

Έγχρωμο και Ασπρόμαυρο Φως

- Χρώμα: κλάδος φυσικής, φυσιολογίας, ψυχολογίας, τέχνης.
- Αφορά άμεσα τον προγραμματιστή των γραφικών.
- Αν αφαιρέσουμε χρωματικά χαρακτηριστικά, λαμβάνουμε ασπρόμαυρο φως.
 - Μόνο χαρακτηριστικό η φωτεινότητα ή ένταση.
 - Φωτεινότητα: 0 (μαύρο) ... 1 (άσπρο) αποχρώσεις του γκρι.

Ασπρόμαυρο Φως

- Εστω οθόνη με d bits/pixel.
 - $n=2^d$ διαφορετικές τιμές φωτεινότητας παριστάνονται.
 - Ποιες επιλέγουμε;
- Φυσιολογία: μάτι αντιλαμβάνεται λόγους φωτεινότητας (όχι απόλυτες τιμές).
 - Π.χ. (0.1, 0.2) και (0.3, 0.6) φαίνονται σα να έχουν ίδια διαφορά.
 - Αρα επιλέγουμε φωτεινότητες με λογαριθμική κατανομή.
- Λογαριθμική επιλογή φωτεινοτήτων.
 - Εστω Φ_0 η μικρότερη τιμή φωτεινότητας (1/200 ως 1/40 της max τιμής 1). Απόλυτο μαύρο δεν επιτυγχάνεται (αντανάκλαση φωσφόρου).
 - Εστω λ ο λόγος μεταξύ διαδοχικών φωτεινοτήτων:
$$\Phi_1 = \lambda \cdot \Phi_0$$
$$\Phi_2 = \lambda \cdot \Phi_1 = \lambda^2 \cdot \Phi_0$$
$$\vdots$$
$$\Phi_{n-1} = \lambda^{n-1} \cdot \Phi_0 = 1$$
 - Από την τελευταία μπορεί να υπολογισθεί το λ .
$$\lambda = (1/\Phi_0)^{1/(n-1)}$$
 - Αν $\lambda \leq 1.01$ το μάτι δεν διακρίνει διαδοχικές τιμές φωτεινότητας.

Ασπρόμαυρο Φως

- Υπολογισμός μίν αριθμού τιμών φωτεινότητας.

$$1.01^{n-1} \cdot \Phi_0 = 1 \quad \text{ή}$$

$$n = \log_{1.01}(1/\Phi_0) + 1$$

- Για τυπικά Φ_0 , $n \cong 500$



Ασπρόμαυρο Φως

- Αύξηση διαθέσιμων τιμών φωτεινότητας (θυσιάζοντας ανάλυση).
 - Αντίθετο αντιταύτισης.
 - Halftoning: μαύρες κουκίδες διαφόρων μεγεθών παριστάνουν διάφορες τιμές φωτεινότητας (εφημερίδες).



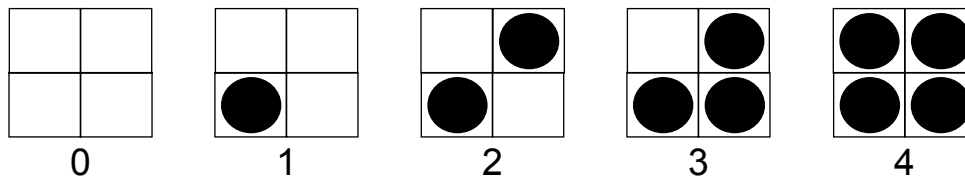
Αρχική Εικόνα



Halftoning

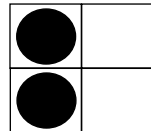
Ασπρόμαυρο Φως - Τεχνική Halftoning

- Halftoning σε ψηφιακή εικόνα: μεγέθη κουκίδας αντικαθίστανται από αριθμό “αναμμένων” pixels σε πλέγματα $n \times n$.
 - Πλέγμα $n \times n$ μπορεί να παραστήσει $n^2 + 1$ τιμές φωτεινότητας.



