



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ**

ΤΟΜΕΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΣ - ΚΛΙΝΙΚΟΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ

**«Παραγωγή Προγραμμάτων Η/Υ για την έρευνα της ολοκληρωμένης
αισθητηριακής αντίληψης»**

**Αλέξανδρος Πολύμερος
Φυσικός**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ιωάννινα 2012

«Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από την Ιατρική Σχολή του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα Ν. 5343/32, άρθρο 202, παράγραφος 2 (νομική κατοχύρωση του Ιατρικού Τμήματος)»

Ημερομηνία αίτησης του κ. Πολύμερου Αλέξανδρου: 17-10-2002

Ημερομηνία ορισμού Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής: 489^α/4-2-2003

Μέλη Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής:

Επιβλέπων

Ευαγγέλου Άγγελος, Καθηγητής Φυσιολογίας

Μέλη

Ρήγας Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής Ιατρικής Φυσικής

Τσομώκος Ιωάννης, Λέκτορας Μαθηματικού Τμήματος Παν/μίου Ιωαννίνων

Ανασύσταση Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής: Αριθμ Συνεδρ. 623^α/18-12-2007

Επιβλέπων

Ευαγγέλου Άγγελος, Καθηγητής Φυσιολογίας

Μέλη

Ρήγας Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής Ιατρικής Φυσικής

Καλφακάκου Βασιλική, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Φυσιολογίας

Ημερομηνία ορισμού θέματος: 20-6-2005

«Παραγωγή προγραμμάτων σε Η/Υ για την έρευνα της ολοκληρωμένης αισθητηριακής αντίληψης»

ΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΤΑΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ : 737^α/12-6-2012

1. Ευαγγέλου Άγγελος, Καθηγητής Φυσιολογίας Ιατρικής Σχολής, Παν/μίου Ιωαννίνων
2. Μπάκας Θωμάς, Καθηγητής Φυσικής Τμήματος Φυσικής, Παν/μίου Ιωαννίνων
3. Καλφακάκου Βασιλική, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Φυσιολογίας Ιατρικής Σχολής, Παν/μίου Ιωαννίνων
4. Δούβαλης Αλέξιος, Επίκουρος Καθηγητής Φυσικής Τμήματος Φυσικής, Παν/μίου Ιωαννίνων
5. Καρκαμπούνας Σπυρίδωνας, Επίκουρος Καθηγητής Φυσιολογίας με έμφαση στην Περιβαλλοντολογική Φυσιολογία
6. Ρήγας Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής Ιατρικής Φυσικής Ιατρικής Σχολής, Παν/μίου Ιωαννίνων
7. Κουρκουμέλης Νικόλαος, Λέκτορας Ιατρικής Φυσικής Ιατρικής Σχολής, Παν/μίου Ιωαννίνων

Έγκριση Διδακτορικής Διατριβής με βαθμό «ΑΡΙΣΤΑ» στις 6-7-2012

ΠΡΟΕΔΡΟΣ ΤΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ

Τσαφλίδου Μαργαρίτα

Καθηγήτρια Ιατρικής Φυσικής

Η Γραμματέας της Σχολής

ΚΑΠΙΤΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ



Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε εν μέρει στο Εργαστήριο Φυσιολογίας του τμήματος Ιατρικής και εν μέρει στο Εργαστήριο Mössbauer και Φυσικής Υλικών του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Η ανάθεση του θέματος και η γενική επίβλεψη της έγινε από τον Καθηγητή Άγγελο Ευαγγέλου, Διευθυντή του Εργαστηρίου Φυσιολογίας, τον οποίο και ευχαριστώ για την υπόδειξη του θέματος, τη συνεχή επίβλεψη, καθοδήγηση και βοήθεια κατά την κατασκευή των προγραμμάτων και τη συγγραφή της εργασίας αυτής.

Ευχαριστώ επίσης τα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κ. Β. Καλφακάκου και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Κ. Ρήγα για το ενδιαφέρον που επέδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια εκτέλεσης της διατριβής.

Εκφράζω τις ευχαριστίες μου στον Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, κ. Α. Δούβαλη, όπως επίσης και στον Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων Θωμά Μπάκα για τη καθοριστική και πολύτιμη βοήθειά τους κατά τη διαδικασία κατασκευής τόσο του προγράμματος ανάλυσης φασμάτων Mössbauer (IMSG) όσο και της ηλεκτρονικής διάταξης συλλογής φασμάτων Mossbauer που κατασκεύασα.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	1
----------------	---

Γενικό Μέρος

Εγκέφαλος και εγκεφαλικοί σχηματισμοί

Κινητικό Σύστημα (Πυραμιδικό).....	9
Μεταχιακό Σύστημα	9

Μνήμη και κατηγορίες μνήμης

Κατηγορίες μνήμης –μάθησης.....	10
Συστήματα μνήμης-μάθησης και η σχέση τους με εγκεφαλικές δομές.....	11

Εγκέφαλος και Αισθήσεις

Ακοή.....	13
Όραση	14
Κίνηση και Ιδιοδεκτική Αίσθηση	14

Ειδικό Μέρος

Περιγραφή της γενικής μεθοδολογίας	18
--	----

Εικονικός οπτικός χώρος

Η διαχείριση του τρισδιάστατου χώρου από την πλευρά του χρήστη.	20
Σχέση των Quaternion με τους πίνακες στροφών.....	29
Περιγραφή της λειτουργίας του προγράμματος.....	33

Χρωματική αντίληψη

Χρωματικά μοντέλα.....	36
RGB vs HSV color model.....	39
Περιγραφή της λειτουργίας του προγράμματος.....	40

Ηχητική αντίληψη

Περιγραφή της λειτουργίας του προγράμματος.....	42
---	----

Κιναισθησία - αντίληψη πραγματικού χώρου

Ομογραφίες.....	48
Σύνδεση των ομογραφιών με της εσωτερικές και εξωτερικές παραμέτρους της θέσης παρατήρησης.....	50
Stereo Calibration – Stereo Rectification	51
Περιγραφή της λειτουργίας του προγράμματος.....	55

Exploiting commercial devices.....	57
------------------------------------	----

Mössbauer card

Πειραματική διάταξη	60
Εισαγωγή στην ψηφιακή Λογική.....	61
Ηλεκτρονική υλοποίηση	64
Τρέχουσα υλοποίηση	71
Software Defined Radio (Universal Machine)	75

Mössbauer Fitting Program

Θεωρία	78
Περιγραφή της λειτουργίας του προγράμματος.....	81

Αποτελέσματα

Τυπική εφαρμογή της φασματοσκοπίας Mössbauer στην φυσιολογία.....	82
Εφαρμογή αντίληψης χώρου σε εικονικό περιβάλλον	85
Εφαρμογή αντίληψης ήχου	88
Εφαρμογή αντίληψης χρωμάτων	92
Εφαρμογή κιναισθητικής αντίληψης	94

Συμπεράσματα Προτάσεις	96
-------------------------------------	----

Εισαγωγή

Κάθε ζωντανό σύστημα εμπεριέχει μηχανισμούς με τους οποίους λαμβάνει διαρκή πληροφόρηση για το εξωτερικό και το εσωτερικό του περιβάλλον, προκειμένου να έχει μια ολοκληρωμένη εικόνα που να του επιτρέπει να διατηρεί τη δομική και λειτουργική του σταθερότητα (ομοιόσταση). Το σύνολο αυτών των μηχανισμών περιβαλλοντικής και ενδοοργανισμικής πληροφόρησης συνιστά ένα πληροφορικό υποσύστημα του οργανισμού, που δομείται ιεραρχικά και συγκλίνει σε ένα ανώτατο κέντρο λήψης αποφάσεων. Οι μηχανισμοί αυτοί εντάσσονται στο νευρικό σύστημα.

