

«Σαρώνοντας μουσικά μια εικόνα»

Χαράλαμπος Χ. Σπυρίδης

Καθηγητής Μουσικής Ακουστικής, Πληροφορικής
Διευθυντής Εργαστηρίου Μουσικής Ακουστικής τεχνολογίας,
Τμήματος Μουσικών Σπουδών Πανεπιστημίου Αθηνών.

Κυρίες και κύριοι, εις τον διατιθέμενον χρόνον θα προσπαθήσω να σας εκθέσω εν γενικαίς γραμμαίς το επιστημονικόν του όλου ερευνητικού έργου και κατόπιν -ως εφαρμογήν των αναφερθησομένων κατά την εισήγησιν- θα μετασχηματίσουμε σε μουσική σύνθεση, την οποία θα ακούσουμε από Sax Tenoro και Timpani, τον ζωγραφικό πίνακα «Κορίτσι μπροστά σε καθρέφτη» του Pablo Picasso, ο οποίος ευρίσκεται στο Μουσείο μοντέρνας τέχνης της Νέας Υόρκης.



Εικόνα 1: Pablo Picasso, «Κορίτσι μπροστά σε καθρέφτη»,
Μουσείο μοντέρνας τέχνης της Νέας Υόρκης.

1. Προλεγόμενα

Κυρίες και Κύριοι σύνεδροι, επιθυμών να σας προϊδεάσω για την εισήγησή μου, θα σας αναφέρω ένα απόφθεγμα, το οποίο μας διασώζει ο Πολύβιος στο έργο του *Ιστορίαι* και αποδίδεται στον μεγάλο προσωκρατικό φιλόσοφο Ηράκλειτο τον Εφέσιο (540-480 π.Χ.).

ὄφθαλμοὶ γὰρ τῶν ὧτων ἀκριβέστεροι μάρτυρες

Πολυβίου, *Ιστορίαι*, 12, 27, 1, 5

[τα μάτια είναι ακριβέστεροι μάρτυρες απ' ό,τι τα αυτιά]

Στο απόσπασμα αυτό ο Ηράκλειτος διαχωρίζει τις πηγές της γνώσεως λέγων ότι τα μάτια είναι ακριβέστεροι μάρτυρες, όσον αφορά στην ουσία των όντων, διότι από τη μορφή και το είδος συλλαμβάνομε την εντελέχεια, την οποία πραγματοποιούν τα όντα κατά την εδώ πορεία τους.

Αφού, λοιπόν, κυρίες και κύριοι, τα μάτια είναι ακριβέστεροι μάρτυρες σε σχέση με τα αυτιά, μια εικόνα που ευχαριστεί τα μάτια, θα μπορούσε – κατά κάποιον τρόπο – να ευχαριστήσει και τα αυτιά;

Αυτό το ερώτημα με ωδήγησε στη συγκεκριμένη έρευνα από την οποία ανεξήτησα την απάντησή του.

Η απάντηση, βεβαίως, εξαρτάται από τον βαθμό που ο άνθρωπος «παρατηρητής - ακροατής» είναι εθισμένος σε εικόνες συγκεκριμένης τεχνοτροπίας και σε ακούσματα συγκεκριμένης μουσικής νοοτροπίας.

Προβληματισθείτε βλέποντες και ακούοντας τα της εισηγήσεως και καταλήξτε στη δική σας απάντηση.



2. Μίξη Χρωμάτων

Το έτος 1665 ο Νεύτων (Εικόνα 2),



Εικόνα 2: Ο Νεύτων

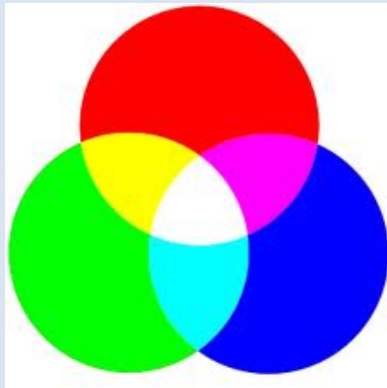
πειραματιζόμενος με το ηλιακό φως, διεπίστωσε ότι είναι σύνθετο, διότι, περνώντας μέσα από ένα πρίσμα, αναλύεται σε ένα σύνολο απλών χρωμάτων (Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Ανάλυση ηλιακού φωτός δια πρίσματος.

