου (ενός κύβου στον οποίο τις πέντε κορυφές -από τις οκτώ- βρίσκονται τα τρία βασικά χρώματα καθώς επίσης το μαύρο και το λευκό), την δημιουργία μιας τρισδιάστατης επιφάνειας η οποία περιέχεται στον κύβο και είναι ο γεωμετρικός τόπος των διανυσμάτων που αντιστοιχούν σε όλα τα μήκη κύματος του ορατού φωτός και τέλος τον «περιορισμό» του τρισδιάστατου αυτού χώρου σε ένα επίπεδο (που είναι βεβαίως πολύ πιο εύχρηστο) με την προβολή του σε μια επιφάνεια «σταθερής φωτεινότητας». Για να γίνει αυτό κατορθωτό (και να αποκλείσει την πιθανότητα εμφάνισης αρνητικών τιμών), η CIE επέλεξε να απαλλείψει από το διάγραμμα τα ίδια τα βασικά χρώματα και να τα αντικαταστήσει με δύο συντεταγμένες x και y οι οποίες προκύπτουν από αυτά. Η λύση αυτή μας προσφέρει την δυνατότητα να επιλέξουμε τα βασικά χρώματα της αρεσκείας μας και όχι μόνο τα R, G και B. Πολλές λεπτομέρειες για την μαθηματική διαδικασία μέσω της οποίας καταλήγουμε στο διάγραμμα CIE μπορείτε να βρείτε στις αναφορές [4] και [7]. Το αποτέλεσμα, στο τέλος, είναι το γνωστό «πεταλοειδές» διάγραμμα χρωματικότητας. Το διάγραμμα αυτό περιλαμβάνει όλα τα ορατά (στον μέσο παρατηρητή) χρώματα, με τα μονοχρωματικά (αυτά δηλαδή που αντιστοιχούν σε μια ακτινοβολία με συγκεκριμένο μήκος κύματος) να βρίσκονται στο καμπύλο τμήμα του (που ονομάζεται Spectral Locus) και μια σειρά αποχρώσεων του ιώδους που δεν αντιστοιχεί σε μονοχρωματικές

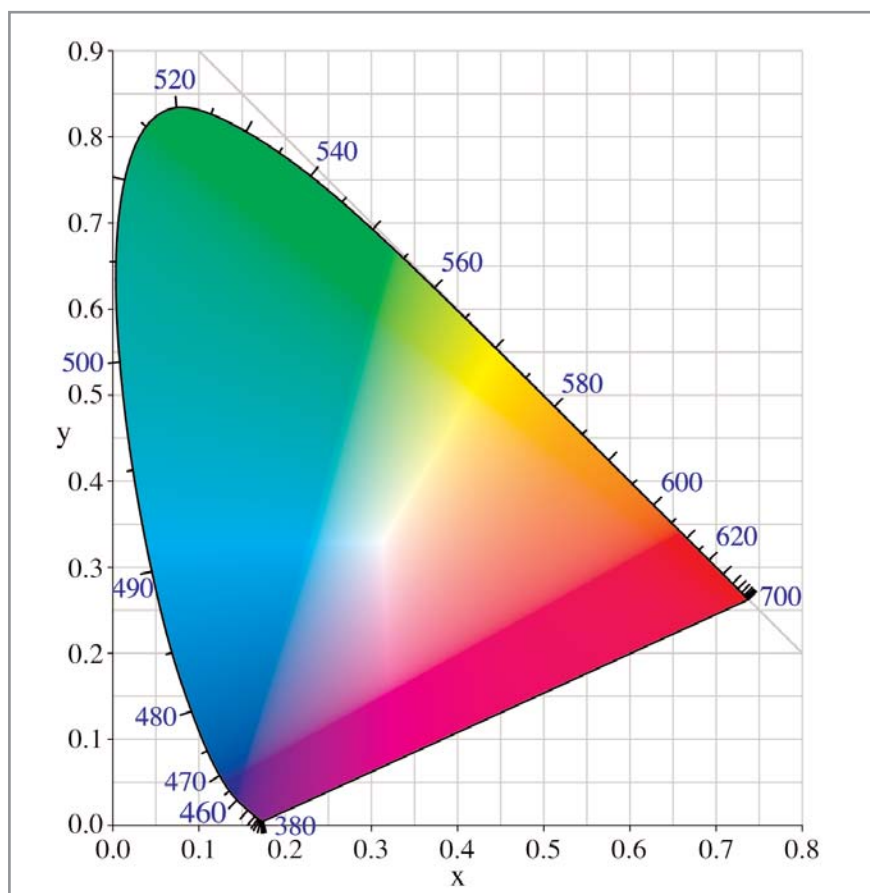


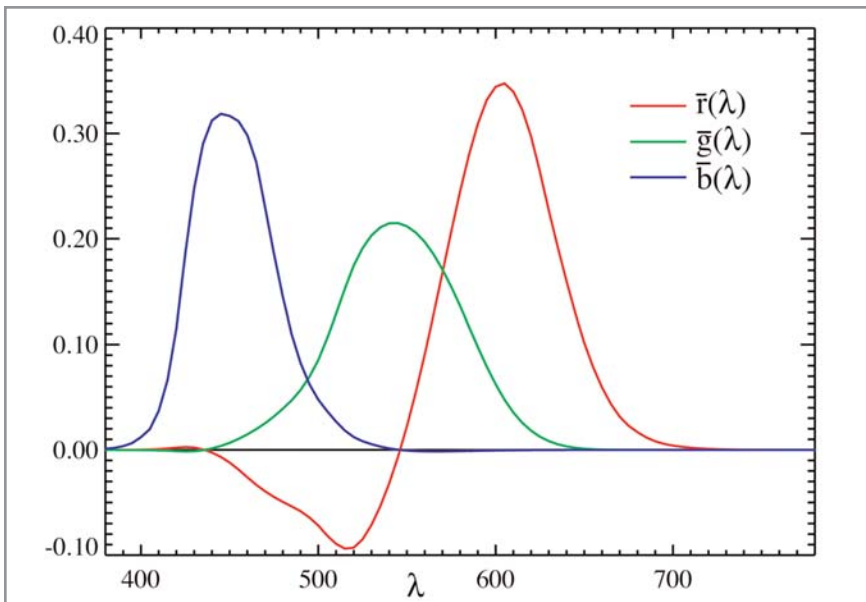
Ο τρόπος προσδιορισμού των χρωματικών συνιστωσών στα πειράματα των Wright και Guild.

ακτινοβολίες να βρίσκονται στην βάση (η οποία ονομάζεται Purple Line). Τα χρώματα που βρίσκονται στο εσωτερικό του διαγράμματος είναι χρώματα «λιγότερο κορεσμένα» σε σχέση με αυτά που βρίσκονται στην περιφέρεια. Είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσει κανείς ότι το συγκεκριμένο σχήμα δεν επιδέχεται την χάραξη ενός τριγώνου του οποίου οι κορυφές να ανήκουν στο διάγραμμα (επομένως να εκπέμπουν ορατό φως) και ταυτόχρονα οι πλευρές του να εμπεριέχουν ολόκληρο το διάγραμμα. Αυτό στην πράξη σημαίνει ότι δεν μπορούμε να φτιάξουμε ένα σύστημα

τριών βασικών χρωμάτων που να καλύπτει το σύνολο των ορατών χρωμάτων! Η παρατήρηση αυτή μας οδηγεί στο ορισμό του όρου «Gamut». Το Gamut είναι το γνήσιο υποσύνολο των χρωμάτων τα οποία μπορεί να αναπαράγει ένα δεδομένο μοντέλο ή ακόμη και μια συγκεκριμένη συσκευή (το λέμε γνήσιο επειδή δεν μπορεί να γίνει ποτέ ίσο με το αρχικό σύνολο που καθορίζει το διάγραμμα). Επειδή όλα μας τα μοντέλα είναι τριχρωματικά, τα Gamut είναι συνήθως τριγωνικά σχήματα τα οποία περιλαμβάνουν τα χρώματα που μπορούν

Το διάγραμμα χρωματικότητας που δημοσίευσε η CIE (από την γαλλική φράση Commission Internationale de l'Éclairage, Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού) το 1931





Το CIE 1931 μπορεί να προσαρμοστεί σε οποιαδήποτε τριάδα βασικών χρωμάτων. Οι καμπύλες των RGB είναι φυσικά από τις πλέον διαδεδομένες: Προσέξτε ότι σε αυτό το διάγραμμα εμφανίζονται και «αρνητικές» τιμές.

να αναπαραχθούν, ενώ το ειδικό υποσύνολο, που περιλαμβάνει όλα τα χρώματα του διαγράμματος (είναι δηλαδή το ίδιο το διάγραμμα) αντιστοιχεί στο gamut του ανθρώπινου συστήματος όρασης. Πολύ συχνά του διαγράμματος χρωματικότητας υπερτίθεται ο γεωμετρικός τόπος εκπομπής του Σώματος του Planck (ο οποίος είναι γνωστός και ως Planckian Locus). Στην περίπτωση αυτή μπορεί κανείς να δει τα χρώματα που αντιστοιχούν σε κάθε θερμοκρασία. Στο χρωματικό διάγραμμα, τέλος, συχνά

τοποθετούνται τα σημεία που αντιστοιχούν σε διάφορα «λευκά» με το σημαντικότερο να είναι το λευκό της ημέρας γνωστό και με την ονομασία D65 Daylight του οποίου οι συντεταγμένες έχουν καθοριστεί από το CIE, το 1964, ως $x=0.31382$ και $y=0.33100$, συντεταγμένες που αντιστοιχούν στην εκπομπή του σώματος Planck όταν αυτό βρίσκεται σε θερμοκρασία 6500K. Όλη αυτή η θεωρία περί μοντέλων και των τρόπων που έχουμε στη διάθεσή μας να κωδικοποιούμε το χρώμα αποκτά,