- Τα παραπάνω μπορούν να παρασταθούν συνοπτικά από τον πίνακα: $\begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}$

- Για τιμή φωτεινότητας k ($0 \leq k \leq 4$) “ανάβουμε” τα pixel του πίνακα με τιμή μικρότερη του k .
- Αύξηση τιμών φωτεινότητας από 2 σε 5 με μείωση οριζόντιας και κάθετης ανάλυσης κατά $1/2$.
- Ορια τίθενται από μάτι, ανάλυση οθόνης, απόσταση παρατήρησης.
- Προσοχή στην επιλογή πίνακα halftoning.
 - Π.χ. κακής επιλογής (κάθετες γραμμές).

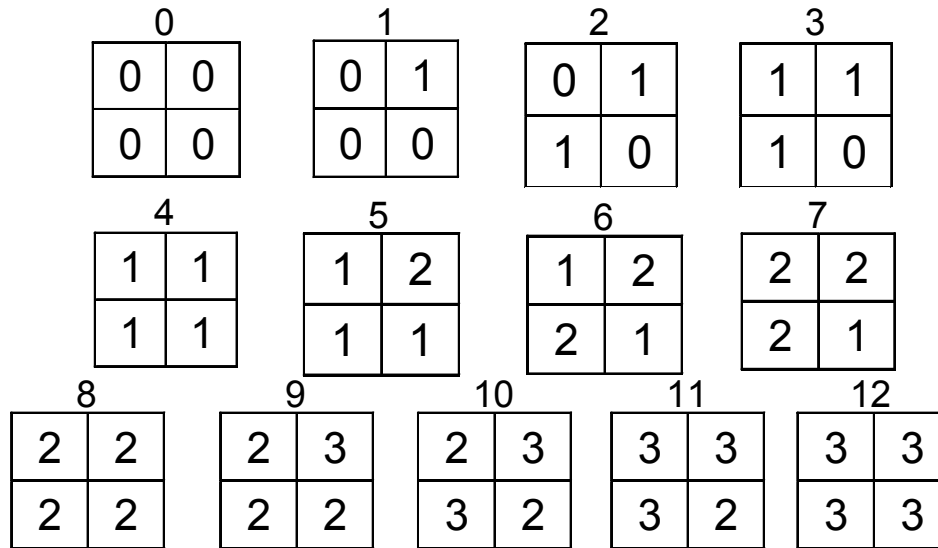


- Αυξητική σειρά επιθυμητή.

Ασπρόμαυρο Φως - Τεχνική Halftoning

- Καλή αυξητική σειρά για 2 x 2 πίνακες: $D_2 = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}$
- Μεγαλύτεροι πίνακες κατασκευάζονται αναδρομικά:

$$D_n = \begin{bmatrix} 4D_{n/2} & 4D_{n/2} + 2U_{n/2} \\ 4D_{n/2} + 3U_{n/2} & 4D_{n/2} + U_{n/2} \end{bmatrix} \quad \text{με } n \geq 4 \text{ και } n = 2^k$$
- Τεχνική halftoning επεκτείνεται και σε συσκευές με δυνατότητα εμφάνισης πολλαπλών τιμών φωτεινότητας ανά pixel.
 - Χρησιμοποιώντας $n \times n$ περιοχές με k τιμές φωτεινότητας ανά pixel λαμβάνουμε $(k-1)n^2 + 1$ τιμές φωτεινότητας.
 - Π.χ. 13 τιμές φωτεινότητας από 4, με περιοχές 2 x 2.



Ασπρόμαυρο Φως

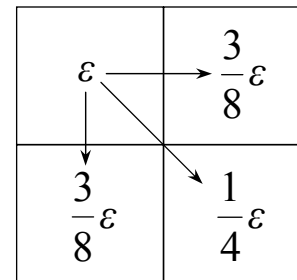
- Halftoning υποθέτει ύπαρξη ανάλυσης συσκευής >> ανάλυση εικόνας.
 - Τι γίνεται αν αναλύσεις είναι ίσες και εικόνα έχει περισσότερες τιμές φωτεινότητας από pixel συσκευής;
 - Απλή στρογγύλευση όχι καλή (σχήμα Α).
- Floyd - Steinberg: έλεγχος απώλειας πληροφορίας με μεταφορά σφάλματος σε γειτονικά pixels.
 - Αν $E_{x,y}$ και $O_{x,y}$ η τιμή της εικόνας και η πλησιέστερη τιμή της οθόνης αντίστοιχα στο pixel x,y .

$$\varepsilon = E_{x,y} - O_{x,y}$$

$$E_{x+1,y} = E_{x+1,y} + 3 * \varepsilon / 8$$

$$E_{x,y-1} = E_{x,y-1} + 3 * \varepsilon / 8$$

$$E_{x+1,y-1} = E_{x+1,y-1} + \varepsilon / 4$$
 - Καλά αποτελέσματα (σχήμα Β).