Αυτό σημαίνει ότι τα αισθητήρια πρέπει να αντλούν δεδομένα από το περιβάλλον με συχνότητα και πυκνότητα τέτοια, ώστε ο οργανισμός να είναι σε θέση όχι μόνο να τα επεξεργαστεί, αλλά και να αντιδράσει σε πραγματικό χρόνο. Η εξειδίκευση των αισθητηριακών μηχανισμών είναι τέτοια, που για παράδειγμα αρκούν μερικά μετρημένα στα δάκτυλα φωτόνια για να μας δώσουν μια αίσθηση φωταύγειας (με κατάλληλη ισχυρότατη ενίσχυση ενσωματωμένη στο αισθητήριο κύκλωμα), αλλά επιπλέον να μπορούμε μέσα σε άπλετο φωτισμό να διακρίνουμε αντικείμενα. Η περαιτέρω επεξεργασία συμπεριλαμβάνει την ανάσυρση και σύγκριση με αποθηκευμένες μνήμες αλλά και την αξιολόγηση, ώστε να υπάρξει κατάλληλη αντίδραση. Αυτοί οι μηχανισμοί είναι του ερευνητικού ενδιαφέροντος της επιστήμης της φυσιολογίας, ενώ ακόμη περισσότερο, η αντίληψη της ομορφιάς, της ευφορίας στο άκουσμα μιας μουσικής σύνθεσης, ίσως ακόμη και της κρίσης για την ηθική επικρότηση ή καταδίκη μιας ενέργειας, αποτελούν κοινούς τρόπους έρευνας και προβληματισμού στα πεδία των νευρο-επιστημών και της φιλοσοφίας του νου.

Ο εγκέφαλος λοιπόν, δημιουργεί και διαχειρίζεται όλες τις αντιληπτικές διαδικασίες του ανθρώπου. Στην πραγματικότητα διαχειρίζεται κάθε φορά κατάλληλους αλγορίθμους με τέτοια αποτελεσματικότητα, που καμία μηχανή για την ώρα δεν μπορεί όχι να τον ανταγωνιστεί αλλά ούτε καν να συγκριθεί μαζί του.

Η τεράστια υπεροχή του εγκεφάλου γίνεται προφανής ιδιαίτερα στην επεξεργασία ασαφών, μη καλά προσδιορισμένων δεδομένων. Αντίθετα, καλά προσδιορισμένες ή επαναλαμβανόμενες διαδικασίες που δεν απαιτούν νοημοσύνη μπορούν να εκτελούνται από τις μηχανές και μάλιστα γρηγορότερα.

Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο φαινομενικά απλές και συνηθισμένες για τον άνθρωπο διαδικασίες, όπως η ομιλία και η κατανόηση, η αναγνώριση συμβόλων ή προτάσεων είτε οπτικά είτε ακουστικά, παραμένουν ανοικτά επιστημονικά προβλήματα.



(Φωτογραφία από το Human Information Processing [1])



singularly

Acquag

Give

(Παραδείγματα CAPTCHAs)

Ιδιαίτερα απλές τεχνικές, όπως το CAPTCHA, εφαρμόζονται σήμερα από ηλεκτρονικούς υπολογιστές για τη διάκριση μεταξύ νοήμονος ή ρομποτικού χρήστη. Προβλήματα απλά στη διατύπωσή τους δεν είναι απαραίτητο ότι έχουν απλές λύσεις και μερικές φορές δεν υπάρχει ως τώρα καμία γνωστή λύση. Η RSA κρυπτογράφηση είναι η πλέον ασφαλής και η ασφάλειά της βασίζεται στην μαθηματική αδυναμία μας να διαπιστώσουμε εύκολα και γρήγορα αν ένας σχετικά μεγάλος αριθμός είναι πρώτος. (π.χ. 1111111111, 1234567891). Άλλες φορές συμβαίνει το ακριβώς αντίθετο. Ιδιαίτερα πολύπλοκα προβλήματα επιδέχονται εξαιρετικά απλές λύσεις. Στο χώρο των θετικών επιστημών υπάρχει ένας εθιμικός κανόνας που μεταξύ δύο λύσεων μιας πολύπλοκης και μιας απλής να προτιμάται η απλή και ως τώρα αυτός ο κανόνας δικαιώνεται συνεχώς.

Σε όλες τις επιστήμες, όταν τα δεδομένα είναι ασαφή, τίθεται το ερώτημα με ποια μεθοδολογία έχουμε τη δυνατότητα να εξαγάγουμε όσο το δυνατόν πιο ασφαλή αντικειμενικά αποτελέσματα και συμπεράσματα.

Ως παράδειγμα, στην περίπτωση που θα θέλαμε μια μηχανή να επεξεργάζεται φωνητικά δεδομένα με τέτοια ποιότητα που θα μπορούσε να συγκριθεί με εκείνη ενός ανθρώπου, η διαδικασία δεν είναι καθόλου απλή. Οι περισσότερες μεθοδολογίες που προσπαθούν να επιλύσουν τέτοιου είδους προβλήματα διαφέρουν σημαντικά από τις κλασικές μεθοδολογίες της αναλυτικής επίλυσης ή της περιγραφής. Στην προκειμένη περίπτωση της φωνητικής επεξεργασίας το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τη χρήση είτε HMMs (Hidden Markov Models) [2] είτε νευρωνικών δικτύων (neural networks)

είτε ασαφούς λογικής (fuzzy logic) είτε κάποιας στατιστικής επεξεργασίας (Bayesian network) είτε με συνδυασμό όλων των παραπάνω και την περαιτέρω επεξεργασία τους από ένα μηχανισμό που επιβάλλει κανόνες (State Machine).

Στην περίπτωση της επεξεργασίας ήχου σταθερούς ροής από πρόταση διάρκειας 5 δευτερολέπτων, που περιέχει μερικές δεκάδες φωνήματα και λιγότερο από μια δεκάδα λέξεις σε χαμηλή ποιότητα δειγματοληψίας 11200 Kbs, προκύπτει ένας όγκος ίσος με $11200 \cdot 5/8$ ψηφιακών μονάδων (Bytes) που πρέπει να επεξεργαστούμε σε πραγματικό χρόνο, ώστε να καταλήξουμε στην αναγνώριση μερικών λέξεων. Στο πιο πάνω παράδειγμα η ασάφεια των δεδομένων προέρχεται μεταξύ άλλων και από τον όγκο της πληροφορίας που είναι διαθέσιμος.

Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που η ασάφεια των δεδομένων δεν προέρχεται από το μεγάλο όγκο της δειγματοληψίας αλλά από την ανεπάρκειά της. Στην ψηφιακή επεξεργασία σήματος είναι θεμελιώδους σημασίας το θεώρημα Nyquist–Shannon (Nyquist–Shannon sampling theorem). Σύμφωνα με αυτό, ένα πεπερασμένο σε εύρος συχνοτήτων σήμα είναι δυνατόν να αποκατασταθεί με ακρίβεια από ένα άπειρο (στην πράξη αρκετά μεγάλο) σύνολο δειγματοληψιών του, **μόνο** όταν ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι **τουλάχιστον διπλάσιος** από την μέγιστη συχνότητα που περιέχεται σε αυτό.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι θα θέλαμε να καταγράψουμε τις αισθητηριακές αποκρίσεις ενός ατόμου, για παράδειγμα στην αντίληψη της θερμοκρασίας, την αντίληψη της πίεσης ή την ακουστική αντίληψη κ.τ.λ. Μια προσέγγιση θα ήταν αφού κάνουμε μια δειγματοληψία σε ένα εύρος των παραπάνω μεγεθών να υποβάλουμε το υποκείμενο σε ένα σύνολο αυτής της δειγματοληψίας και να συλλέξουμε μια σειρά από απαντήσεις του τύπου ναι, όχι, αρκετά, λίγο, πολύ, μοιάζει, διαφέρει κ.ο.κ. Αυτή η προσέγγιση όμως πάσχει από το πρόβλημα της υποδειγματοληψίας (subsampling – aliasing), γιατί όσο μεγάλη και να γίνει η δειγματοληψία του υπό εξέταση μεγέθους (συχνότητα, θερμοκρασία κ.τ.λ) τα δεδομένα μας είναι ο συνδυασμός αυτής με το μικρό εύρος του πλήθους των απαντήσεων του υποκειμένου.

Ας υποθέσουμε στη συνέχεια ότι η πειραματική διαδικασία μεταβάλλεται (για λόγους κατανόησης θα την περιγράψουμε στην περίπτωση της ηχητικής αντίληψης).

1. Το υποκείμενο ακούει για ένα χρονικό διάστημα μία ηχητική συχνότητα.
2. Το υποκείμενο καλείται να βρει μέσω ενός μηχανισμού που χειρίζεται το ίδιο και από ένα σύνολο όχι περιορισμένο σε κάποιο εύρος δειγματοληψίας την ηχητική συχνότητα που άκουσε στο βήμα 1.
3. Η διαδικασίες 1,2 επαναλαμβάνονται για στατιστικά ικανοποιητικό αριθμό επαναλήψεων.

Με τη νέα πειραματική διαδικασία τα δεδομένα μας δεν υποφέρουν όχι μόνο από το πρόβλημα της υποδειγματοληψίας αλλά ούτε και από την υποκειμενικότητα των απαντήσεων του υποκειμένου.

Η αναζήτηση συσκευών και λογισμικού που να εφαρμόζεται αυτή η πειραματική διαδικασία δεν απέδωσε αποτελέσματα. Αυτή η ανάγκη οδήγησε στην παρούσα ερευνητική εργασία, δηλαδή την κατασκευή λογισμικού και υλικού που να επιτρέπει

την εφαρμογή της πιο πάνω μεθοδολογίας σε διάφορες αντιληπτικές διαδικασίες (ήχος, αντίληψη χώρου, αίσθηση πίεσης κ.τ.λ.). Ταυτόχρονα, όμως, διερευνήθηκε:

1. Εάν και σε ποιο βαθμό, καθιερωμένες μεθοδολογίες που βασίζονται στη χρήση πραγματικών (hardware - real) συσκευών είναι δυνατόν να υποκατασταθούν με μη απτές (virtual - software) μεθοδολογίες οδηγώντας στα ίδια αποτελέσματα (Sound and vision virtual environments etc).
2. Κατά πόσο τυπική και άμεσα διαθέσιμη τεχνολογία, με μικρές παρεμβατικές ενέργειες μέσω λογισμικού, είναι δυνατόν να βρει εφαρμογή σε καθιερωμένες πειραματικές μεθοδολογίες στη φυσιολογία προσφέροντας μετρήσιμα μεγέθη.
3. Κατά πόσο πραγματικές μηχανές που εκτελούν εντελώς διαφορετικές λειτουργίες και φαίνονται με μια πρώτη ματιά να μην έχουν καμία σχέση μεταξύ τους είναι δυνατόν να υποκατασταθούν από μία **ολική** μηχανή. (Software Defined Radio) .
4. Κατά πόσο υπάρχουσες και καλά ορισμένες τεχνικές αναγνώρισης προτύπων είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε αυτοματοποίηση πειραματικών διαδικασιών που απαιτούν τη συμμετοχή νοήμονος παρατηρητή.

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Εγκέφαλος και εγκεφαλικοί σχηματισμοί

Ο εγκέφαλος προσλαμβάνει ουσίες μικρομοριακές και λιποδιαλυτές καθώς και γλυκόζη που αποτελεί την μοναδική οργανική ένωση που μεταβολίζει παρουσία οξυγόνου ώστε να παραχθεί η ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία του.

Ο εγκέφαλος διαθέτει εξειδικευμένο αγγειακό σύστημα εξοπλισμένο με τον «αιματοεγκεφαλικό φραγμό» ο οποίος αποκλείει την δίοδο ορισμένων βλαβερών ουσιών από την κυκλοφορία στον εγκεφαλικό ιστό.

Ο φλοιός του εγκεφάλου διακρίνεται σε διάφορες περιοχές με χαρακτηριστικά κύτταρα, από πλευράς μορφολογικής αλλά και λειτουργικής, σε κάθε περιοχή. Ο Brodmann (1909) προχώρησε σε σημαντική χαρτογράφηση του εγκεφάλου, η οποία χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα, χωρίζοντας τον εγκεφαλικό φλοιό σε 52 περιοχές. Καθεμιά από τις αριθμημένες περιοχές αντιστοιχεί σε συγκεκριμένες λειτουργίες [3].

Ο εγκέφαλος αποτελεί το πιο ζωτικό και πολύπλοκο όργανο του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος (Κ.Ν.Σ.), βρίσκεται προστατευμένος μέσα σε μια οστέινη κάψα, το κρανίο και περιβάλλεται από τρεις μεμβράνες, τις *μήνιγγες* (matters). Το *εγκεφαλονωτιαίο υγρό* (cerebrospinal fluid) περιλούει τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό και γεμίζει τις κοιλίες του εγκεφάλου, κοιλότητες με τροφικό και προστατευτικό ρόλο απέναντι σε μηχανικές κακώσεις του εγκεφαλικού ιστού.

Ο εγκέφαλος διατρέχεται από αρτηρίες και φλέβες οι οποίες βρίσκονται στις *αύλακες* (sulci) και στις *σχισμές* (fissures) του και περιέχουν αντίστοιχα αρτηριακό και φλεβικό αίμα.

Ο εγκέφαλος διαιρείται : α) στα *εγκεφαλικά ημισφαίρια ή τελεγκέφαλο*, β) στο *διάμεσο εγκέφαλο* (επιθάλαμο, επίφυση, οπτικό θάλαμο, υποθάλαμο-υπόφυση), γ) στο *μέσο εγκέφαλο* (ερυθρός πυρήνας, μέλαινα ουσία, βασικά γάγγλια), δ) στον *οπίσθιο εγκέφαλο* (γέφυρα, παρεγκεφαλίδα) και ε) στον *έσχατο εγκέφαλο* (προμήκη μυελό) που βρίσκεται σε συνέχεια με το νωτιαίο μυελό.

Ο *θάλαμος* (δεξιός και αριστερός) επιτελεί την ζωτική λειτουργία της αναμετάδοσης πλήθους υποφλοιωδών μηνυμάτων προς το φλοιό [4]. Ο θάλαμος, λόγω των πολλαπλών συνδέσεων, συμμετέχει σε πολλές από τις λειτουργίες του εγκεφάλου, πέραν της επεξεργασίας και διακίνησης αισθητικών, αισθητηριακών και κινητικών νευρικών σημάτων, όπως μνήμη, προσοχή, αίσθηση και ομιλία [5].