Το έτος 1801 ο Thomas Young έδειξε ότι

- ❁ δι' επιπροσθέσεως τριών βασικών μονοχρωματικών ακτινοβολιών κόκκινο (Red), πράσινο (Green) και μπλέ-βιολέ (Blue) επί μαύρου υποβάθρου δίδουν οποιαδήποτε άλλη ακτινοβολία και του λευκού φωτός συμπεριλαμβανομένου
- ❁ ότι με την επιπρόσθεσή τους ανά δύο τα βασικά χρώματα δίδουν το συμπληρωματικό χρώμα ως προς το τρίτο ήτοι κίτρινο (Yellow), κυανούν (Cyan) και πορφυρούν (Magenta) (Σχήμα 2).



Σχήμα 2: Σύνθεση των τριών βασικών μονοχρωματικών ακτινοβολιών του οπτικού φάσματος.

Δι' αναμίξεως με καταλλήλους αναλογίες των τριών βασικών χρωμάτων έχουμε όλα τα χρώματα του ουρανίου τόξου (Ιριδος) (Εικόνα 3).

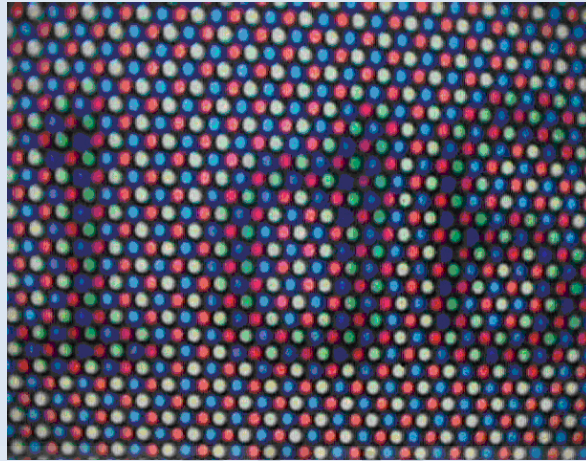


Εικόνα 3: Η ίρις

3. Απόδοση χρωμάτων και μοντέλο RGB.

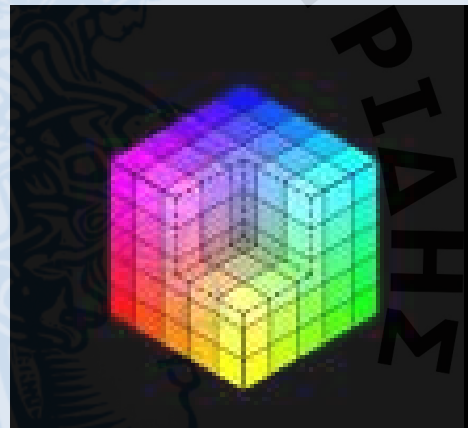
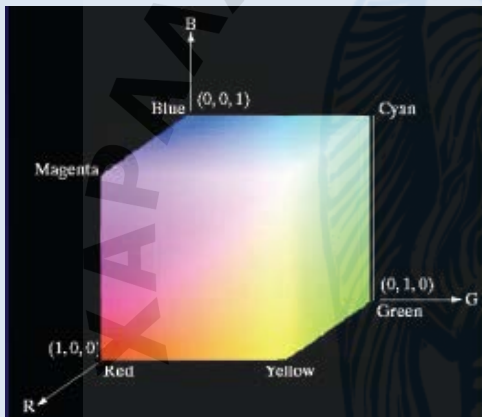
Το οποιοδήποτε χρώμα στις οθόνες των υπολογιστών παριστάνεται ως μείξη τριών βασικών χρωμάτων. Στο χρωματικό μοντέλο RGB κάθε χρώμα προκύπτει ως μίξη του Κόκκινου (**R**), του Πράσινου (**G**) και του Μπλε (**B**) χρώματος.

Εις έκαστον σημείον της εικόνας (pixel) επί της οθόνης Η/Υ (Σχήμα 3) αφιερώνται 3 bytes πληροφορίας. Έκαστον byte, με τιμή από 0 ως 255 ($= 2^8 - 1$), αφορά στο «ποσοστόν» συμμετοχής καθενός εκ των τριών βασικών χρωμάτων εις την σύνθεση του αποδιδομένου χρώματος.



Σχήμα 3: Τα έγχρωμα σημεία (pixels) της οθόνης H/Y εν μεγεθύνσει.

Συγκεκριμένα το μοντέλο RGB ορίζει έναν τρισδιάστατο χώρο, ο οποίος περιλαμβάνει όλα τα χρώματα, που είναι δυνατόν να παρασταθούν από έναν υπολογιστή (Σχήμα 4).