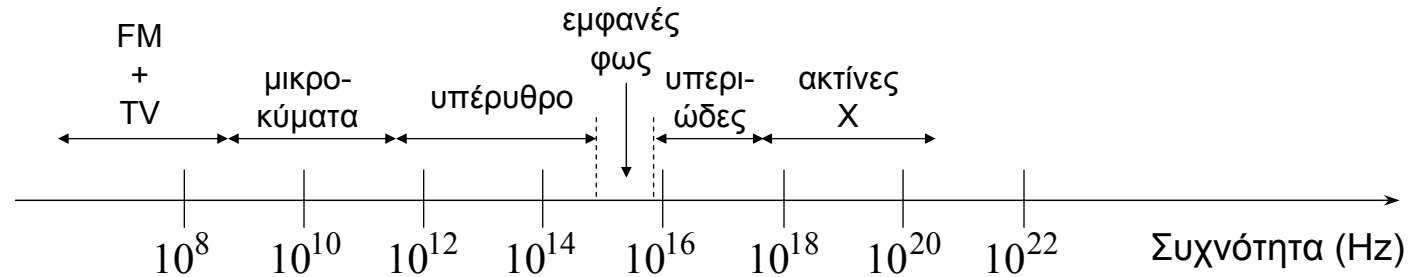
Σχήμα Α



Σχήμα Β

Χρώμα

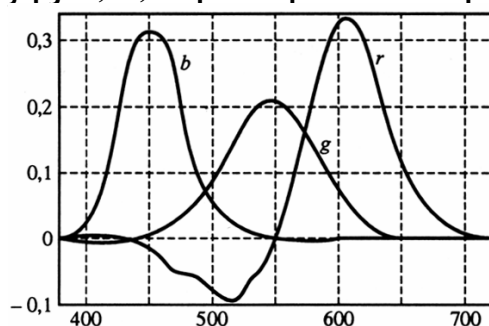
- Εγχρωμο φως: μικρή περιοχή ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.



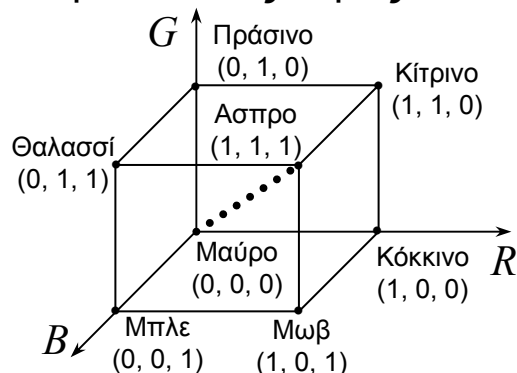
- Εκφράζεται με συχνότητα ν (Hz) ή μήκος κύματος λ (nm), $\lambda \cdot \nu = c$
- Μάτι διακρίνει ~ 400.000 διαφορετικά χρώματα από 780 nm (κόκκινο) ως 380 nm (βιολετί).
- Οθόνη πραγματικού χρώματος αφιερώνει 3 bytes για το χρώμα του κάθε pixel.
- Χρώμα: απόκριση ματιού - εγκεφάλου στη συγκεκριμένη συχνότητα.
 - Οπτικό νεύρο: διαφορετική εστίαση για κάθε χρώμα.
 - Αποφυγή ταυτόχρονης εμφάνισης χρωμάτων με μεγάλες διαφορές εστίασης π.χ. κόκκινο - μπλέ.

Μοντέλο RGB

- Χρωματικό μοντέλο: προδιαγραφή ενός συνόλου χρωμάτων με συνδυασμούς λίγων βασικών.
 - Συνήθως 3 βασικά, τέτοια ώστε ο συνδυασμός οποιωνδήποτε 2 δεν δημιουργεί το τρίτο.
- RGB: χρησιμοποιεί ως βασικά το κόκκινο (Red), πράσινο (Green), μπλε (Blue).
 - Καμπύλες μείξης R, G, B για τη σύνθεση των άλλων χρωμάτων.