Στο άνω τμήμα του *διαμέσου εγκεφάλου* βρίσκεται η *επίφυση ή κωνάριο* (pineal gland) ένας αδένας που έχει σχέση με τη χρονοβιολογία (έλεγχος βιολογικών ρυθμών και περιόδων) και τη παραγωγή μελατονίνης (ορμόνη ρύθμισης του ύπνου) [6]. Στο κάτω μέρος του *διαμέσου εγκεφάλου* και κάτω από τον *θάλαμο* βρίσκεται ο *υποθάλαμος*, ο οποίος αποτελείται από 22 πυρήνες επιτελώντας ζωτικές λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού, όπως τη ρύθμιση του αυτόνομου νευρικού συστήματος και την ομοιοστάση, τη ρύθμιση των ορμονών, τη διατήρηση της θερμοκρασίας του σώματος, τη λήψη τροφής και τη ρύθμιση του μεταβολισμού, τη σταθερότητα της αρτηριακής πίεσης και του επιπέδου των ηλεκτρολυτών, τον ύπνο, τη σεξουαλική αλλά και συγκινησιακή συμπεριφορά [7].

Το *στέλεχος* του εγκεφάλου αποτελείται από: α) το *μέσο εγκέφαλο*, β) τον *οπίσθιο εγκέφαλο* (που σχηματίζεται από τη γέφυρα και τη παρεγκεφαλίδα), και γ) τον *έσχατο εγκέφαλο ή προμήκη μυελό*.

Ο *μέσος εγκέφαλος (μεσεγκέφαλος)* αποτελείται από το *τετράδυμο* (ραχιαία επιφάνεια), τον *ερυθρό πυρήνα* (red nucleus) και τη *μέλαινα ουσία* (substantia nigra), από την οποία ξεκινούν οι ντοπαμινεργικές νευρικές οδοί, οι οποίες καταλήγουν στα βασικά γάγγλια, νευρικούς πυρήνες επιφορτισμένους με τον έλεγχο του μυϊκού

τόνου και της στάσης του σώματος . Η *γέφυρα* (pons) συντονίζει τις κινήσεις των τμημάτων του σώματος μέσω των νευρικών οδών του κινητικού συστήματος και επιπλέον συντελεί στον έλεγχο του ύπνου(πυρήνες της ραφής) [8]. Η *παρεγκεφαλίδα* (cerebellum) είναι δένδροειδής σχηματισμός και ρυθμιστής της αρμονίας των κινήσεων. Βλάβη στη *παρεγκεφαλίδα* προκαλεί την *παρεγκεφαλιδική αταξία*. Χαρακτηριστικά κύτταρα της *παρεγκεφαλίδας* είναι τα *κύτταρα του Purkinje*. Τέλος στον *προμήκη μυελό* (medulla oblongata) βρίσκονται τα κέντρα ελέγχου των ζωτικών λειτουργιών όπως η αναπνοή και η κυκλοφορία του αίματος γι' αυτό και βλάβες της περιοχής είναι δυνατόν να αποβούν μοιραίες [7].

Τα ημισφαίρια του εγκεφάλου διατρέχονται από *αύλακες* (sulci) ανάμεσα στις οποίες υπάρχουν περιοχές που ονομάζονται *έλικες* (gyri).

Η σχισμή η οποία χωρίζει τον εγκέφαλο σε άνω και κάτω μέρος είναι γνωστή με την ονομασία *αύλακα του Sylvius* και χωρίζει το κάτω και πρόσθιο μέρος του εγκεφάλου, τον *κροταφικό λοβό* (temporal lobe), από το *μετωπιαίο λοβό* (frontal lobe), ο οποίος βρίσκεται άνω και πρόσθια, και το *βρεγματικό λοβό* (parietal lobe), που βρίσκεται άνω και οπίσθια [3]. Υπάρχει ακόμη η *αύλακα του Ronaldo* που χωρίζει το μετωπιαίο από το βρεγματικό λοβό. Στο πίσω μέρος του ημισφαιρίου βρίσκεται ο *ινιακός λοβός* (occipital lobe). Τέλος, η *νησίδα του Reil* είναι ένας λοβός στο έσω και πλάγιο τμήμα των ημισφαιρίων που καλύπτεται από το μετωπιαίο και βρεγματικό λοβό στο πάνω μέρος και από τον κροταφικό στο κάτω [3].

Τα δύο ημισφαίρια ενώνονται μεταξύ τους με το *τυλώδες σώμα* , γνωστό ως *μεσολόβιος σύνδεσμος* (corpus callosum) και αποτελείται από συνδέσμους νευρικών ινών. Το μεσολόβιο με τη βοήθεια κι άλλων συνδέσμων, όπως της *ψαλίδας* (fornix) και του πρόσθιου συνδέσμου (anterior commissure) διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ των ημισφαιρίων.

Ο *εγκεφαλικός φλοιός* αποτελείται από πλήθος νευρικών κυττάρων των οποίων οι συνδέσεις αποτελούν το εσωτερικό τμήμα του εγκεφάλου, τη *λευκή ουσία*. Ο φλοιός του εγκεφάλου έχει *φαιό χρώμα* γι' αυτό ονομάζεται *φαιά ουσία*. Ο φλοιός των ημισφαιρίων εκπροσωπείται από τις πρωτογενείς αισθητικές και κινητικές περιοχές και ονομάζεται *νεοφλοιός* (neopallidum).

Στο εσωτερικό του εγκεφάλου υπάρχουν οι *πυρήνες* (nuclei) ή *γάγγλια* (ganglia), περιοχές που δημιουργήθηκαν από συναθροίσεις νευρώνων. Υπάρχουν επίσης τέσσερις *κοιλότητες* (*κοιλίες*) (ventricles) στον εγκέφαλο, γεμάτες με το *εγκεφαλονωτιαίο υγρό* (cerebrospinal fluid) το οποίο παράγεται στα *χοριοειδή πλέγματα* (choroid plexuses).

Όσον αφορά την *λειτουργική οργάνωση* του εγκεφάλου υπάρχουν τρεις απόψεις οι οποίες αφορούν την κατανομή των διαφόρων εγκεφαλικών λειτουργιών στα δύο ημισφαίρια. Η *πρώτη άποψη* αφορά την συμμετοχή και των δυο ημισφαιρίων σε όλες τις λειτουργίες , ενώ οι υποστηρικτές της *δεύτερης άποψης* θεωρούν ότι το αριστερό είναι το κυρίαρχο(επικρατές) ημισφαίριο. Τέλος, η *άποψη* ότι και τα δύο ημισφαίρια συνεισφέρουν σε κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα (μικτή κυριαρχία) με το καθένα να επιτελεί εξειδικευμένες λειτουργίες φαίνεται να είναι η πιο αποδεκτή σήμερα.

Η *ασυμμετρία* των δύο ημισφαιρίων αποτελεί τη πιο σημαντική βιολογική βάση της διαφοράς του ανθρώπινου εγκεφάλου από αυτή των ζώων. Η ομιλία και η δεξιοτεχνία αποτελούν μοναδικά προνόμια του ανθρώπινου γένους. Και τα δύο εγκεφαλικά ημισφαίρια έχουν ικανότητες αντίληψης, μάθησης, απομνημόνευσης και δημιουργίας αισθημάτων. Η διαφορά τους έγκειται στον τρόπο επεξεργασίας της κάθε πληροφορίας. Πιο συγκεκριμένα, το αριστερό ημισφαίριο ελέγχει την παραγωγή

και κατανόηση της γλώσσας ενώ το δεξί επεξεργάζεται πληροφορίες που αφορούν το χώρο και τη μουσική με «ολιστικό» τρόπο [9].