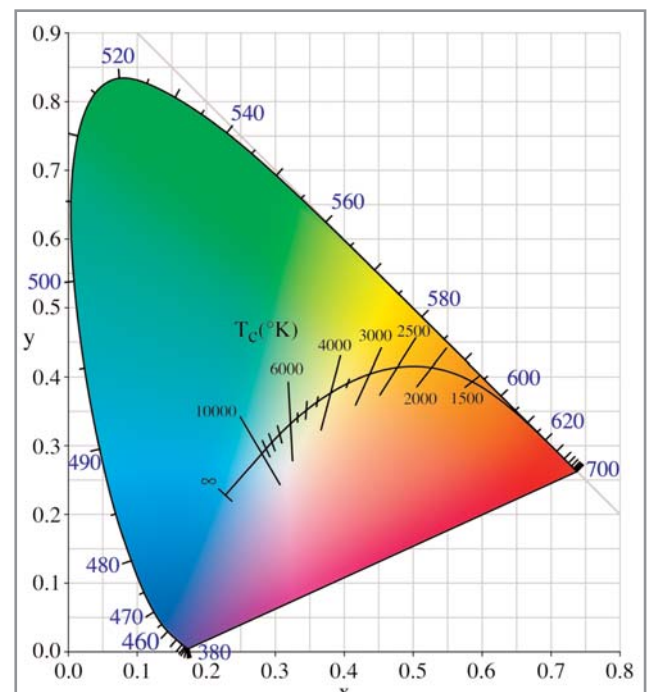
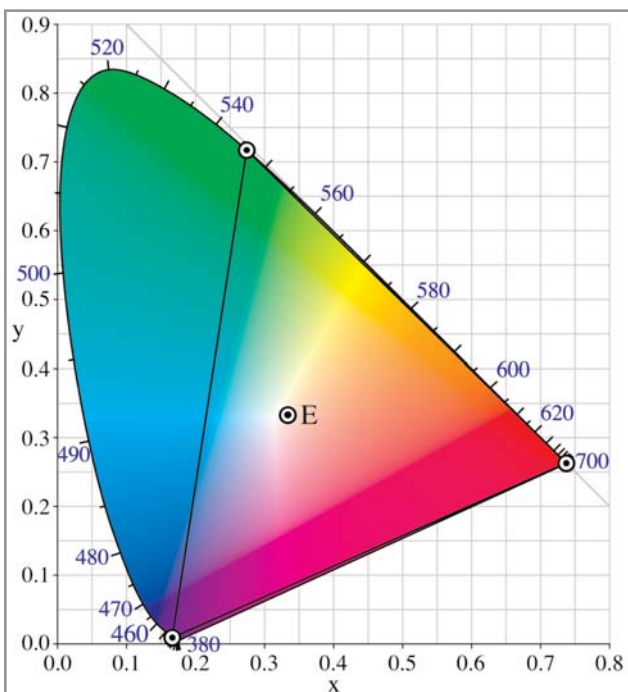
βεβαίως, αξία μόνο υπό μια προϋπόθεση: Οτι είμαστε σε θέση, με κάποιο τρόπο να μετατρέψουμε μια πραγματική σκηνή σε σήμα βίντεο.

Βίντεο: Περί Χρονικού και Χωρικού Δειγματισμού

Όταν το ίδιο το μάτι είναι μια εξελιγμένη συσκευή δειγματισμού, η αρχή λειτουργίας κάθε συστήματος λήψης εικόνων είναι βεβαίως μονόδρομος. Στην περίπτωση του βίντεο μιλάμε για λήψη δειγμάτων μιας σκηνής, αλλά βεβαίως το θέμα που έχει ενδιαφέρον είναι ο τρόπος με τον οποίο λαμβάνονται τα δείγματα αυτά. Ο ορατός κόσμος γύρω μας αποτελείται από πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας οι οποίες εκπέμπουν κύματα μεταβλητής έντασης και συχνότητας (είναι δηλαδή μεταβαλλόμενης φωτεινότητας και χρώματος), επομένως χρειαζόμαστε έναν μηχανισμό ο οποίος να λαμβάνει δείγματα αυτών των δύο παραμέτρων (δηλαδή της οξύτητας και του μήκους κύματος) αλλά οι πηγές αυτές έχουν και άλλη μία ιδιότητα: Κινούνται! Επομένως εκτός του πρώτου μηχανισμού λήψης δειγμάτων θέλουμε και έναν δεύτερο, ο οποίος λαμβάνει δείγματα της θέσης της πηγής στον χώρο. Το βίντεο επομένως πρέπει να χρησιμοποιεί δύο δειγματισμούς: Τον χωρικό (spatial) ο οποίος χρησιμοποιείται για να περιγράψει το πεδίο ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που δημιουργούν οι πηγές σε μια οπτική πραγματικότητα και τον χρονικό (temporal) ο οποίος χρησιμοποιείται για να περιγράψει την κίνηση των πηγών αυτών,

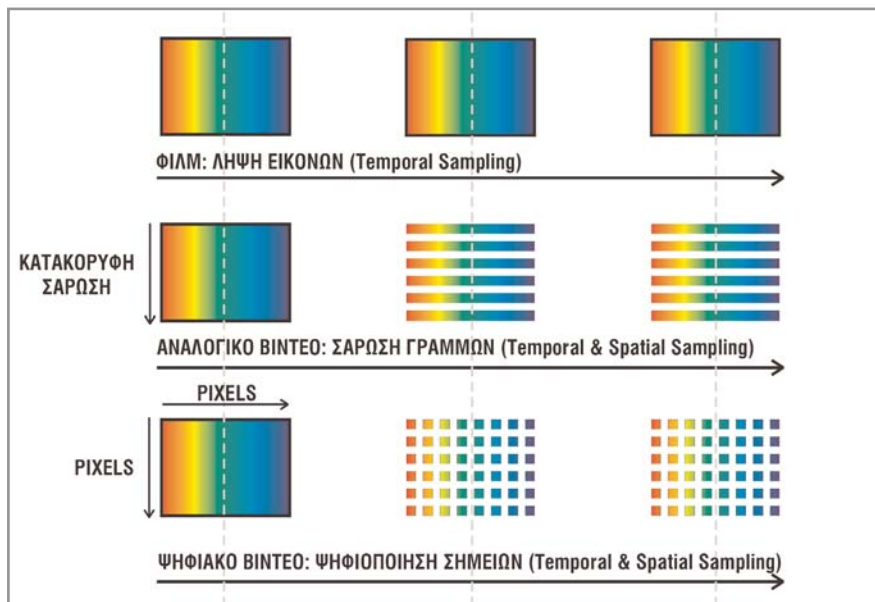
Οι αρνητικές τιμές των συνιστωσών RGB απαλείφονται στο γνωστό πεταλοειδές διάγραμμα. Εδώ φαίνονται τα μήκη κύματος των βασικών χρωμάτων και το Gamut του συστήματος RGB, το οποίο περιλαμβάνεται στο εσωτερικό του τριγώνου. Τα χρώματα έξω από αυτό δεν μπορούν να αναπαραχθούν.

Στο διάγραμμα χρωματικότητας CIE πολλές φορές υπερτίθεται μια καμπύλη που είναι γνωστή ως ο γεωμετρικός τόπος του Planck, όπου φαίνονται τα χρώματα που αντιστοιχούν στις διάφορες θερμοκρασίες του Μαύρου Σώματος. Η θερμοκρασία 6500K αντιστοιχεί στο λευκό που είναι γνωστό ως D65 Daylight.



αν αυτές βεβαίως κινούνται. Η τεχνολογία λήψης εικόνων που έχουμε στην διάθεσή μας, μάς προσφέρει τρεις δυνατότητες όσον αφορά τον χωρικό δειγματισμό: Την φωτογράφιση, την αποτύπωση δηλαδή της ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια μέσω κάποιας φωτοχημικής μεθόδου, την σάρωση σε γραμμές, την περιγραφή δηλαδή μιας εικόνας με βάση τον χωρισμό της σε οριζόντιες περιοχές και την διατήρηση πληροφορίας για το πώς μεταβάλλεται η φωτεινότητα σε κάθε γραμμή και τέλος τον δειγματισμό σημείων (pixels) τον χωρισμό δηλαδή της εικόνας σε στοιχειώδη μέρη και την περιγραφή κάθε μέρους ξεχωριστά. Οι τρεις αυτές δυνατότητες είναι γνωστές με τα ονόματα «φίλμ», «αναλογικό βίντεο» και «ψηφιακό βίντεο» αντίστοιχα. Ο παρατηρητικός αντιλαμβάνεται αμέσως από τις παραπάνω περιγραφές ότι ο χωρικός δειγματισμός αφορά σε ακίνητες εικόνες: Με κάποιο τρόπο «παγώνουμε» το πεδίο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και αποθηκεύουμε πληροφορίες γύρω από αυτό. Είναι χρήσιμο να θυμόμαστε ότι δεν υπάρχει τεχνολογία κινούμενης εικόνας με την ακριβή έννοια του όρου. Η δυνατότητές μας περιορίζονται στην λήψη πολλών στατικών εικόνων και στην γρήγορη προβολή τους. Υπό την έννοια αυτή, το βίντεο εν γένει είναι μια εξαιρετικά ατελής προσπάθεια προσέγγισης του συστήματος όρασης μας.

Αν οι πηγές της ορατής ακτινοβολίας αλλάζουν θέση σε συνάρτηση με τον χρόνο, η διαδοχική λήψη στατικών εικόνων θα τις εμφανίζει σε διαφορετικές συντεταγμένες κάθε φορά. Η διαδοχή των εικόνων είναι ο μηχανισμός χρονικού δειγματισμού που έχουμε στην διάθεσή μας και ο οποίος είναι κοινός και στις τρεις τεχνικές χωρικού δειγματισμού. Η ταχύτητα με τον οποίο λαμβάνουμε τις εικόνες αυτές αλλάζει από εποχή σε εποχή και από σύστημα σε σύστημα και είναι γνωστή με διάφορες ονομασίες: Τα «καρέ ανα δευτερόλεπτο», η cadence, είναι ο όρος του κινηματογράφου για την ταχύτητα του φιλμ, τα «πλαίσια ανα δευτερόλεπτο», fps, είναι ο όρος που χρησιμοποιείται στο βίντεο. Πώς επιλέγεται η ταχύτητα λήψης χρονικών δειγμάτων; Η απλή απάντηση σε αυτό το ερώτημα είναι ότι επιλέγεται έτσι ώστε το μετείκασμα (η δυνατότητα του ματιού να εκλαμβάνει ως κινούμενη εικόνα μια αλληλουχία στατικών εικόνων) να είναι ισχυρό. Σωστά; Σχεδόν! Κατ' αρχήν όσον αφορά το μετείκασμα (Persistence of Vision): Σύμφωνα με ορισμένες πηγές [7] το μετείκασμα μπορεί να οφείλεται στην σακκαδική κίνηση των ματιών μας, στο γεγονός δηλαδή ότι αυτά πραγματοποιούν μια διαδικασία υπερδειγματοληψίας της οποίας το αποτέλεσμα απαιτεί κάποιο χρόνο για να γίνει αντιληπτό. Αν αυτό ισχύει, ο χρόνος που απαιτείται είναι πολύ μικρός και δεν δικαιολογεί την χρήση τόσο υψηλών ταχυτήτων όπως τα 24 καρέ