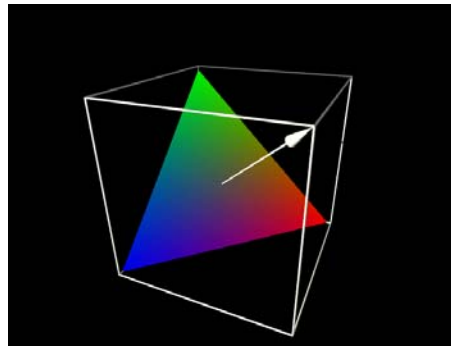
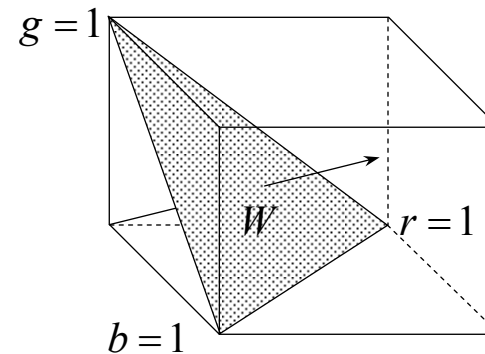
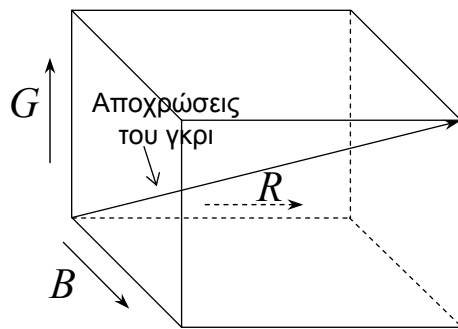
- Χρωματικός χώρος RGB: μοναδιαίος κύβος.



- Γραμμική σύνθεση χρωμάτων από βασικά $F = r \cdot R + g \cdot G + b \cdot B$
- (r, g, b) είναι οι συντεταγμένες του F στον χρωματικό χώρο.

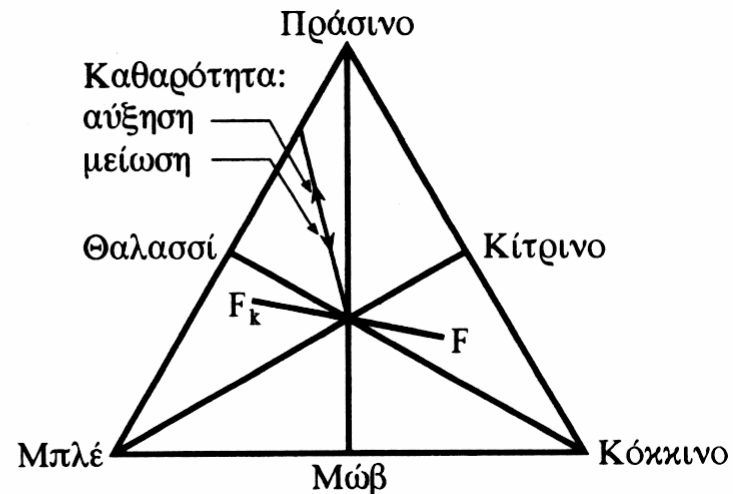
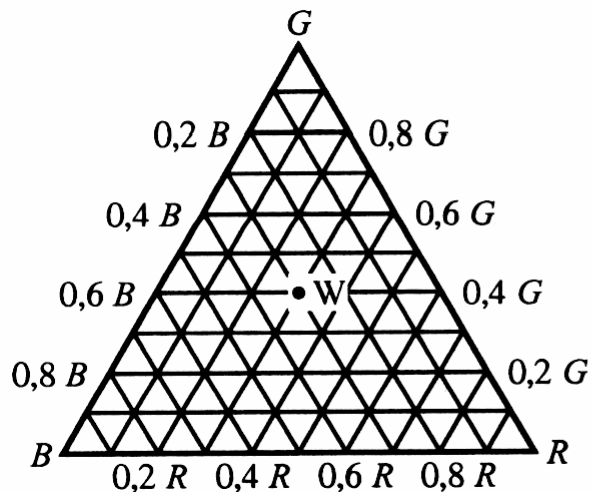
Μοντέλο RGB

- Κύρια διαγώνιος κύβου RGB = αποχρώσεις του γκρι.
- Τομή κύβου RGB με επίπεδο που περνά από σημεία $R(1,0,0)$, $G(0,1,0)$ και $B(0,0,1)$ = χρωματικό τρίγωνο.
 - Επαρκής 2Δ περιγραφή χρωματικού χώρου επειδή χρώματα συνήθως ορίζονται από “τύπο” χρώματος και όχι από τη φωτεινότητα τους.