Στους περισσότερους ανθρώπους το ένα εγκεφαλικό ημισφαίριο υπερτερεί του άλλου και για αυτό μιλάμε για «κυρίαρχο(επικρατές) ημισφαίριο». Συνήθως το κυρίαρχο ημισφαίριο στους δεξιόχειρες είναι το αριστερό στο οποίο εδράζονται οι λειτουργίες του λόγου και της ομιλίας, γίνεται η αναλυτική επεξεργασία των πληροφοριών καθώς και η σειροθέτησή (αλληλουχία) τους. Σε μικρότερο ποσοστό του πληθυσμού συναντάται το δεξί ημισφαίριο ως κυρίαρχο, το οποίο ευθύνεται για την οπτική αντίληψη και μνήμη αλλά και γενικότερα για τις οπτικοχωρικές ικανότητες του ατόμου.

Το δεξί ημισφαίριο ευθύνεται για συμπεριφορές που αφορούν συναισθηματική ανάλυση, κυριολεκτικές ερμηνείες μεταφορικών προτάσεων και παροιμιών, ορισμένες ιδιότητες όπως το χιούμορ, αλλά και την αντίληψη των μαθηματικών, της μουσικής, του προσανατολισμού και την αίσθηση του χώρου και των αποστάσεων. Η προσωδία του λόγου και το συναίσθημα συνδέονται με τη λειτουργικότητα του δεξιού ημισφαιρίου, όπως επίσης η αναγνώριση προσώπων, η κατανομή προσοχής στο χώρο, οι μη λεκτικές λειτουργίες της αντίληψης και η εικονική μνήμη. Βλάβη στο δεξί ημισφαίριο μπορεί να προκαλέσει σοβαρές διαταραχές στο προσανατολισμό, στην αντίληψη του ατόμου για το χώρο και γενικότερα διαταραχές οπτικής μακροπρόθεσμης μνήμης [10].

Το αριστερό ημισφαίριο αποτελεί το κέντρο οργάνωσης του λόγου και σε αυτό δομούνται το συντακτικό, η γραμματική και ο σχηματισμός των λέξεων.

Πιο αναλυτικά, ο **μετωπιαίος λοβός** (frontal lobe) καταλαμβάνει το 50% περίπου του όγκου του ημισφαιρίου και έχει σχέση με την εκφορά της ομιλίας. Στον αριστερό μετωπιαίο λοβό βρίσκεται το κέντρο του Broca (περιοχές 44 και 45 κατά Brodmann). Ο μετωπιαίος λοβός ελέγχει τη κίνηση του αντίθετου ημιμορίου του σώματος και ευθύνεται για τον σχεδιασμό μελλοντικών προγραμμάτων. Οι προμετωπιαίοι λοβοί (prefrontal lobes) σχετίζονται με τη προσωπικότητα, τη κρίση, τις μνημονικές λειτουργίες, τα κίνητρα, τους στόχους, και την υλοποίησή τους [5].

Βλάβες του πλαγιοραχιαίου-υποφλοιώδους συστήματος προκαλούν διαταραχή της εκτελεστικής συμπεριφοράς (executive behaviors) ενώ βλάβη του πλάγιου μετωποκογκχικού συστήματος οδηγεί το άτομο σε ανικανότητα κατανόησης των συναισθημάτων των άλλων (empathy) και στην απουσία κοινωνικών αναστολών. Τέλος, βλάβη στο πρόσθιο τμήμα της υπερμεσολοβίου έλικος (cingulate gyrus) προκαλεί έλλειψη κινήτρων και απάθεια.

Ο **βρεγματικός λοβός** (parietal lobe) σχετίζεται με λειτουργίες που αφορούν τις αισθήσεις (αφή, θερμοκρασία, πόνος), την αντίληψη αντικειμένων και προσώπων και τη γραφή (λειτουργία μόνο του αριστερού βρεγματικού λοβού).

Ο **κροταφικός λοβός** (temporal lobe) αφορά την ομιλία-ιδιαίτερα η περιοχή Wernicke, στο αριστερό ημισφαίριο-, την ακοή, τη μνήμη και τις συγκινήσεις (Λυμπεράκης, 1997). Μέρη του κροταφικού λοβού αποτελούν ο κροταφικός πόλος, ο υπόκαμπος, η παραίποκαμπιος έλικας και ο αμυγδαλοειδής πυρήνας, περιοχές που ανήκουν στο μεταιχμιακό σύστημα. Εκτός από τις μεταιχμιακές περιοχές ο κροταφικός λοβός περιλαμβάνει πρωτογενείς αισθητικές και συνειρμικές περιοχές.

Ο **νιακός λοβός** (occipital lobe) διατρέχεται από μια αύλακα, την *πληκτραία σχισμή* και σχετίζεται με την όραση (calcarine fissure).

Κινητικό Σύστημα (Πυραμιδικό)

Νευρωνική αφετηρία του *πυραμιδικού συστήματος* αποτελεί ο *κινητικός φλοιός*, ο οποίος σχετίζεται με τις εκούσιες κινήσεις. Η παραγωγή και εκτέλεση μιας εκούσιας κίνησης απαιτεί την συνεργασία πολλών νευρικών σχηματισμών μεταξύ των οποίων οπωσδήποτε του *κινητικού φλοιού*, της *παρεγκεφαλίδας* (cerebellum) και του *ερυθρού πυρήνα*. Η πρόσθια κεντρική ή *κινητική έλικα* που αποκαλείται και *κιναισθητικός φλοιός* διαθέτει σωματοτοπική αντιστοιχία μεταξύ των νευρικών κυττάρων της και των μυϊκών ινών του σώματος που εκτελούν τις κινήσεις. Ο χάρτης των τμημάτων του σώματος και ειδικότερα των γραμμωτών μυών, που είναι υπεύθυνοι για τις εκούσιες κινήσεις, αντιπροσωπεύεται με εξαιρετική ακρίβεια στη *κινητική έλικα*. Ο χάρτης αυτός εμφανίζει εξαιρετικά ανεπτυγμένες τις περιοχές των άνω άκρων και του προσώπου επειδή ακριβώς αντιστοιχούν σε περιοχές μυών που ελέγχουν ακριβείς και λεπτές κινήσεις. Οι νευρικές ίνες της *κινητικής (motor)* ή *πυραμιδικής οδού* συγκλίνουν στην περιοχή που ονομάζεται *έσω κάψα* (internal capsule). Βλάβη ή αιμορραγία σε αυτή την περιοχή προκαλεί ημιπληγία ή ημιπάρεση στο ετερόπλευρο ημιμόριο του σώματος. Προκαλείται δηλαδή βλάβη όλων των *κινητικών ινών*. Στο κάτω μέρος του προμήκους μυελού γίνεται ο *χιασμός των πυραμιδών* καθώς και της *αισθητικής οδού*. Μετά τον *χιασμό των πυραμιδικών οδών* βλάβη της δεξιάς πλευράς του νωτιαίου μυελού οδηγεί σε ομόπλευρη παράλυση και αντίστοιχα βλάβη της αριστεράς επιφέρει παράλυση αριστερά των μυϊκών ινών που ελέγχονται από τα νευρικά κύτταρα του νωτιαίου μυελού που επλήγησαν [7].

Για την εκτέλεση μιας κίνησης συμμετέχουν δύο *κινητικοί νευρώνες*: α) Οι *ανώτεροι κινητικοί νευρώνες*, τα *πυραμιδικά κύτταρα του Betz* που καταλήγουν στο νωτιαίο μυελό και β) οι *κατώτεροι κινητικοί νευρώνες*, των οποίων οι νευράξονες καταλήγουν σε νευρομυϊκή σύναψη με τους αντίστοιχους μύς.