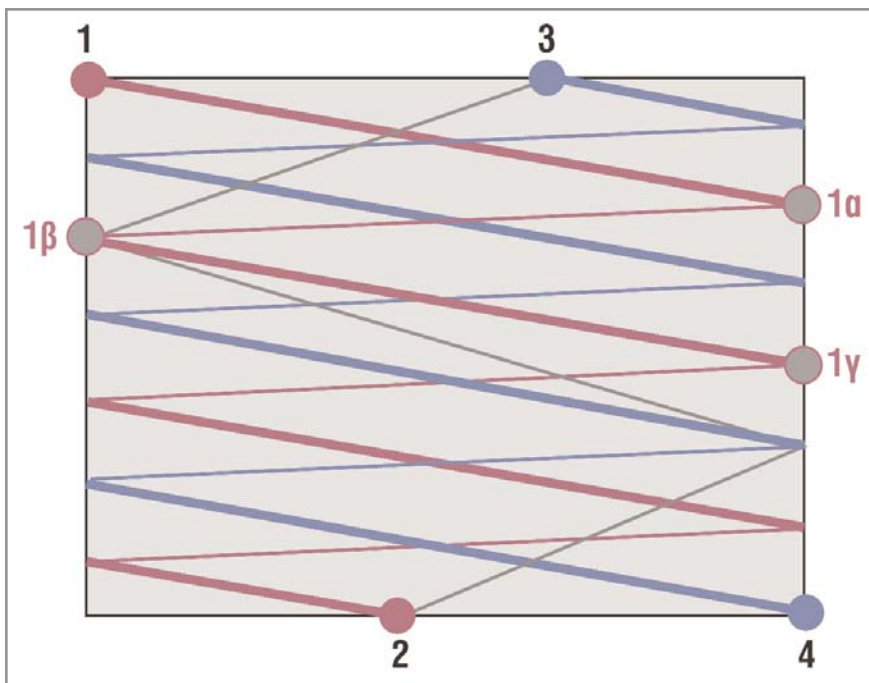
Οι τρόποι δειγματισμού της ορατής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που έχουμε στην διάθεσή μας είναι το φιλμ, το αναλογικό βίντεο και το ψηφιακό βίντεο.

του κινηματογράφου ή τα 25/30 πλαίσια του βίντεο. Ο λόγος που χρησιμοποιούμε τόσο μεγάλες ταχύτητες και προσπαθούμε να τις κάνουμε ακόμη μεγαλύτερες (με τεχνολογίες όπως τα 100Hz της τηλεόρασης ή τις μεγάλες συχνότητες που χρησιμοποιούνται στις απαιτητικές εφαρμογές γραφικών) βρίσκεται στην διαφορά που υπάρχει μεταξύ της λειτουργίας του ματιού και του μηχανών λήψης. Το μάτι είναι ένα όργανο του οποίου η ευαισθησία στην λεπτομέρεια επικεντρώνεται σε πολύ περιορισμένο σημείο (το οποίο ονομάζεται Fovea και περιλαμβάνει τα κωνία). Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι ως παρατηρητές είμαστε αναγκασμένοι να παρακολουθούμε το αντικείμενο που μας ενδιαφέρει στρέφοντας τους βολβούς μας ή ακόμη και το κεφάλι μας καθώς αυτό κινείται. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται tracking και «ακινητοποιεί» το αντικείμενο με άλλα λόγια μηδενίζει την χρονική συχνότητα (temporal frequency) της πηγής! Τα μάτια μας δεν είναι πολύ ικανά να διακρίνουν χωρικές συχνότητες (δηλαδή πληροφορία οξύτητας) όταν η σκηνή περιέχει ταυτόχρονα και μεγάλες αλλαγές χρονικές συχνότητες (κάτι που αντιλαμβανόμαστε ως θάμπωμα λόγω ταχύτητας). Από την άλλη, μια μηχανή λήψης δεν κάνει tracking! Αποτέλεσμα αυτού είναι το βίντεο που προκύπτει να περιλαμβάνει μεγάλες χρονικές συχνότητες. Θεωρητικά, δεν θα έπρεπε να μπορούμε να δούμε καθαρά ένα αντικείμενο που κινείται στην οθόνη! Ωστόσο, ο μηχανισμός tracking του ματιού μπορεί να δουλύνει κι εδώ: Είναι δυνατόν, πράγματι, να εστιάσουμε την προσοχή μας στο κινούμενο επί της οθόνης αντικείμενο και να το κάνουμε «ακίνητο», μηδενίζοντας την χρονική συχνότητα και βλέποντας τις λεπτομέρειες. Ωστόσο, αν το κάνουμε αυτό, κάτι άλλο αρχίζει να κινείται: Το φόντο! Η κίνηση αυτή στην πραγματική ζωή θα ήταν συνεχής (κάντε το πείραμα

στο τρένο: αν εστιάσετε την προσοχή σας σε ένα αντικείμενο, το περιβάλλον αρχίζει να «τρέχει» αλλά δεν σας ενοχλεί, η ίδια σκηνή σε μία τηλεόραση θα είναι μια κόλαση!) αλλά στο βίντεο είναι συνεχής: Το φόντο δεν αλλάζει απλώς κινούμενο σε σχέση με τον παρατηρητή, αλλάζει με τον ρυθμό ανανέωσης των καρέ (ή των πλαισίων) και τότε δημιουργείται ένα φαινόμενο που ονομάζεται background strobing. Το strobing δεν σχετίζεται με το μετείκασμα και μπορεί να διορθωθεί αυξάνοντας τον αριθμό των καρέ/πλασίων έστω και τεχνικά (με interpolation ας πούμε). Έτσι εξηγείται γιατί μια τηλεόραση με ρυθμό ανανέωσης 100Hz είναι «πιο ξεκούραστη» και μας φαίνεται καλύτερη από μια συμβατική, ενώ στην πραγματικότητα δεν προσθέτει πληροφορίες στο σήμα βίντεο. Και αφού ο λόγος περί πληροφοριών αξίζει τον κόπο να δούμε πώς αυτές προβάλλονται αφού αποθηκευτούν...

Η Σάρωση και ο Συγχρονισμός των σημάτων Βίντεο

Το συμβατικό βίντεο που όλοι γνωρίζουμε (που λέει ο λόγος) και αγαπάμε (που λέει ο λόγος -πάλι) όπως άλλωστε και η τηλεόραση χρησιμοποιούν ως μέθοδο χωρικού δειγματισμού την σάρωση σε γραμμές και ως συχνότητα χρονικού δειγματισμού τα 25 πλαίσια ανά δευτερόλεπτο. Τί σημαίνει αυτό; Οτι μία κάμερα ακινητοποιεί το ορατό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που συλλέγει με τον φακό της 25 φορές το δευτερόλεπτο (κάθε φορά χωρίζει την στατική εικόνα (διάρκειας 1/25 του δευτερολέπτου) σε οριζόντιες γραμμές. Σάρωση σε γραμμές, πάλι, σημαίνει ότι για κάθε γραμμή αποθηκεύουμε την πληροφορία για το πώς



Κατά την σάρωση, το σύστημα μετακινεί μια η περισσότερες δέσμες κατά μήκος των γραμμών που απαρτίζουν μια εικόνα. Παρακολουθήστε την πορεία σάρωσης των περιττών γραμμών (μύβ μεγάλου πλάτους), την επιστροφή της δέσμης (Flyback, μωβ γραμμή μικρού πλάτους), και την επιστροφή για την σάρωση του επόμενου πεδίου.

μεταβάλλεται η φωτεινότητα κατά μήκος της. Μια παρεξήγηση που μπορεί να συμβεί εδώ είναι να μπερδέσουμε την φωτεινότητα και τις μεταβολές της κατά μήκος της γραμμής με το σήμα φωτεινότητας του βίντεο: Καμμία σχέση. Η φωτεινότητα της γραμμής περιλαμβάνει και την πληροφορία του χρώματος (θυμηθείτε ότι μια ορατή πηγή καθορίζεται από την ένταση και την συχνότητά της -δηλαδή το χρώμα της και ότι οι μεταβολές της φωτεινότητας στον χώρο είναι η οξύτητα) ενώ το σήμα φωτεινότητας στο βίντεο είναι απλώς ένα μέρος ενός ευρύτερου μοντέλου απεικόνισης! Επιστρέφοντας στην μηχανή λήψης και στα 25 πλαίσια ανα δευτερόλεπτο που παράγει, τώρα, θα συναντήσουμε κάτι που ονομάζεται πλεκτή σάρωση (interlacing). Αντι η κάμερα να σαρώνει όλες τις διαθέσιμες γραμμές (αυτές δηλαδή που ο μηχανισμός της τής επιτρέπει να σαρώσει) μέσα σε 1/25 του δευτερολέπτου, σαρώνει τις γραμμές που βρίσκονται σε περιττές θέσεις (1η, 3η, 5η κ.λπ) στο πρώτο 1/50 και τις γραμμές που βρίσκονται σε άρτιες θέσεις (2η, 4η, 6η κ.λπ) στο δεύτερο 1/50 του δευτερολέπτου. Η πλεκτή σάρωση αφορά σε θέματα οικονομίας κατά την κατασκευή των πρώτων συστημάτων λήψης και απεικόνισης και μας αφορά, διότι καταλήγει σε μία ιδιόμορφη διαδοχή πληροφορίας προς το σύστημα απεικόνισης: Αυτό δέχεται μια αλληλουχία από μισά πλαίσια (τα οποία ονομάζουμε πεδίο και είναι μισά υπό την έννοια ότι