Μοντέλο RGB

- Χρωματικό τρίγωνο: περιέχει 2 χαρακτηριστικά χρωμάτων (εκτός από φωτεινότητα).
 - Απόχρωση (hue): βαρύνουσα συχνότητα.
 - Καθαρότητα (saturation): ποσοστό συμμετοχής άσπρου χρώματος.
- Χρώματα ίδιας απόχρωσης βρίσκονται πάνω σε κάποιο ευθύγραμμο τμήμα που συνδέει κέντρο χρωματικού τριγώνου (γκρί) με σημείο της περιμέτρου του.
- Καθαρότητα είναι μεγαλύτερη όσο πιο κοντά βρισκόμαστε στην περίμετρο.
 - Κέντρο τριγώνου έχει καθαρότητα 0% .
 - Χρώματα που προστιθέμενα δίνουν γκρί ονομάζονται συμμετρικά.



Μοντέλο XYZ

- Συνδυασμός R, G, B δεν μπορεί να δώσει όλα τα χρώματα της φύσης.
- Ορισμός κανονικών χρωμάτων X, Y, Z που μπορούν να συνθέσουν οποιοδήποτε εμφανές χρώμα.
 - X, Y, Z είναι υπολογιστικά μεγέθη, δεν αντιστοιχούν σε εμφανή χρώματα.
 - Ορισμός από CIE 1931.

- Απεικόνιση RGB σε XYZ .

$$X = 2,7690r + 1,7518g + 1,1300b$$

$$Y = 1,0000r + 4,5907g + 0,0601b$$

$$Z = 0,0565g + 5,5943b$$

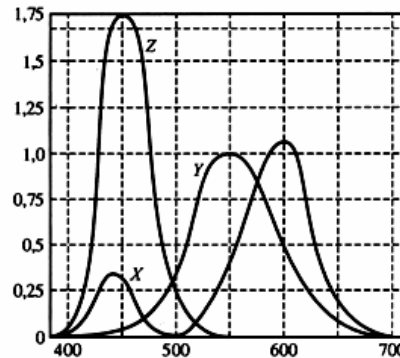
- Απεικόνιση XYZ σε RGB .

$$r = 0,4175X - 0,1578Y - 0,0828Z$$

$$g = -0,0912X + 0,2524Y + 0,0157Z$$

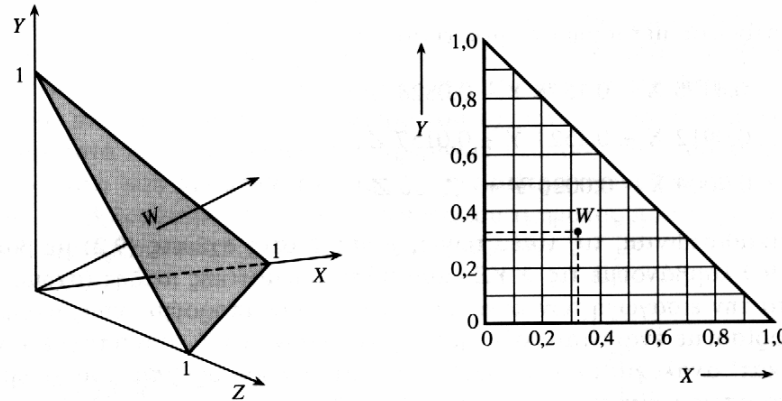
$$b = 0,0009X - 0,0026Y + 0,1786Z$$

- Μετασχηματίζοντας τις καμπύλες μείξης RGB στο XYZ παίρνουμε τις καμπύλες μείξης XYZ .



Μοντέλο XYZ

- Το κανονικό χρωματικό τρίγωνο XYZ βρίσκεται στο επίπεδο $x + y + z = 1$.