Σχήμα 4: Ο τρισδιάστατος χώρος, ο οποίος ορίζει το RGB μοντέλο, περιλαμβάνει όλα τα χρώματα που είναι δυνατόν να παρασταθούν από έναν υπολογιστή.

Κάθε άξονας του τρισδιαστάτου αυτού χώρου λαμβάνει $(2^8 = 256)$ τιμές στο διάστημα $[0,255]$ ή $[0,1]$ σε κανονικοποιημένες τιμές. Το $(0,0,0)$ παριστάνει το μαύρο χρώμα και το $(255,255,255)$ ή $(1,1,1)$ το λευκό. Κάθε άλλο χρώμα προκύπτει προσεγγιστικά ως γραμμική σύνθεση της μορφής: $F = r R + g G + b B$
 $r,g,b \in [0, 255]$.

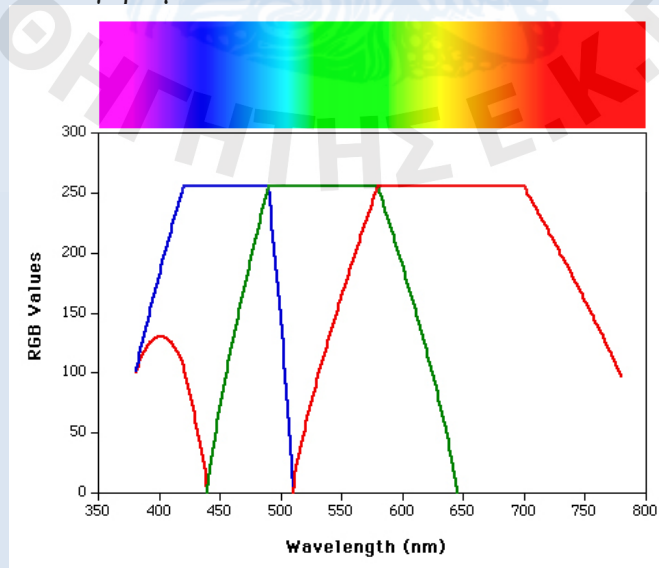
Στον Πίνακα 1 δίδονται οι RGB τιμές ωρισμένων χρωμάτων.

Πίνακας 1: RGB τιμές για μερικά χρώματα		
RGB κώδικας	Ονομασία χρώματος	Χρώμα
106 90 205	slate blue	
132 112 255	LightSlateBlue	
0 0 205	medium blue	
65 105 225	RoyalBlue	
255 140 0	dark orange	
240 128 128	light coral	
255 99 71	tomato	
255 69 0	OrangeRed	
255 0 0	red	
124 205 124	PaleGreen3	
84 139 84	PaleGreen4	
0 255 127	SpringGreen1	
0 139 69	SpringGreen4	
0 255 0	green1	

Εξ αιτίας αυτής της ιδιομορφίας της χρωματικής πληροφορίας στους υπολογιστές, δεν υπάρχει μια μονοσήμαντη αντιστοίχιση συχνοτήτων και RGB τιμών. Προκειμένου, λοιπόν, να μετατραπεί ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος φωτός σε χρώμα έτσι, ώστε να μπορεί να προβληθεί επί της οθόνης ηλεκτρονικού υπολογιστού, απαιτείται ένας αλγόριθμος για να δημιουργήσει τις πρέπουσες RGB τιμές.

Επελέγη ο αλγόριθμος του Dan Bruton λόγω του πολύ καλού αισθητικού αποτελέσματος με την έννοια ότι αποδίδει πολύ ικανοποιητικά τα χρώματα του ορατού φάσματος.

Στο σχήμα 5 απεικονίζονται οι RGB τιμές για τα ορατά μήκη κύματος, όπως αυτά προκύπτουν από τον αλγόριθμο Dan Bruton.



Σχήμα 5: Οι RGB τιμές για τα ορατά μήκη κύματος, όπως προκύπτουν από τον αλγόριθμο Dan Bruton.

Ο αναφερθείς αλγόριθμος του Dan Bruton μετατρέπει συχνότητες του ορατού φάσματος σε RGB τιμές. Δεν υπάρχει αντίστροφος αλγόριθμος, ο οποίος να μετατρέπει RGB τιμές σε μονοχρωματικές συχνότητες του ορατού φάσματος.