έχουν την μισή από την θεωρητικά διαθέσιμη ανάλυση) και πρέπει να πραγματοποιήσει μια αντίστροφη σάρωση (αυτή την φορά στις γραμμές της οθόνης) για να δημιουργήσει την εικόνα. Αυτό γίνεται ακριβώς όπως λέγεται: Η οθόνη σαρώνεται από αριστερά προς τα δεξιά για κάθε γραμμή και από πάνω προς τα κάτω για όλο το ύψος της οθόνης. Στην πλεκτή σάρωση η κίνηση από πάνω προς τα κάτω γίνεται «γραμμή παρά γραμμή» και θα πρέπει να λάβετε υπ' όψιν σας ότι οι γραμμές έχουν μια μικρή κλίση, δεν είναι δηλαδή οριζόντιες. Όσο η δέσμη σαρώνει μια γραμμή, η φωτεινότητά της αλλάζει ανάλογα με τις πληροφορίες. Στην απλή μονόχρωμη (και όχι ασπρόμαυρη, όπως κακώς λέγεται) προβολή, υπάρχει μια δέσμη της οποίας αλλάζει η ένταση. Το αποτέλεσμα της αλλαγής της έντασης είναι η δημιουργία κύκλων φωτεινότητας (δηλαδή λεπτομερειών!) δηλαδή, με απλά λόγια, μιας μονόχρωμης εικόνας. Στην έγχρωμη προβολή τα πράγματα δεν είναι πολύ δυσκολότερα: Τρεις διαφορετικές δέσμες (που αντιστοιχούν στα βασικά χρώματα του συστήματος) σαρώνουν τρεις διαφορετικές γραμμές (στην πραγματικότητα υπάρχει μια γραμμή με τριάδες φωσφόρου που εκπέμπουν σε διαφορετικά μήκη κύματος στις συμβατικές, παλιές, CRT ή μια τριάδα sub-pixels στις σύγχρονες flat matrix τηλεοράσεις) και η διαμόρφωσή τους δημιουργεί όχι μόνο κύκλους φωτεινότητας (δηλαδή λεπτομέρειες) αλλά και συγκεκριμένα μήκη κύματος (δηλαδή χρώματα) με βάση το χρωματικό μοντέλο RGB. Στο τέλος της γραμμής, η δέσμη (ή οι δέσμες) επιστρέφει στην αρχή της επόμενης γραμμής, όπως παλιά επέστρεφε ο κύλινδρος της γραφομηχανής στην αρχή της επόμενης σειράς, και η διαδικασία επαναλαμβάνεται για ολόκληρο το ύψος

της εικόνας. Αυτό το «επιστρέφει» βεβαίως, λέγεται εύκολα αλλά γίνεται δυσκολότερα. Το Line Flyback, όπως ονομάζεται στην ορολογία του βίντεο, πρέπει να γίνει σε πλήρη συγχρονισμό με τις πληροφορίες φωτεινότητας που αφορούν στην επόμενη γραμμή. Αν δεν γίνει, το σύστημα, απλώς, δεν λειτουργεί! Όλα αυτά φέρνουν στην επιφάνεια το θέμα του συγχρονισμού του σήματος βίντεο, κάτι το οποίο είναι γνωστό απλώς ως «sync». Τον συγχρονισμό τον συναντάμε συχνά: Λέμε, για παράδειγμα ότι ένας προβολέας έχει είσοδο RGBHV, με ξεχωριστές γραμμές οριζόντιο και κατακόρυφο συγχρονισμού, ή ότι στο βύσμα Scart το σήμα RGB έχει «τον συγχρονισμό στο πράσινο» (RGsB) κ.λπ, κ.λπ. Για να αντιληφθούμε το τεχνικό πρόβλημα του συγχρονισμού θα πρέπει να τον δούμε ως μια πληροφορία η οποία πρέπει να συνυπάρχει με το σήμα του βίντεο όταν το μόνο πράγμα που μπορούμε να διαμορφώσουμε είναι μια τάση! Η πολύπλοκες κυματομορφές του βίντεο (που πιθανόν έχετε δει) κάνουν, στην πράξη, μια απλή δουλειά: Μοιράζουμε το σύνολο της διαθέσιμης τάσης (1V p-p, τυπικά) σε δύο μέρη: Αυτό που μεταφέρει το σήμα συγχρονισμού και διαμορφώνει τα πρώτα 0.3V και αυτό που μεταφέρει τις πληροφορίες φωτεινότητας και διαμορφώνει τα υπόλοιπα 0.7. Στα χαρτιά, η καλύτερη στάθμη φωτεινότητας, δηλαδή το σήμα που αντιστοιχεί στο μαύρο, καθορίζει το σημείο διαχωρισμού των σημάτων sync από τα σήματα εικόνας (και ονομάζεται Black Level). Στην πράξη, χρησιμοποιούμε μια μικρή τάση καταφλίου που διαχωρίζει τα δύο σήματα (Set Up Level), οπότε μέσα στο συνολικό πλάτος του σήματος έχουμε δυο περιοχές που δεν εφάπτονται πλέον: Την περιοχή συγχρονισμού (κάτω από την στάθμη αμαύρωσης - Blanking Level- η στάθμη του καταφλίου) και την περιοχή του σήματος εικόνας (Active Line) η οποία βρίσκεται κάτω από την στάθμη του μαύρου (είναι δηλαδή «πιο μαύρο από το μαύρο») εκλαμβάνεται ως συγχρονισμός και δεν προβάλλεται. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να προσέχουμε τις τάσεις μας γενικώς: Αν με κάποιο τρόπο αντιστοιχήσουμε μια πολύ «μαύρη» λεπτομέρεια σε στάθμη κάτω του 0.3V απλώς την χάνουμε. Μπορεί να γίνει αυτό; Ατυχώς Ναι! Το πώς, θα το συναντήσουμε σε άλλο μέρος του κειμένου. Επιστρέφοντας στον συγχρονισμό, μπορούμε να κάνουμε δύο παρατηρήσεις: Πρώτον, οι ακμές του σήματος δεν είναι κάθετες αλλά έχουν κάποια κλίση: Ο πεπερασμένος χρόνος που απαιτείται για να δημιουργηθούν οι παλμοί αυτοί, έναντι του θεωρητικώς μηδενικού που χαρακτηρίζει τους τέλειους τετραγωνικούς παλμούς, μειώνει την απόκριση συχνότητας που πρέπει να έχει το σύστημά μας και το εύρος συχνότητας του

καναλιού που μεταφέρει την πληροφορία. Δεύτερον, είναι προφανές, ότι το σύνολο του σήματος sync, δηλαδή τα κατάφλια, η διάρκεια του παλμού και το σήμα Flyback έχουν κάποια συγκεκριμένη διάρκεια. Ο χρόνος που απαιτούν περιορίζει την χωρική συχνότητα (δηλαδή την μέγιστη οξύτητα ή τον μέγιστο αριθμό λεπτομερειών που μπορούν να αναπαραχθούν σε κάθε γραμμή) καθώς επίσης και τον αριθμό των οριζόντιων γραμμών που μπορούν να προβληθούν (δηλαδή την κατακόρυφη ανάλυση) σε σχέση με τις θεωρητικές τιμές, επειδή στον χρόνο που απαιτείται για να σαρωθεί η γραμμή μέχρι το θεωρητικό της τέλος η δέσμη απλώς επιστρέφει για να σαρώσει την επόμενη, και στον χρόνο που απαιτείται για να σαρωθούν οι τελευταίες γραμμές ενός πεδίου, η δέσμη επιστρέφει στην κορυφή του επόμενου. Αυτοί αλλά και κάποιοι άλλοι παράγοντες επηρεάζουν όπως θα δούμε αμέσως την ανάλυση (Resolution) ενός συστήματος βίντεο.

Τι είναι η Ανάλυση; Σήματα Χρωματοδιαφορών και το Ψηφιακό Βίντεο

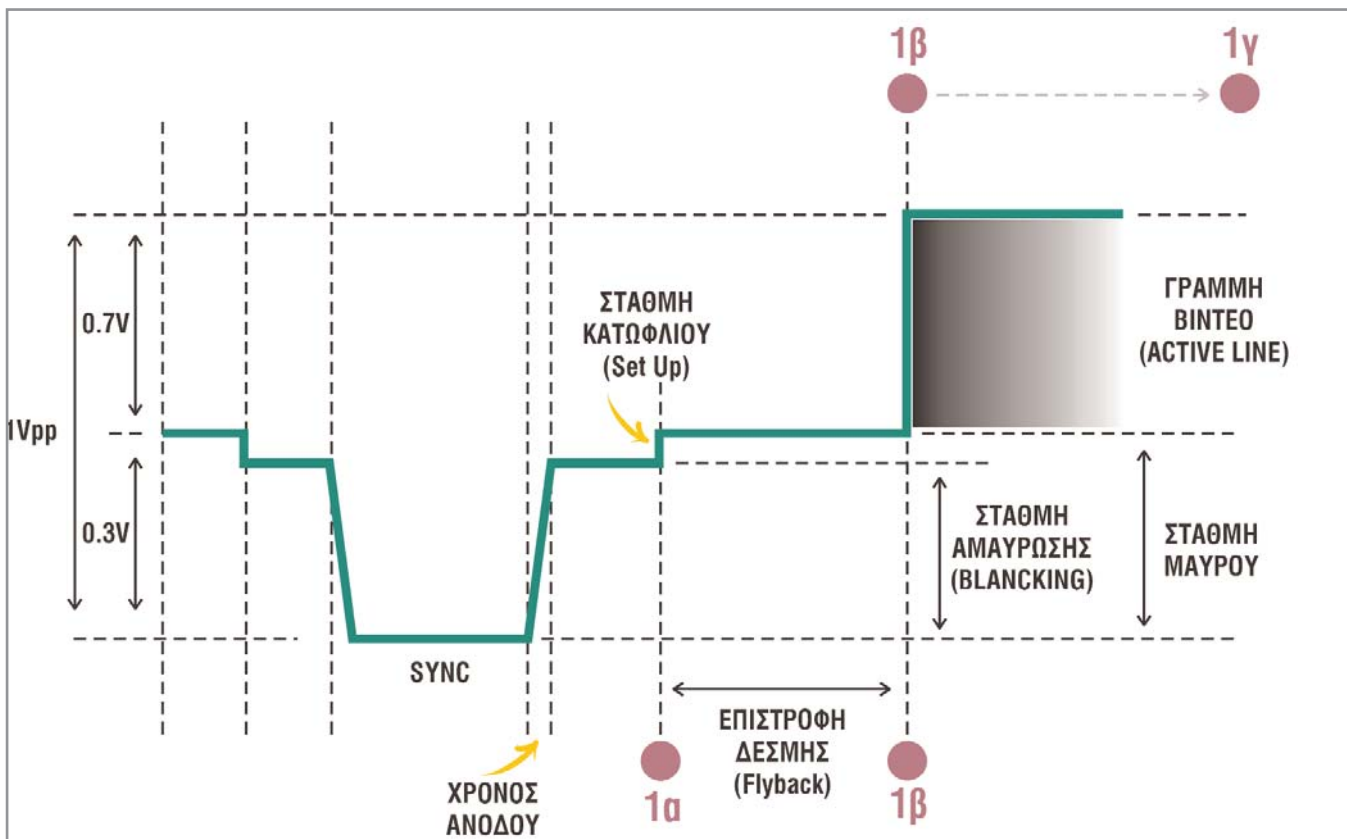
Η έννοια της ανάλυσης είναι συχνά παρεξηγημένη, καθώς υπάρχει μια τάση να την μπερδεύουμε με την οξύτητα. Είναι σημαντικό να διευκρινιστεί, επομένως, ότι ενώ η οξύτητα είναι χαρακτηριστικό της προβαλλόμενης εικόνας (αφορά δηλαδή το πόσες και πόσο μικρές σε διαστάσεις λεπτομέρειες μπορούμε να δούμε) η ανάλυση είναι η τεχνική παράμετρος που μας επιτρέπει να λάβουμε, να