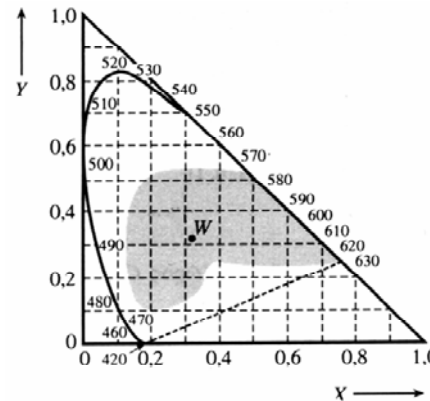


- Ένα διάνυσμα (X, Y, Z) του XYZ-χώρου αντιστοιχεί στο σημείο (x, y, z) του κανονικού χρωματικού τριγώνου:

$$x = X / (X + Y + Z) \quad y = Y / (X + Y + Z) \quad z = Z / (X + Y + Z)$$

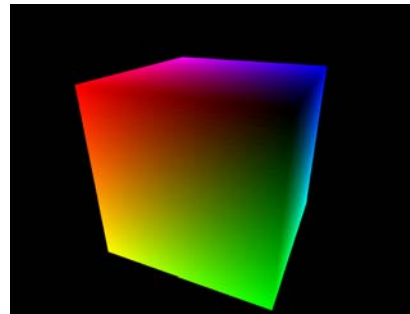
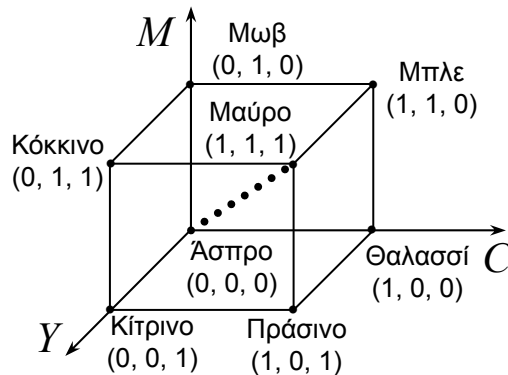
– (x, y) συντεταγμένες αρκούν αφού $x + y + z = 1$.

- Εμφανή και φυσικά χρώματα στο κανονικό χρωματικό τρίγωνο.



Μοντέλο CMY

- *RGB* και *XYZ* είναι προσθετικά μοντέλα.
 - Χρώματα συντίθενται με πρόσθεση ποσοστών των 3 βασικών.
 - Κατάλληλα για αντίστοιχες συσκευές (π.χ. οθόνες).
- Εκτυπωτές: αφαιρετική διαδικασία.
 - Π.χ. θαλασσί μπογιά αφαιρεί το κόκκινο από το ανακλώμενο φως
 - Αποτέλεσμα Ασπρο - Κόκκινο = (Κόκκινο + Πράσινο + Μπλε) - Κόκκινο = Πράσινο + Μπλε = Θαλασσί.
- Αφαιρετικό Μοντέλο είναι το *CMY*.
 - Στηρίζεται στα βασικά χρώματα Cyan (Θαλασσί), Magenta (Μωβ) και Yellow (Κίτρινο).
 - Αυτά είναι συμπληρωματικά των *R*, *G* και *B*.



- Μετασχηματισμοί μεταξύ *RGB* και *CMY*.

$$\begin{bmatrix} c \\ m \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} c \\ m \\ y \end{bmatrix}$$

Μετασχηματισμός Χρωμάτων από Οθόνη σε Οθόνη

- Η ίδια τριάδα (r, g, b) μπορεί να δίνει λίγο διαφορετικό χρώμα σε διαφορετικές οθόνες
 - Εξαρτάται από είδος φωσφόρου κλπ.
- Διαφορά μπορεί να ξεπεραστεί μέσω του standard μοντέλου XYZ.
 - Απαιτείται πίνακας μετασχηματισμού M για κάθε οθόνη:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M \cdot \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Y_b \end{bmatrix}$$

- Για μετάβαση από Οθόνη 1 σε Οθόνη 2:

$$\begin{bmatrix} r_2 \\ g_2 \\ b_2 \end{bmatrix} = M_2^{-1} \cdot M_1 \cdot \begin{bmatrix} r_1 \\ g_1 \\ b_1 \end{bmatrix}$$