Προκειμένου, όμως, να προκύψουν τιμές συχνοτήτων του ορατού φάσματος για τις RGB τιμές του χρώματος (r,g,b) εκάστου pixel της εικόνας, που θα μετατραπεί σε μουσική, εφηρμόσθη η ακόλουθος διαδικασία:

Κάθε τιμή χρώματος (r,g,b) εκάστου pixel της εικόνας, που θα μετατραπεί σε μουσική, πρέπει να αντιστοιχηθεί σε κάποια τιμή χρώματος (r',g',b') του ορατού φάσματος, η οποία προέκυψε από τον αλγόριθμο του Dan Bruton.

Η αντιστοίχιση επιτυγχάνεται ελαχιστοποιώντας τη συνάρτηση

$$f(r',g',b') = \sqrt{(r-r')^2 + (g-g')^2 + (b-b')^2}$$

η οποία παριστάνει την μεταξύ τους απόσταση εις τον τρισδιάστατο RGB χώρο.

Στο σχήμα 6 φαίνονται τα βήματα για την υλοποίηση των αναφερθεισών ενεργειών δια των οποίων μετατρέπονται οι RGB τιμές για το χρώμα κάθε σημείου (pixel) μιας εικόνας σε συχνότητες του ορατού φάσματος.



Σχήμα 6: Οι ενέργειες δια των οποίων μετατρέπονται οι RGB τιμές για το χρώμα κάθε σημείου (pixel) μιας εικόνας σε συχνότητες του ορατού φάσματος.

Έχοντας νέες RGB τιμές για το χρώμα του κάθε σημείου (που αντιστοιχούν σε συχνότητες του ορατού φάσματος) σχεδιάζεται εκ νέου η εικόνα, χρησιμοποιώντας αυτές τις τιμές.

4. Μετασχηματισμός Οπτικών συχνοτήτων σε Ακουστές συχνότητες

Ορίζοντας μια «μία προς μία» αντιστοιχία μεταξύ των σχετικών μεγεθών των οπτικών και ακουστών «διαστημάτων», επιτυγχάνεται χωρίς στρέβλωση η μετατροπή των μεν εις τα δε και, συνεπώς, η μετάβαση με αντικειμενικό τρόπο από τις οπτικές συχνοότητες στις ακουστές κι αντίστροφως. Τα ανωτέρω εκφράζονται δια της παρακάτω σχέσεως

$$\frac{\log\left(\frac{f_{\text{οπτικό}}}{f_{\text{οπτικό}}^{\min}}\right)}{\log\left(\frac{f_{\text{οπτικό}}^{\max}}{f_{\text{οπτικό}}^{\min}}\right)} = \frac{\log\left(\frac{f_{\text{ακουστό}}}{f_{\text{ακουστό}}^{\min}}\right)}{\log\left(\frac{f_{\text{ακουστό}}^{\max}}{f_{\text{ακουστό}}^{\min}}\right)}$$

Πρέπει να τονισθεί ότι η σχέση αυτή αποτελεί συνέπεια του ψυχοφυσικού νόμου των Weber-Fechner, ότι δηλαδή το αίσθημα είναι ανάλογο του λογαρίθμου του ερεθίσματος. Με άλλα λόγια, αυτό που βλέπουμε και αυτό που ακούμε είναι ανάλογο των λογαρίθμων των συχνοτήτων των κυματικών (οπτικών και ακουστών, αντιστοίχως) ερεθισμάτων.

Τα όρια για το ακουστό φάσμα –υπό την έννοια της ανθρώπινης μουσικής δραστηριότητας- είναι επιλέξιμα εντός του συχνοτικού εύρους οκτώ μουσικών οκτάβων και συγκεκριμένα από 16,352 Hz έως 7.902,1 Hz (C0-B8).

Τα όρια του ορατού φάσματος είναι τα μήκη κύματος από 380nm ως 780nm.

5. Ομαδοποίηση τιμών

Έχοντας ως στόχο να καταλήξουμε σε μουσική μελωδία, πρέπει με κάποια διαδικασία να ομαδοποιηθούν οι προκύπτουσες ακουστές συχνότητες έτσι, ώστε να διαμορφωθούν φθόγγοι συγκεκριμένου μουσικού ύψους και χρονικής διάρκειας. Τούτο επετεύχθη με τη θεωρία των Σειρών Fourier

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t)$$

δια της οποίας αποκτήσαμε τα πρόπονα μουσικά ύψη και του συντελεστού συσχέτισης

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

δια του οποίου διεμορφώθησαν φθόγγοι συγκεκριμένης χρονικής διάρκειας.