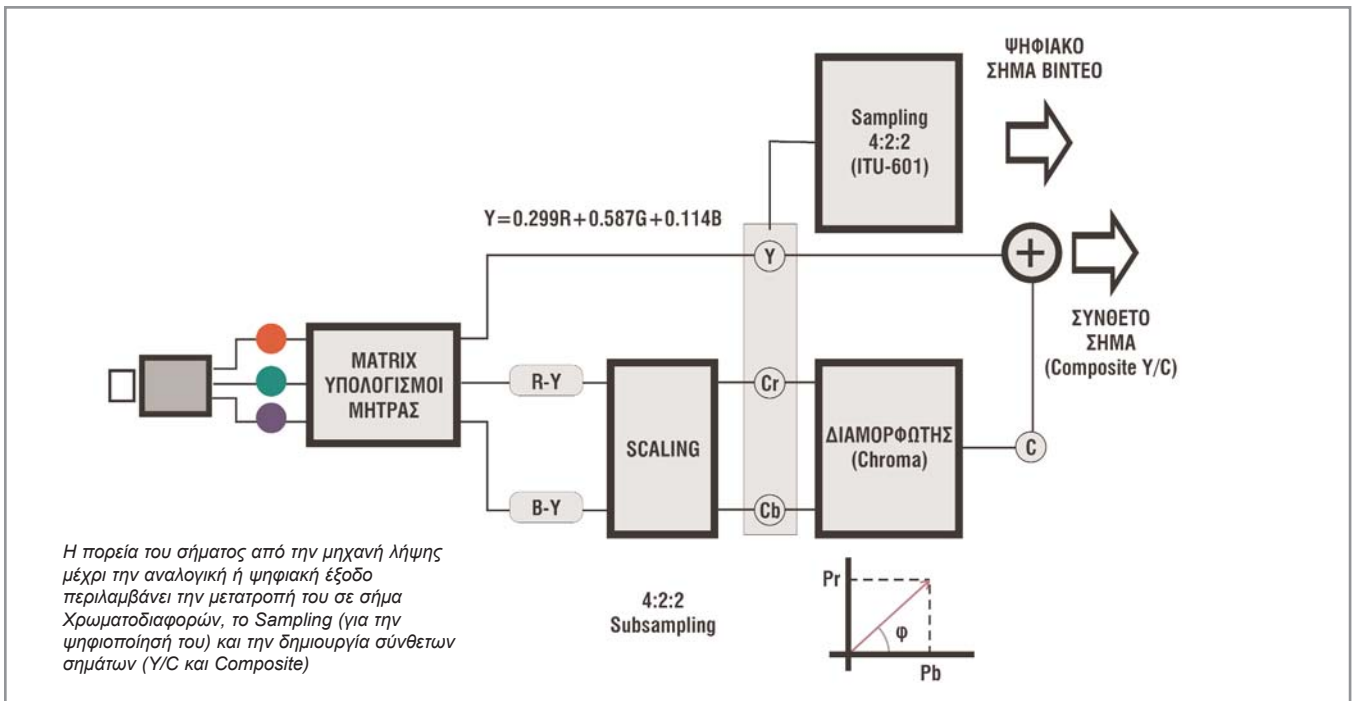
αποθηκεύσουμε και να προβάλουμε τις πληροφορίες αυτές. Η οξύτητα ενός συστήματος μπορεί να μεταβάλλεται μέχρι μια μέγιστη τιμή (που καθορίζεται από την MTF του συστήματος), ανάλογα με την οξύτητα της ίδιας της σκηνής (για παράδειγμα αν βιντεοσκοπήσουμε μια απολύτως μαύρη κάρτα, η οξύτητα θα είναι μηδέν!) ενώ η ανάλυση είναι σταθερή εκ κατασκευής (στο παράδειγμα μας, αυτή η μαύρη κάρτα θα αποδοθεί με την ανάλυση της οθόνης ασχέτως με το ότι δεν έχει πληροφορίες οξύτητας). Αυτό σημαίνει, πολύ απλά, ότι η μεγάλη ανάλυση δεν συνεπάγεται κατ'ανάγκη απεικόνιση μικρών λεπτομερειών, απλώς την υπόσχεται, σε περίπτωση που αυτές υπάρχουν! Επίσης, σημαίνει ότι δεν υπάρχει μόνο μια ανάλυση, αλλά τουλάχιστον τρεις: Η ανάλυση των μηχανών λήψης, η ανάλυση που υποστηρίζεται από το μέσο εγγραφής και η ανάλυση του συστήματος προβολής. Για την περίπτωση της αναπαραγωγής κινηματογραφικού υλικού από ένα σύστημα βίντεο, θα πρέπει να προσθέσετε ακόμη και την ανάλυση του τελεινέ που έχει χρησιμοποιηθεί για την μεταφορά του φιλμ στο βίντεο. Ένα απλό παράδειγμα είναι το εξής: Η λήψη με μια μηχανή υψηλής ανάλυσης (ή υψηλής ευκρίνειας - όπως είναι η διαδεδομένη ονομασία), πάει να είναι υψηλής ανάλυσης όταν αποθηκευθεί σε DVD και βεβαίως δεν μπορεί να επανέλθει στην αρχική της ανάλυση απλώς και μόνον επειδή θα την προβάλλουμε upscaled σε μια HD Ready τηλεόραση. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, μόνο ένα από τα τρία μέρη «υστερεί» αλλά το γεγονός αυτό επαρκεί

για να μας στερήσει την δυνατότητα προβολής όλου του εύρους της οξύτητας που περιλαμβάνεται στην αρχική λήψη, παρά το γεγονός ότι η προβολή έχει «υψηλή ανάλυση».

Έχει αρκετό ενδιαφέρον να δούμε λίγα από τα μαθηματικά της ανάλυσης βίντεο, απαντώντας κατ'αρχήν σε ένα θεμελιώδες ερώτημα: Δοθείσης μιας θεωρητικής ανάλυσης πόση από αυτήν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε; Η απάντηση είναι, όπως θα περιμένα κανείς, «όχι όλη». Τον ένα παράγοντα που περιορίζει τις δυνατότητές μας τον έχουμε ήδη γνωρίσει και είναι η χρόνοι Line και Field Flyback που απαιτούνται για την σωστή σάρωση. Ένας δεύτερος παράγοντας ακούει στο όνομα Kell Factor (τον περιέγραψε πρώτος ο Reymond Kell στα εργαστήρια της RCA, το 1934, και αφορά όλα τα συστήματα που πραγματοποιούν χωρικό sampling). Ο παράγοντας Kell, οφείλεται σε διάφορες ατέλειες ενός συστήματος λήψης διακριτών δειγμάτων, με την σημαντικότερη να είναι η αδυναμία μας να εξασφαλίσουμε πάντα απόλυτα σωστή ευθυγράμμιση των στοιχείων μιας εικόνας με τους αισθητήρες μιας μηχανής λήψης: Φανταστείτε έναν αισθητήρα που χωρίζει την εικόνα σε δέκα οριζόντιες γραμμές ο οποίος βρίσκεται μέσα σε μια μηχανή λήψης που έχει απέναντί της μια κάρτα με δέκα οριζόντιες γραμμές (πέντε μαύρες

Ο συγχρονισμός του βίντεο βασίζεται στην διαίρεση ενός σήματος σε δύο περιοχές. Την περιοχή του σήματος συγχρονισμού και την περιοχή του βίντεο (Active Line). Οι αριθμοί αντιστοιχούν στις θέσεις της δέσμης που φαίνεται στο προηγούμενο σχήμα.





και πέντε άσπρες). Ποιά είναι η πιθανότητα να συμπέσουν οι γραμμές της κάρτας με τους αισθητήρες; Το φαινόμενο αυτό περιορίζει την ανάλυση κατά έναν συντελεστή ο οποίος (από ορισμένους) υπολογίζεται στατιστικώς στο 30%. Άλλες πηγές είναι περισσότερο «αυστηρές» με το ποσοστό αυτό αλλά το 30% είναι αυτό που χρησιμοποιούμε στους περισσότερους υπολογισμούς μας. Λαμβάνοντας υπ' όψιν μας ότι αυτοί οι δύο μηχανισμοί μειώνουν τις επιδόσεις του συστήματός μας τόσο στον κάθετο άξονα (δηλαδή τον αριθμό των ορατών γραμμών σε μια εικόνα) όσο και στον οριζόντιο (δηλαδή την μέγιστη χωρική συχνότητα) ας κάνουμε μερικές πράξεις:

Ένα τυπικό σύστημα βίντεο ξεκινάει με μια θεωρητική κατακόρυφη ανάλυση 625 γραμμών. Ο χρόνος του field flyback, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί η επιστροφή της σάρωσης στην κορυφή του επόμενου πεδίου «ξοδεύει» 25 γραμμές οπότε η χρήσιμη ανάλυσή μας είναι 600 γραμμές. Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι ένας κύκλος φωτεινότητας (από τελειώς μαύρο σε τελειώς λευκό ή το αντίστροφο) απαιτεί δύο γραμμές για να απεικονισθεί, οι 600 γραμμές μας προσφέρουν μέγιστη χωρική συχνότητα 300c/ph (κύκλους ανα ύψος εικόνας). Ο παράγοντας Kell, μειώνει την συχνότητα αυτή στα 210c/ph (300x0.7=210). Χρησιμοποιώντας, τώρα, τις αναλογίες 4:3 του συμβατικού κάδρου, οι 300c/ph πρέπει να αντιστοιχηθούν σε μια οριζόντια χωρική συχνότητα 400c/ph (κύκλοι ανά εύρος γραμμής) αν θέλουμε να διατηρήσουμε την αναλογία. Γνωρίζουμε, βεβαίως ότι λόγω του παράγοντα Kell η χρήσιμη ανάλυσή μας είναι περίπου 300c/ph (στην πραγματικότητα είναι 400x0.7=280, αλλά οι υπολογισμοί στην βιβλιογραφία