Μεταϊχμιακό Σύστημα

Το *μεταϊχμιακό σύστημα* (limbic system), *παλαιοεγκέφαλος*, σχετίζεται με τον *υποθάλαμο*, ο οποίος ρυθμίζει το εσωτερικό περιβάλλον ενώ παράλληλα παρουσιάζει χαμηλή ουδό σε επιληπτικές κρίσεις [11]. Επίσης, ο *ιππόκαμπος* που σχετίζεται με μνημονικές λειτουργίες αποτελεί κύριο μέρος του *μεταϊχμιακού συστήματος* μαζί με τον *αμυγδαλοειδή πυρήνα* (amygdala) και τη *ψαλιδωτή έλικα* (gyrus fornicatus).

Ο *ιππόκαμπος (hippocampus)* είναι ένας νευρικός πυρήνας με σχήμα αντίστοιχο της ονομασίας του που βρίσκεται στο εγκεφαλικό ημισφαίριο ανάμεσα στο θάλαμο και στον εγκεφαλικό φλοιό και συμμετέχει στη λειτουργία της μάθησης, της μνήμης και της παραγωγής συναισθημάτων. Δύο μεγάλα δεμάτια νευραξόνων, η *ψαλίδα* και η *παρυφή του ιπποκάμπου* συνδέουν τον *ιππόκαμπο* με τον *υποθάλαμο* και άλλες δομές. Ο *ιππόκαμπος* και η *έσω μοίρα του κροταφικού λοβού*, η οποία είναι σημαντική για την εγκατάσταση νέας μάθησης, συνδέονται με εκτεταμένες περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού, ιδιαίτερα με τις συνειρμικές περιοχές που είναι υπεύθυνες για τη σκέψη και τις διαδικασίες της γλώσσας.

Ο Donald Hebb (1949) διέκρινε δύο είδη μνήμης, τη *βραχυπρόθεσμη (short-term memory)*, μνήμη των πρόσφατων γεγονότων, και τη *μακροπρόθεσμη μνήμη (long-term memory)*, μνήμη αποθήκευσης μακροχρόνιων πληροφοριών που ανασύρονται δύσκολα. Τα άτομα με βλάβη στον *ιππόκαμπο* είναι σε θέση να σχηματίζουν βραχυπρόθεσμες μνήμες αλλά δυσκολεύονται πολύ στο σχηματισμό νέων μακροπρόθεσμων μνημών.

Ορισμένοι επιστήμονες έδωσαν έμφαση στη σημασία του ιπποκάμπου σε δοκιμασίες που αφορούν στην αίσθηση του χώρου [12,13].

Άλλοι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι ο ιπποκάμπος είναι απαραίτητος σε περιπτώσεις *συνδυαστικής μάθησης (configurational conditioning)* καθώς και για τη *δηλωτική, ρητή μνήμη (explicit memory)*, τη μνήμη των πληροφοριών που μπορούν να ελεγχθούν άμεσα [14].

Ο ιπποκάμπος λειτουργεί ως χάρτης των θέσεων όπου έχουν αποθηκευτεί οι πληροφορίες στον εγκεφαλικό φλοιό, κατά τρόπο ανάλογο με τον κατάλογο βιβλιογραφικών δελτίων μιας βιβλιοθήκης. Μετά από βλάβη στον ιπποκάμπο, το άτομο δυσκολεύεται να εντοπίσει τις πληροφορίες που είναι κατάλληλες τη δεδομένη στιγμή και να τις διακρίνει από παρόμοιες πληροφορίες του παρελθόντος. Μια δεύτερη άποψη που σχετίζεται με τη λειτουργία του ιπποκάμπου είναι ότι οι νευρώνες του αποθηκεύουν προσωρινά τις αισθητικές πληροφορίες μέσω της συνεχούς τους δραστηριότητας [15]. Συμπερασματικά, οι πληροφορίες δεν αποθηκεύονται στον ιπποκάμπο. Βλάβη στον ιπποκάμπο δυσχεραίνει την επιλογή διοχέτευση και αποθήκευση νέων πληροφοριών, αλλά δεν επηρεάζει τη μνήμη παλαιών γεγονότων.

Μνήμη και κατηγορίες μνήμης

Κατηγορίες μνήμης –μάθησης

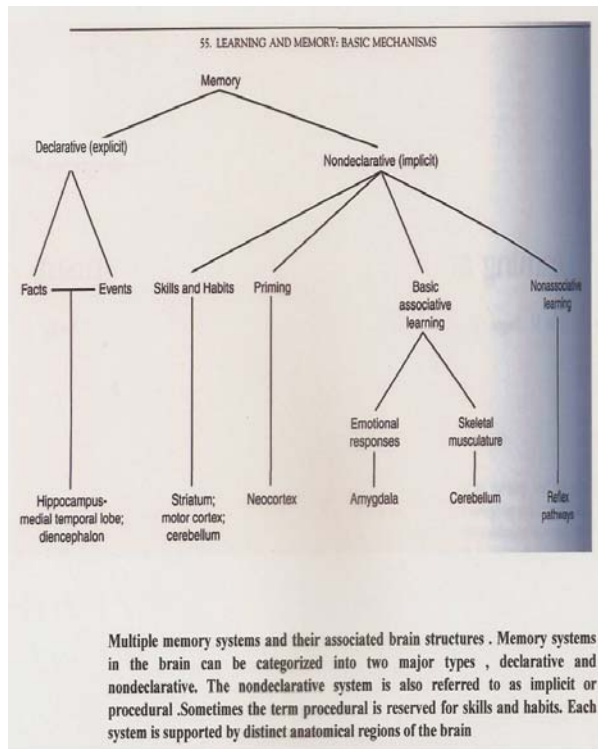
A. Δηλωτική ή κατηγορική ή ρητή μνήμη, γενικά αναφέρεται στις σαφείς, τις κατηγορηματικές μνήμες, που περιγράφουν το <ποιό> (what),όπως π.χ. είναι οι εμπειρίες κάποιου, η αναγνώριση οικείων σκηνών και αντικειμένων κ.ο.κ., μερικοί ερευνητές την ταυτίζουν με την πληροφορία για την οποία κάποιος είναι σε συνεχή εγρήγορση.

B. Άδηλη ή μη δηλωτική ή επεξεργαστική ή διαδικαστική μνήμη αναφέρεται στις μνήμες που περιγράφουν το <πώς> (how to). Η μεγάλη πλειονότητα των μνημονικών επεξεργασιών σε ζώα και ανθρώπους είναι αυτού του τύπου.

Σκεφτείτε όλα όσα σας αρέσουν και όσα δεν σας αρέσουν , όλες τις κινητικές δεξιότητες που εκτελείτε (τένις, γκολφ, κολύμβηση, οδήγηση, ποδηλασία, ακόμη και βιάδισι και ομιλία) κ.ο.κ., ανήκουν στην άδηλη μνήμη

Η άδηλη μνήμη είναι στην πραγματικότητα μια μεγάλη κατηγορία , καθώς σύμφωνα με μερικές ορολογίες , μπορεί να περιλάβει ακόμη και το φαινόμενο του priming που ορίζεται ως η αυξημένη ικανότητα ταυτοποίησης ή ανίχνευσης ενός ερεθίσματος, ως αποτέλεσμα μιας προηγηθείσας έκθεσης σε αυτό.