Η πλήρης και αναλυτική μαθηματική ανάλυση του εγχειρήματος παρέλκει σε μια τέτοια συνάντηση, διότι προέχει η ενημέρωση περί του εγχειρήματος.

6. Μετατροπή Ακουστών συχνοτήτων σε συχνότητες της συγκεκριμένης ευρωπαϊκής μουσικής κλίμακος και δημιουργία πολυφωνικής μουσικής.

Το επόμενο βήμα είναι η αναγωγή των συχνοτήτων των φθόγων, που προέκυψαν, σε συχνότητες της συγκεκριμένης ευρωπαϊκής κλίμακος. Αυτό επιτυγχάνεται με την αντικατάσταση της συχνότητας εκάστου φθόγου με την πλησιέστερή της συχνότητα της συγκεκριμένης ευρωπαϊκής κλίμακος. Κατ' αυτόν τον τρόπο προκύπτει μελωδία με φθόγους της ευρωπαϊκής μουσικής.

Οι φθόγγοι αυτοί χωρίζονται στον επιθυμητό από τον χρήστη αριθμό συνηχουσών φωνών και δομείται, έτσι, μια πολυφωνική σύνθεση. Η δομούμενη σύνθεση αποθη-

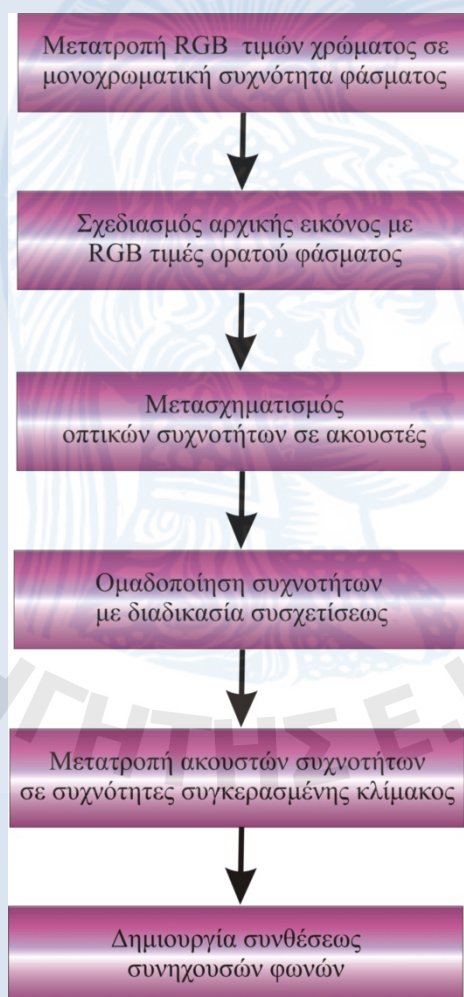
κεύεται σε ένα *midi* αρχείο και είναι δυνατόν να την ακούσουμε ή να την επεξεργασθούμε με οποιοδήποτε πρόγραμμα επεξεργασίας παρτιτούρας.

Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα:

- ⊗ επιλογής διαφορετικών μουσικών οργάνων για την απόδοση κάθε φωνής (μελωδίας)
- ⊗ επιλογής του συχνοτικού εύρους (ampritus) εκάστου μουσικού οργάνου
- ⊗ επιλογής του μέτρου,
- ⊗ ρυθμίσεως του tempo,
- ⊗ «εκτελέσεως» της πολυφωνικής μελωδίας και
- ⊗ προβολής σε πίνακα των νοτών όλων των φωνών.

7. Ανακεφαλαίωση

Στο διάγραμμα ροής του σχήματος 7 παρουσιάζεται η υλοποίηση των διαδικασιών, τις οποίες εκτελεί το εν λόγω λογισμικό, προκειμένου να μετασχηματίσει μονοσημάντως έναν ζωγραφικό πίνακα σε μια μουσική σύνθεση.



Σχήμα 7: Το διάγραμμα ροής του λογισμικού.

Κυρίες και κύριοι, όπως εκ των προτέρων σας ανέφερα, ως εφαρμογή των αναφερθέντων κατά την εισήγηση, θα μετασχηματίσουμε σε μουσική σύνθεση για Sax Teno-

ρο και Timpani τον ζωγραφικό πίνακα «Κορίτσι μπροστά σε καθρέφτη» του Pablo Picasso από το Μουσείο μοντέρνας τέχνης της Νέας Υόρκης.
(50-50-0,95 200-650)