χρησιμοποιούν διάφορες αυθαίρετες προσεγγίσεις...). Σε αυτά τα 300c/ph θα πρέπει να προσθέσουμε 60 περίπου κύκλους οι οποίοι θα χαθούν λόγω του Line Flyback, φθάνοντας τις απαιτήσεις μας για πραγματική οριζόντια ανάλυση που θα εξασφαλίζει δυνατότητα προβολής 360c/ph. (Αν είστε καχύποπτος θα έχετε παρατηρήσει ότι αυτό το 360c/ph σημαίνει 720 κάθετες γραμμές -αν υπήρχαν κάθετες γραμμές... Μήπως υπάρχουν; Γραμμές όχι, αλλά υπάρχουν pixels. Θα τα συναντήσουμε σύντομα!). Από όλα τα παραπάνω έχουμε μια ιδέα για το ποιές πρέπει να είναι πραγματικές επιδόσεις ενός συστήματος προβολής: Θα πρέπει να μπορεί να προβάλλει περίπου 210 κύκλους φωτεινότητας στο ύψος της εικόνας και 300 κύκλους φωτεινότητας στον πλάτος της. Εδώ, μπαίνει ένα ερώτημα: Ενώ η κατακόρυφη ανάλυση είναι σαφώς ορισμένη σε γραμμές (ένα πλήρες frame περιλαμβάνει 600 γραμμές, οπότε οι 210 κύκλοι φωτεινότητας που αντιστοιχούν σε 420 γραμμές καλύπτονται μια χαρά) οι προδιαγραφές του συμβατικού βίντεο δεν αναφέρουν τίποτα για την οριζόντια ανάλυση. Πόση είναι αυτή; Στην πράξη, στο αναλογικό βίντεο και στις συμβατικές τηλεοράσεις CRT δεν υπάρχει οριζόντια ανάλυση με την έννοια που έχουμε συνηθίσει να χρησιμοποιούμε τον όρο (μια συνήθεια που προέρχεται από μια μικτή τεχνολογικός εποχή, όταν οι οθόνες των υπολογιστών ήταν CRT αλλά οι κάρτες γραφικών ήταν -βεβαίως- ψηφιακές!) αλλά κάτι άλλο: Εύρος (bandwidth) σάρωσης. Ας δούμε πώς υπολογίζεται αυτό: Μια διαδοχή 25 πλαισίων ανά δευτερόλεπτο τα οποία σαρώνονται καθ' ύψος 625 φορές (όσες και οι γραμμές τους δηλαδή) απαιτούν από τον μηχανισμό κατακόρυφης σάρωσης να λειτουργεί με μια συχνότητα

15,6kHz (625x25=15625), επειδή μέσα σε χρόνο ενός δευτερολέπτου υπάρχουν 15625 γραμμές που πρέπει να σαρωθούν. Κάθε τέτοια γραμμή απαιτούμε να έχει 360 κύκλους φωτεινότητας με άλλα λόγια, μέσα σε ένα δευτερόλεπτο, το σύστημά μας θα πρέπει να αποδώσει 5.625.000 κύκλους φωτεινότητας (15625x360=5.625.000) επομένως, συνολικά, το σύστημα σάρωσης θα πρέπει να λειτουργεί με μια συχνότητα 5.6MHz περίπου. Η οριζόντια ανάλυση ενός συμβατικού συστήματος εξαρτάται από το αν μπορεί να φθάσει στην συχνότητα αυτή. Αν όχι, τότε μειώνεται η οριζόντια χωρική συχνότητα που μπορεί να αποδοθεί, επομένως χάνουμε την δυνατότητα να προβάλλουμε πολλές λεπτομέρειες (δηλαδή μεγάλη οξύτητα) σε κάθε γραμμή. Το πρόβλημα αυτό δεν υπάρχει στα ψηφιακά συστήματα βίντεο τα οποία έχουν μια συγκεκριμένη οριζόντια και κατακόρυφη ανάλυση η οποία μετράται σε εικονοστοιχεία (pixels) και ονομάζεται εγγενής ανάλυση. Ωστόσο, πριν φθάσουμε στην ψηφιοποίηση του σήματος βίντεο θα πρέπει πρώτα να δούμε το πώς αυτό μοντελοποιείται για να το διαχειριστούμε.

Η εγγενής έξοδος μιας μηχανής λήψης είναι ένα σήμα RGB το οποίο περιγράφει την ένταση των τριών βασικών χρωμάτων. Με δεδομένο ότι το ανθρώπινο μάτι είναι εξαιρετικά ευαίσθητο στις μεταβολές της έντασης και όχι στην συχνότητα των ερεθισμάτων (δηλαδή στην ένταση του φωτός και όχι στα χρώματα) αυτό που μας ενδιαφέρει είναι να μεταφέρουμε όσο το δυνατόν καλύτερα την πληροφορία της φωτεινότητας (την οποία συμβολίζουμε με το γράμμα Y). Το σήμα φωτεινότητας παράγεται από απλές μαθηματικές πράξεις μεταξύ των τριών χρωμάτων και μπορούμε είτε να το συνθέσουμε στην

συσκευή προβολής είτε να το παράγουμε κατά την της αρχικής διαδικασία λήψης της εικόνας και να το διατηρήσουμε σε ένα δικό του, ανεξάρτητο κανάλι. Προτιμούμε την δεύτερη επιλογή και το αποτέλεσμα είναι η κωδικοποίηση της έγχρωμης εικόνας με χρωματοδιαφορές. Στην κωδικοποίηση αυτή παράγονται τρία σήματα, της φωτεινότητας (Y), της διαφοράς μεταξύ φωτεινότητας και του κόκκινου (Y-R) και της διαφοράς μεταξύ φωτεινότητας και του μπλέ (Y-B). Το σήμα του πράσινου χρώματος (G), το οποίο φαινομενικά δεν εμφανίζεται στο μοντέλο αυτό, μπορεί να εξαχθεί με απλές μαθηματικές πράξεις αφού αποτελεί συνιστώσα του σήματος Y μαζί με τα R και B! Οι συμβολισμοί των τριών σημάτων χρωματοδιαφορών είναι Y, Cr και Cb αντιστοίχως (στην αγγλική ορολογία το σήμα YCbCr ονομάζεται και σήμα Component, αλλά δώστε προσοχή γιατί και το σήμα RGB εμφανίζεται -και δικαίως- συχνά με αυτή την ονομασία). Στο αναλογικό βίντεο, μπορούμε είτε να επιλέξουμε να παραμείνουμε σε αυτό το επίπεδο, των τριών σημάτων, είτε να δημιουργήσουμε μια αλληλουχία περισσότερο σύνθετων, με την παραγωγή ενός σήματος χρώματος από τα Cr/Cb (οπότε έχουμε το σύνθετο σήμα Y/C που χρησιμοποιείται στο S-Video) ή και ένα σύνθετο σήμα με πληροφορίες φωτεινότητας και χρώματος που είναι το γνωστό μας σύνθετο σήμα (Composite). Το ψηφιακό βίντεο ξεκινά με την ψηφιοποίηση των σημάτων Y, Cb και Cr. Αφού η ψηφιοποίηση αφορά τρία σήματα, προφανώς απαιτούνται τρεις συχνότητες δειγματοσμού οι οποίες, όμως, είναι διαφορετικές. Η προδιαγραφή (ITU-601) προβλέπει δειγματοσμό του σήματος φωτεινότητας στα 13.5MHz και των σημάτων χρώματος στα 6.25MHz. Πώς προκύπτουν αυτές οι τιμές; Η ημελίδωδη συχνότητα δειγματοσμού που έχει επιλεγεί (πολλαπλάσια της οποίας είναι οι τιμές που αναφέρονται παραπάνω) είναι τα 3.375MHz, η οποία αποτελεί μια καλή προσέγγιση κοινού πολλαπλάσιου των δύο διαφορετικών συχνοτήτων σάρωσης των συστημάτων PAL (15.6kHz) και NTSC (15.7kHz) ώστε η προδιαγραφή να είναι κοινή και για τα δύο. Πραγματοποιώντας oversampling 4x για το σήμα φωτεινότητας έχουμε τα 13.5MHz ενώ τα σήματα χρώματος υπο-δειγματοληπτούνται σε σχέση με το σήμα φωτεινότητας για λόγους οικονομίας! Χρησιμοποιούμε την μισή συχνότητα, στα 6.25MHz, γεγονός που στην πράξη, σημαίνει ότι στα τέσσερα δείγματα ενός αναλογικού σήματος βίντεο που το κάνουμε ψηφιακό, παίρνουμε πληροφορίες για όλα όσον αφορά την φωτεινότητα αλλά μόνο για τα δύο όσον αφορά στα χρώματα! (εξ ου και το φορμά 4:2:2)

Με την κάθε γραμμή ενός βίντεο 625 γραμμών/25 πλαίσια να διαρκεί 1/15625 του δευτερολέπτου και με συχνότητα

δειγματοσμού 13.5MHz, τα δείγματα που παίρνουμε ανά γραμμή σάρωσης είναι 864. Από αυτά χάνονται κάποια λόγω του χρόνου που απαιτείται για συγχρονισμό (στην πράξη τα σήματα sync δεν ψηφιοποιούνται αλλά ο χρόνος απαιτείται ούτως ή άλλως) και το αποτέλεσμα είναι να απομένουν 720 δείγματα φωτεινότητας (δηλαδή 360 κύκλοι χωρικής συχνότητας οριζόντιας σάρωσης -για να μην ξεχνιόμαστε!). Δώστε προσοχή στο εξής σημείο: Ο μέγιστος αριθμός δειγμάτων είναι, μεν 720 δείγματα αλλά, βεβαίως 720 δείγματα/ADC. Την στιγμή που πραγματοποιείται η δειγματοληψία του σήματος φωτεινότητας πραγματοποιούνται και δύο άλλες για τα σήματα χρώματος Cr και Cb με 360 δείγματα έκαστη. Το σύνολο των δειγμάτων ανα γραμμή που «σηκώνουμε» επομένως είναι 1440. Κωδικοποιώντας με λέξεις μήκους 8-bit κάθε δείγμα έχουμε μια ροή δεδομένων 15520 bits ανα γραμμή, ή 7.2Mbps ανά πλαίσιο ή (τέλος) 180Mbps συνολικά! Αυτό εξηγεί γιατί είναι εξαιρετικά δύσκολο να δούμε «ασυμπιεστο» ψηφιακό βίντεο: Πέραν της δυνατότητας χειρισμού των 180Mbps, απαιτεί και 11.2MB ανά δευτερολέπτο για την αποθήκευσή του!