Συστήματα μνήμης-μάθησης και η σχέση τους με εγκεφαλικές δομές



2 μεγάλες κατηγορίες:

Δηλωτική ή κατηγορική μνήμη
(declarative,explicit)

Άδηλη μνήμη ή μη κατηγορική
(non declarative,implicit)

Η άδηλη μνήμη αναφέρεται επίσης και ως διαδικαστική (procedural).

Μερικές φορές ο όρος διαδικαστικός αναφέρεται στις δεξιότητες (skills) και στις συνήθειες (habits)

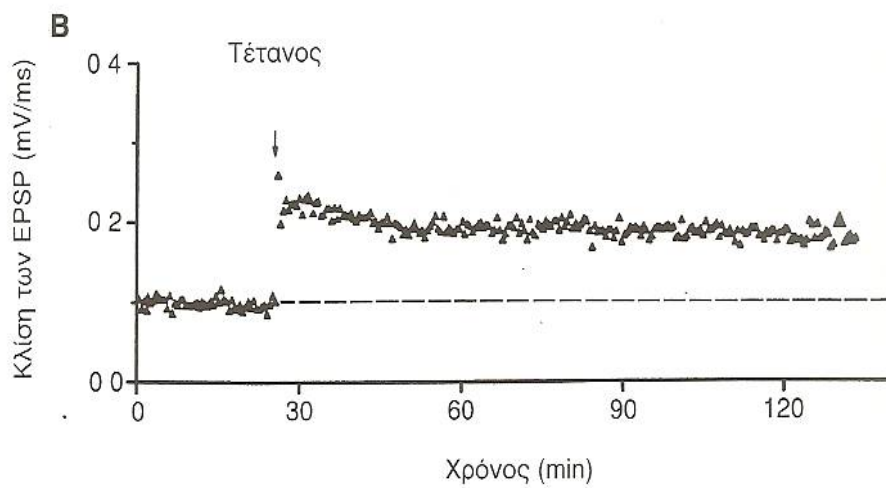
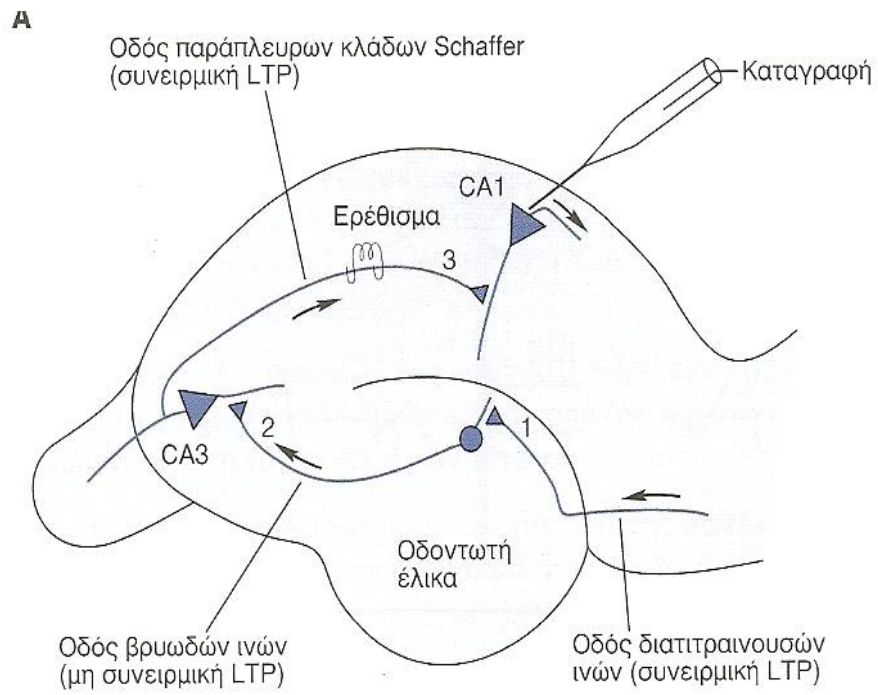
Κάθε σύστημα υποστηρίζεται από διακριτές ανατομικά περιοχές του εγκεφάλου

Όταν ένας οργανισμός μαθαίνει κάτι σημαντικό πολλά από αυτά τα μνημονικά συστήματα εμπλέκονται. Κατά βάση όλες οι μορφές μάθησης μοιράζονται μια κοινή οδό. Ο Rescorla έχει τονίσει πως, η συνειρμική μάθηση είναι ο τρόπος με τον οποίο οι οργανισμοί, συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπου, μαθαίνουν για τις αιτιακές σχέσεις στον κόσμο και είναι αποτέλεσμα της έκθεσης τους στους τρόπους που σχετίζονται, στον κόσμο, τα γεγονότα μεταξύ τους.

Τόσο στις μοντέρνες Παβλοβιανές όσο και στις γνωσιακού τύπου απόψεις για την μάθηση και την μνήμη το άτομο δομεί μια αντιπροσώπευση της αιτιακής δομής του κόσμου και την προσαρμόζει, μέσα από την εμπειρία, έτσι ώστε να συντονίζεται με την πραγματική αιτιακή δομή του κόσμου, αγωνιζόμενο να μειώσει τις αποκλίσεις ή τα λάθη, μεταξύ της εσωτερικής αντιπροσώπευσης και της εξωτερικής πραγματικότητας.

Το φαινόμενο το γνωστό ως μακροπρόθεσμη ενίσχυση της μνήμης (long term potentiation-LTP) θεωρείται ένας μηχανισμός μνημονικής αποθήκευσης στο νευρικό σύστημα ιδιαίτερα σε προμετωπιαίες δομές.

Η διαδικασία της μακροπρόθεσμης καταστολής της μνήμης (long term depression-LTD) συμβαίνει επίσης σε προμετωπιαίες δομές. Επιπρόσθετα η LTP θεωρείται μηχανισμός μνημονικής αποθήκευσης και στην παρεγκεφαλίδα. [16]



Η ενεργός μνήμη είναι ένας τύπος παροδικής μνήμης που επιτρέπει να συγκρατούμε πληροφορίες για τόσο χρόνο όσο μας χρειάζεται να τις επεξεργαστούμε άμεσα. Η ενεργός μνήμη εξαρτάται εν μέρει από τον προμετωπιαίο φλοιό.

Η απομνημόνευση λέξεων βασίζεται στην ενδοεπικοινωνία των δύο ημισφαιρίων και στη συνεργασία των νευρώνων που εμπεριέχονται και συνδέονται μεταξύ τους από το μεσολόβιο (*Corpus Callosum*). Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το τι αποθηκεύεται και πόσο μπορεί να ανακληθεί από τη μνήμη είναι το εάν η πράξη ακολουθείται από συνέπειες ανταμοιβής ή τιμωρίας.

Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι κανένα μεμονωμένο εγκεφαλικό κέντρο δεν αποθηκεύει μνήμη. Αυτή αποθηκεύεται σε κυκλώματα ιδιαίτερων φλοιϊκών συστημάτων επεξεργασίας που ενέχονται στην αντίληψη, την επεξεργασία και την ανάλυση του υλικού της μάθησης. Το είδος της μνήμης με το οποίο σχετίζεται ο ιππόκαμπος δεν έχει καθοριστεί ακόμα. Κάθε τμήμα του εγκεφάλου συμβάλλει με διαφορετικό τρόπο στην αποθήκευση μόνιμης μνήμης [17].