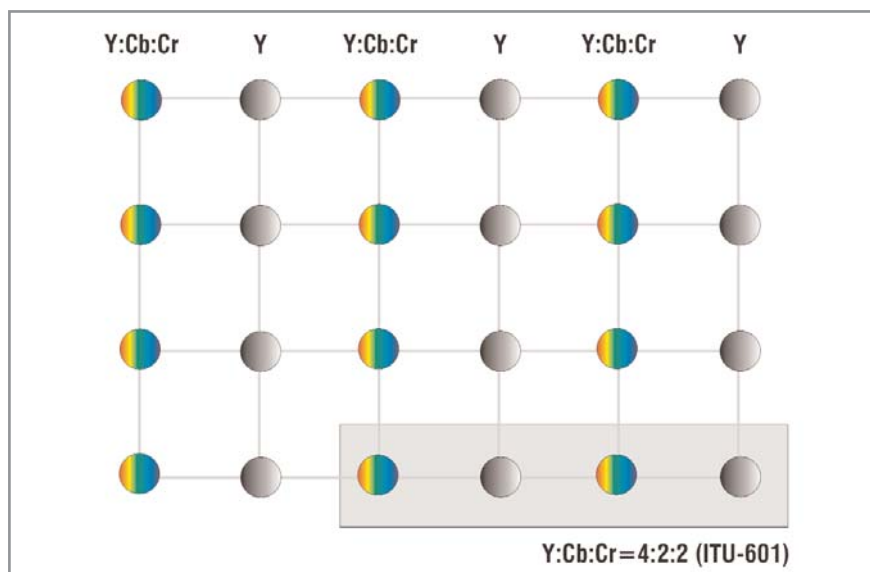
Ανεξάρτητα, πάντως, από το είδος του βίντεο (αναλογικό ή ψηφιακό), δύο όροι που θα συναντήσει κανείς συχνά είναι η φωτεινότητα και η αντίθεση αμφότερες παρεξηγημένες...

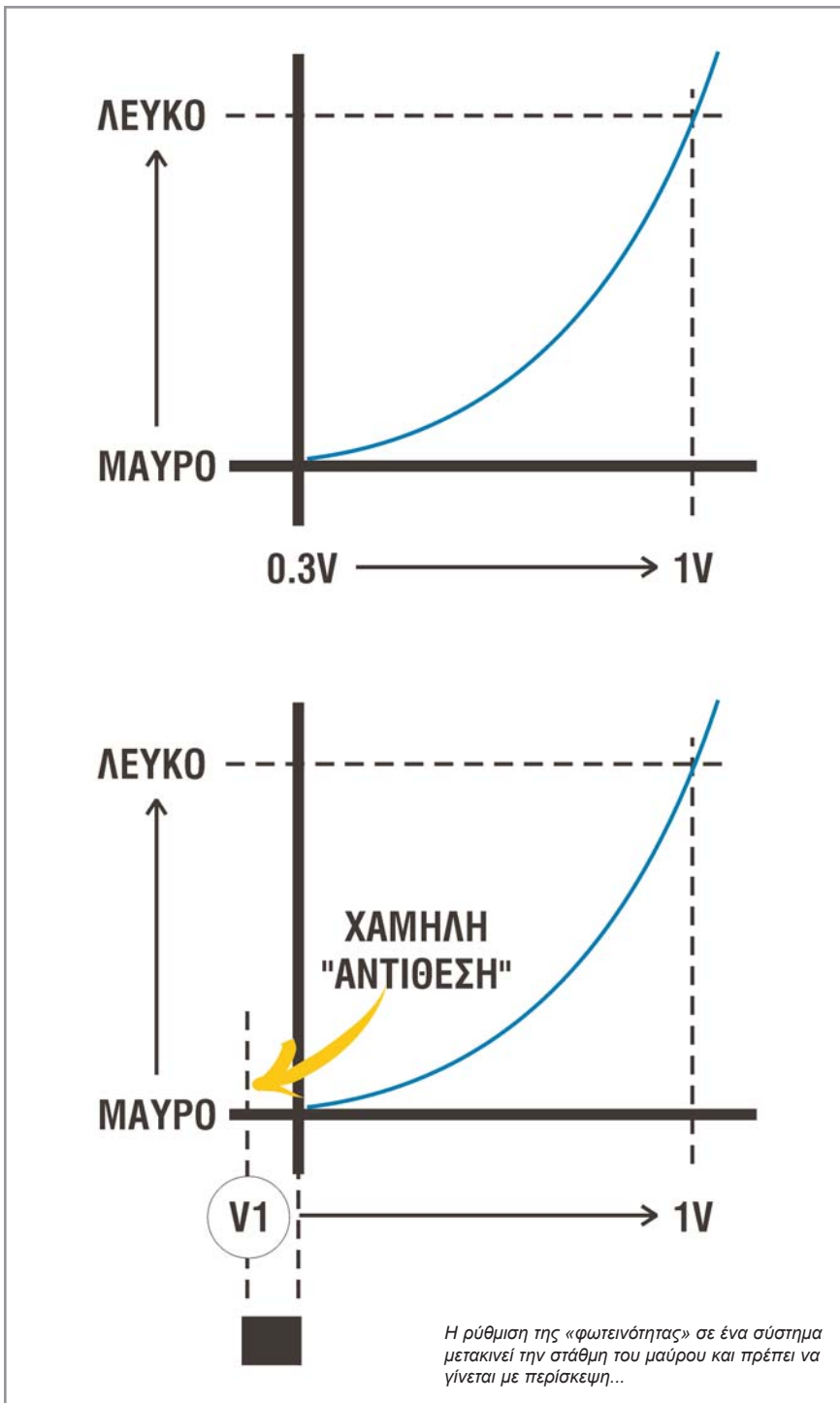
Φωτεινότητα, Αντίθεση και άλλες ιστορίες... (δηλαδή, πάλι Φωτεινότητα και Αντίθεση!)

Η φωτεινότητα και η αντίθεση είναι δύο σχετικές αλλά μεγέθη που χαρακτηρίζουν ένα σύστημα βίντεο και, καλώς χόχονταν των πραγμάτων, η χρήση τους έπρεπε να είναι σαφής. Δεν είναι. Για την έκφραση της φωτεινότητας χρησιμοποιούνται κυρίως δύο μονάδες, το ANSI Lumen και το Nit οι οποίες ωστόσο

δεν είναι ισοδύναμες. Εξ ορισμού, το Lumen είναι φωτεινή ροή μέσω μιας συγκεκριμένης διατομής (1 ANSI Lumen είναι η φωτεινή ροή μέσω μιας διατομής επιφάνειας 1m² που απέχει από την φωτεινή πηγή 1m όταν αυτή ακτινοβολεί με ένταση 1Cd). Αντίθετα, το Nit αφορά το την φωτεινή ενέργεια την οποία εκλύει μια φωτεινή πηγή όταν εκπέμπει με ρυθμό 1Cd/m². Η διαφορά είναι μικρή και λεπτή: Το 1m² στην πρώτη περίπτωση είναι επιφάνεια ακτινοβολίας σε συγκεκριμένη απόσταση (επομένως αναμένουμε οι τιμές να αλλάζουν αν αλλάξουμε απόσταση) ενώ στην δεύτερη, η πηγή μας θεωρείται σημειακή με δυνατότητα παραγωγής ακτινοβολίας συγκεκριμένης έντασης ανα τετραγωνικό μέτρο, χαρακτηριστικό που δεν αλλάζει με την απόσταση. Λόγω της διαφοράς αυτής, οι δύο αυτές μονάδες χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές εφαρμογές: Τα ANSI Lumen χρησιμοποιούνται σε συστήματα έμμεσης προβολής (όταν δηλαδή η εικόνα προέρχεται από ανάκλαση των οπτικών κυμάτων σε μια επιφάνεια συγκεκριμένης έκτασης) ενώ τα Nits χρησιμοποιούνται όταν θέλουμε να περιγράψουμε ένα σύστημα άμεσης προβολής. Επομένως, τα ANSI Lumens είναι η ενδεδειγμένη μονάδα μέτρησης του φωτός ενός προβολέα (ή ενός συστήματος οπίσθιας προβολής) ενώ τα Nits ή τα Cd/m² θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για τηλεοράσεις. Υπάρχει σχέση μεταξύ ANSI Lumens και Nits; Υπάρχει. Οι δύο μονάδες συνδέονται εμμέσως με μια παρωχημένη μονάδα μέτρησης της υποκειμενικής φωτεινότητας (Brightness) η οποία ονομάζεται Foot-Lambert. Ένα Lumen ανα τετραγωνικό μέτρο αντιστοιχεί σε φωτεινότητα ενός Foot-Lambert, και 1 Nit σε 0.292 Foot-Lamberts, επομένως μπορούμε να καθορίσουμε μια προσεγγιστική σχέση κατά την οποία ένα Nit αντιστοιχεί σε 3,426 ANSI Lumens.

Το subsampling 4:2:2 σημαίνει πολύ απλά ότι στα τέσσερα δείγματα έχουμε πληροφορία χρώματος μόνο για τα δύο. Και πάλι, ο όγκος των δεδομένων είναι τεράστιος!





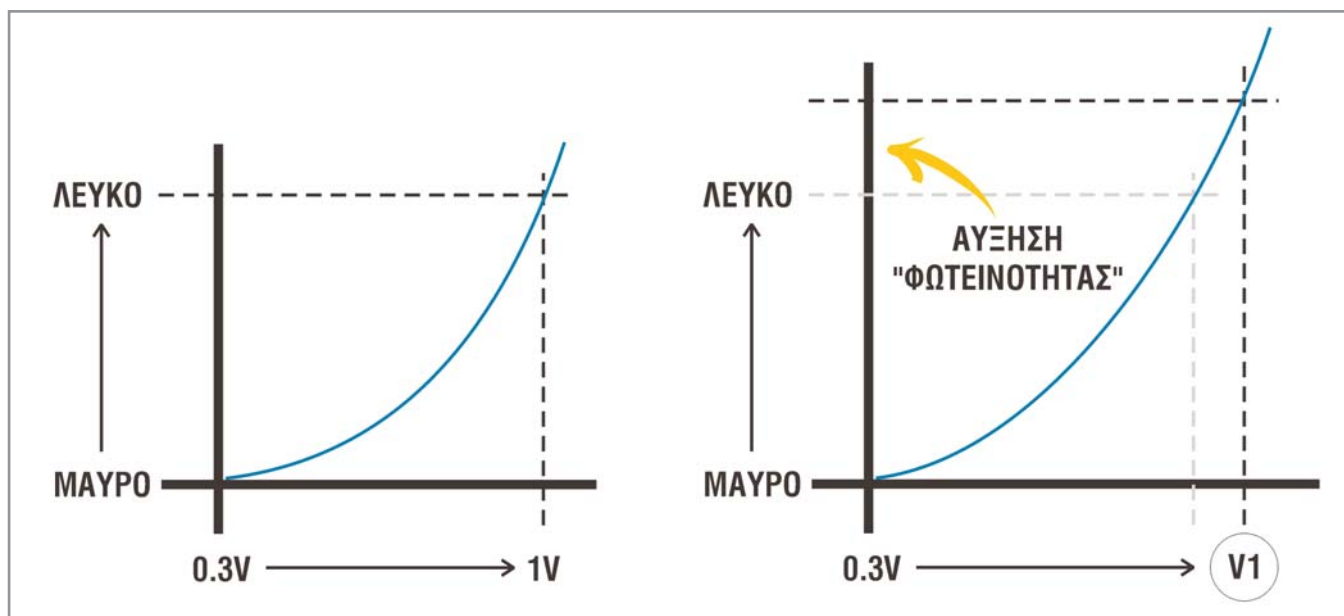
Η ρύθμιση της «φωτεινότητας» σε ένα σύστημα μετακινεί την στάθμη του μαύρου και πρέπει να γίνεται με περισκεψη...

Το γεγονός ότι για ένα συγκεκριμένο μέγεθος, το νούμερο των Lumens είναι σημαντικά μεγαλύτερο των Nits εξηγεί, ίσως, την επιμονή των εταιρών να δίνουν φωτεινότητες σε ANSI Lumens ακόμη και όταν πρέπει να χρησιμοποιούν Nits... Η αντίθεση, ή πιο σωστά ο λόγος αντίθεσης, είναι ένα μέγεθος που μας δείχνει την δυναμική περιοχή ενός συστήματος προβολής: Δείχνει πόσες φορές πιο φωτεινή είναι η φωτεινότερη εικόνα που μπορεί να προβληθεί από την την εικόνα ελάχιστης φωτεινότητας που μπορεί να επιτύχει το σύστημα μας. Μιλάμε δηλαδή, στην πράξη, για ένα κλάσμα όπου αριθμητής είναι η

φωτεινότητα ενός εντελώς λευκού κάδρου και παρονομαστής η φωτεινότητα της οθόνης όταν αναπαράγει αυτό που θεωρεί ως το «Black Level» του σήματος βίντεο. Το γεγονός ότι έχουμε να κάνουμε με πηλίκο, σημαίνει ότι ο λόγος αντίθεσης είναι αδιάστατο μέγεθος, δεν έχει δηλαδή μονάδες. Όταν λέμε ότι το τάδε σύστημα έχει λόγο 1000:1, σημαίνει, απλώς ότι το «εντελώς λευκό» του είναι χίλιες φορές πιο έντονο από το «εντελώς μαύρο» του, όποια και αν είναι αυτά. Ο τρόπος μέτρησης αυτών των εντελώς λευκών και εντελώς μαύρων κάδρων ποικίλει: Μπορούμε να επιλέξουμε την μέθοδο Full On/Off (τελειώς λευκό προς τελείως

μαύρο) ή την μέθοδο ANSI όπου χρησιμοποιούνται μετρήσεις που λαμβάνονται ταυτόχρονα από το σύστημα προβολής όταν αυτό προβάλλει έναν κανάβο με διαδοχικά λευκά και μαύρα τετράγωνα (ANSI Checker Board). Ο λόγος αντίθεσης είναι μια θεωρητική επίδοση η οποία μας δείχνει την δυνατότητα του συστήματος να δείξει «καλό» μαύρο. Στην πράξη επηρεάζεται αγρίως από το περιβάλλον επειδή το μέγιστο μαύρο που μπορεί να απεικονισθεί είναι αυτό που προβλέπει ο λόγος αντίθεσης συν το σύνολο του ανακλώμενου από το περιβάλλον φωτός. Υπάρχει σύστημα με θεωρητικώς απόλυτο μαύρο; Η απάντηση είναι «να» και αφορά όλες τις τεχνολογίες προβολής που μπορούν να «σβήσουν»: Αυτές είναι η CRT και η plasma, ενώ η τεχνολογία LCD προσπαθεί να προσομιώσει αυτή τους την δυνατότητα με τον ενεργό έλεγχο της αντίθεσης, τον έλεγχο δηλαδή της έντασης των φωτεινών πηγών που χρησιμοποιούνται για τον φωτισμό των υγρών κρυστάλλων. Μην ξεχνάτε, πάντως, ότι ο λόγος αντίθεσης καταστρέφεται από τις ανακλάσεις του φωτισμού από το περιβάλλον και ότι τόσο οι CRT όσο και οι plasma είναι εξόχως ανακλαστικές! Πως γνωρίζουμε πόσο χαμηλά μπορεί να κατέβει ένα σύστημα προβολής στα μαύρα όταν γνωρίζουμε τον λόγο αντίθεσης; Η απάντηση είναι ότι δεν γνωρίζουμε! Το μαθαίνουμε, όμως, όταν δίνεται μαζί του και η φωτεινότητα του. Ένα σύστημα των 300Nits με λόγο αντίθεσης 1000:1 αποδίδει θεωρητικώς μαύρες εικόνες 0.3Nits, αν ο χώρος προβολής είναι πλήρως σκοτεινός. Εδώ υπάρχει και η σχετική παγίδα: Αν αυτό που μας ενδιαφέρει είναι ένα καλό μαύρο (δηλαδή φωτεινότητα όσο το δυνατόν κοντά στο μηδέν) ο λόγος αντίθεσης δεν μας λέει τίποτε «σκέτος». Για παράδειγμα ένα σύστημα με λόγο 1200:1 και φωτεινότητα 500 Nits είναι χειρότερο από το αρχικό σύστημα μας των 300 Nits/1000:1 παρά το γεγονός ότι τα νούμερά του είναι καλύτερα και στις δύο παραμέτρους. Κάντε τις πράξεις: Τα 500 Nits με λόγο 1200:1 προσφέρουν θεωρητικό μαύρο 0.4 Nits!

Το τελευταίο πρόβλημα που δημιουργούν η φωτεινότητα και η αντίθεση είναι το ότι συχνά συγχέονται με τα ρυθμιστικά «φωτεινότητας» και «αντίθεσης» των συσκευών προβολής. Αυτά, ωστόσο δεν έχουν καμία σχέση με τις παραμέτρους που αναφέρουμε πιο πάνω, πέραν του ότι εμμέσως μπορεί να επιδρούν σε αυτά αρνητικά! Το ρυθμιστικό φωτεινότητας «μετακινεί» την στάθμη του μαύρου στο σήμα του βίντεο και έχει μια μόνο σωστή θέση: Αυτήν στην οποία η στάθμη μαύρου του σήματος αντιστοιχεί (με δεδομένο γάμμα) στην χαμηλότερη φωτεινότητα που μπορεί να επιτύχει η οθόνη. Αν η στάθμη του μαύρου ρυθμιστεί χαμηλότερα, τότε ένα μέρος του σήματος βίντεο θα θεωρείται μαύρο χωρίς να είναι



Η ρύθμιση της «αντίθεσης» απλώς αυξάνει την στάθμη του λευκού χωρίς να επηρεάζει την στάθμη του μαύρου.

και θα χάνουμε τις λεπτομέρειες στην περιοχή αυτή (Black Crushing). Αν η στάθμη του μαύρου ρυθμιστεί υψηλότερα, τότε η οθόνη δεν θα γίνεται ποτέ όσο μαύρη μπορεί να γίνει. Αν όλα αυτά σας δημιουργούν την εντύπωση ότι τελικώς το ρυθμιστικό φωτεινότητας επιδρά τελικώς στον λόγο αντίθεσης έχετε δίκιο. Το αντίστοιχο συμβαίνει και με το ρυθμιστικό αντίθεσης: Αυτό ελέγχει την μέγιστη τιμή στην οποία μπορεί να φτάσει το σήμα βίντεο όταν απεικονίζει λευκά σημεία, χωρίς να επηρεάζει την στάθμη του μαύρου. Αυτό σημαίνει ότι όταν «ρυθμίζουμε το κοντράστ ψηλά» απλώς ανεβάζουμε την φωτεινότητα της οθόνης!

Για περισσότερο διάβασμα:

- [1] Candela: Ορισμός και Προέλευση, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Candela>
- [2] M. C. Escher, The Official Website, <http://www.mcescher.com/>
- [3] Η Διόρθωση Gamma, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Gamma_correction
- [4] Ο Χρωματικός Χώρος CIE 1931 και το διάγραμμα χρωματικότητας, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space
- [5] Ο Παράγοντας Kell, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Kell_factor
- [6] HDTV Format Wars, Philip Laven, EBU Technical Review, No.310, 01/2005
- [7] Convergence in Broadcast and Communications Media, J. Watkinson, Focal Press, 2001

- [8] Characteristics of B,G/PAL and M/NTSC Television Systems, <http://kolumbus.fi/>
- [9] Conventional Television Systems, ITU-R BT.470-5
- [10] Η Θερμοκρασία Χρώματος, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Color_temperature
- [11] Chromaticity Diagrams, EFG's Computer Lab, <http://www.efg2.com/>
- [12] High Definition Image Formats for Television Production, EBU, EBU Tech 3299
- [13] Future High Definition Television Systems, EBU, EBU R115-2005
- [14] Are Higher Brightness and Contrast Ratio Better, White Paper, EIZO, No. 06-001 01/2006
- [15] DTV: The Revolution in Electronic Imaging, Jerry Whitaker, McGraw Hill, 1998

avmentor

URL: <http://www.avmentor.gr>, ©Ακραίεξ Εκδόσεις 2007