Εγκέφαλος και Αισθήσεις

Ακοή

Τα ηχητικά κύματα οδηγούνται αρχικά μέσω του εξωτερικού τμήματος του αυτιού, του *περυγίου*, και του *έξω ακουστικού πόρου* στον *τυμπανικό υμένα*, μία μεμβράνη που δονείται ανάλογα προς τις διαφορετικές ταχύτητες πρόσπτωσης των ηχητικών ερεθισμάτων. Η *σφύρα*, ένα από τα τρία ακουστικά οστά του μέσου αυτιού, που συνδέεται με τον τυμπανικό υμένα διαβιβάζει τις πληροφορίες στον *άκμονα* και αυτός στον *αναβολέα* που εφάπτεται στην *ωοειδή θυρίδα*, η οποία τέλος τις μεταβιβάζει στο *έσω ους*. Στο έσω ους βρίσκεται ο *κοχλιακός πόρος*, ένας αυλός γεμάτος υγρό που περιέχει τα τριχωτά κύτταρα, νευρικά κύτταρα που διεγείρουν τις 28.000 ίνες του κοχλιακού νεύρου την απαρχή της ακουστικής οδού που οδηγείται στη γέφυρα του εγκεφάλου. Ο τρόπος αυτός μεταφοράς της ηχητικής ενέργειας στο έσω αυτί ονομάζεται «*αγωγή δια του αέρος*». Υπάρχει και η «*αγωγή δια των οστών*», όπου τα ηχητικά κύματα προσκρούουν στα οστά του κρανίου και τα θέτουν σε δόνηση η οποία μεταβιβάζεται στο έσω αυτί.

Η ακουστική πληροφορία φθάνει μέσω του θαλάμου στις *κροταφικές έλικες* του κροταφικού λοβού, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την πρόσληψη και αντίληψη του ήχου.

Η φυσιολογική ακοή είναι η ακοή που εξασφαλίζει την πρωτογενή ακουστική επεξεργασία δηλαδή την αντίληψη της συχνότητας της έντασης και γενικά των χαρακτηριστικών του ήχου. Η περαιτέρω αντίληψη των ηχητικών σημάτων πχ κατανόηση των εννοιών των λέξεων είναι εγγενής ικανότητα η οποία καθώς αναπτύσσεται το άτομο εξελίσσεται μαζί του.

Οι ήχοι της ομιλίας μπορεί να υφίστανται διαφορετική επεξεργασία από άλλους ήχους. Το ακουστικό μας σύστημα επεξεργάζεται όλα τα σήματα που δέχεται με τον ίδιο τρόπο μέχρι να φθάσουν στο πρωτοταγή ακουστικό φλοιό, που βρίσκεται στο κροταφικό λοβό του εγκεφαλικού ημισφαιρίου. Όταν ο ήχος της ομιλίας γίνει αντιληπτός, τα νευρικά σήματα οδηγούνται στο αριστερό ημισφαίριο για επεξεργασία στα κέντρα λόγου [17].

Πρόσφατες παρατηρήσεις έδειξαν ότι η δυσχέρεια στη ακουστική αντίληψη σχετίζεται με την αγωγιμότητα ακουστικών ερεθισμάτων διαφόρων συχνοτήτων [18]. Μελέτη που συνέκρινε δυσλεξικούς ενήλικες με ομάδα ελέγχου έδειξε ότι περίπου οι μισοί παρουσίαζαν δυσχέρεια στην ακουστική αντίληψη του λόγου [19]. Η δυσχέρεια αυτή έχει ανιχνευθεί και πειραματικά με καταγραφές της αριστερής βρεγματοκροταφικής περιοχής, δηλαδή σε περιοχή του πλέγματος του λόγου, των μαγνητοεγκεφαλογραφικών σημάτων που δημιουργούνται από ακουστικά ερεθίσματα [20].

Όραση

Σε κάθε οφθαλμό υπάρχουν περίπου 125 εκατομμύρια οπτικοί υποδοχείς, οι οποίοι εξειδικεύονται στη μετατροπή του φωτός σε ηλεκτρικά σήματα τα οποία διαβιβάζονται μέσω ειδικών νευρώνων στον ινιακό λοβό του εγκεφάλου όπου ξεκινά η επεξεργασία τους. Υπάρχουν δύο τύποι υποδοχέων τα *ραβδία* και τα *κωνία*. Τα *ραβδία* είναι πιο ευαίσθητα στον αμυδρό φωτισμό και δεν μεταφέρουν την αίσθηση του χρώματος ενώ τα *κωνία* λειτουργούν σε άπλετο φωτισμό και είναι υπεύθυνα για την αντίληψη των λεπτομερειών του οπτικού ειδώλου καθώς και για την ασπρόμαυρη και έγχρωμη όραση. Τα *κωνία* του ανθρώπινου οφθαλμού είναι ευαίσθητα σε τρία χρώματα το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε αλλά σε συνδυασμό μας πληροφορούν για όλα τα υπαρκτά χρώματα.

Τα οπτικά σήματα φθάνουν στο οπτικό χίασμα του εγκεφάλου μέσω ενός εκατομμυρίου περίπου οπτικών ινών. Το αριστερό ήμισυ των δυο αμφιβληστροειδών προβάλλει στον αριστερό οπτικό φλοιό και το δεξιό ήμισυ προβάλλει στο δεξιό οπτικό φλοιό. Κάθε εγκεφαλικό ημισφαίριο είναι υπεύθυνο συνεπώς για την επεξεργασία των οπτικών σημάτων που προέρχονται κατά το ήμισυ από τον ομόπλευρο και κατά το ήμισυ από τον ετερόπλευρο οφθαλμό. Οι μηχανισμοί της οπτικής επεξεργασίας δεν έχουν ακόμα κατανοηθεί πλήρως. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι τα οπτικά σήματα διανέμονται σε τρία τουλάχιστον χωριστά συστήματα επεξεργασίας. Ένα σύστημα επεξεργάζεται πληροφορίες σχετικά με το σχήμα, ένα δεύτερο με το χρώμα και ένα τρίτο με τη κίνηση, τη θέση και την οργάνωση στο χώρο [16]. Η αντίληψη της κίνησης, του βάθους, της προοπτικής του μεγέθους των αντικειμένων εξαρτώνται πρωταρχικά από τις αντιθέσεις στην ένταση του φωτισμού παρά από το χρώμα.

Κίνηση και Ιδιοδεκτική Αίσθηση

Οι κινητικές λειτουργίες του νευρικού συστήματος σχετίζονται με τις κινήσεις των μυών του ανθρώπινου σώματος. Ένας μυς αποτελείται από χιλιάδες μυϊκές ίνες. Κάθε μυϊκή ίνα ελέγχεται από έναν *α-κινητικό νευρώνα* του εγκεφάλου ή του νωτιαίου μυελού. Επίσης, ένας *α-κινητικός νευρώνας* μπορεί να ελέγχει εκατοντάδες μυϊκές ίνες με τις οποίες συναποτελεί μια *κινητική μονάδα*. Η σύναψη όπου ο νευράξονας ενός κινητικού νευρώνα συναντά μια μυϊκή ίνα ονομάζεται *νευρομυϊκή σύναψη (neuromuscular junction)*. Στους σκελετικούς μύες, κάθε νευράξονας απελευθερώνει ακετυλχολίνη στη νευρομυϊκή σύναψη, η οποία έχει πάντοτε διεγερτικό αποτέλεσμα, δηλαδή προκαλεί πάντοτε τη συστολή του μυός [21].

Οι απλούστερες κινήσεις είναι τα *αντανακλαστικά (reflex)* που είναι στερεότυπες κινήσεις των μυών σε συγκεκριμένα ερεθίσματα. Οι *μυϊκές άτρακτοι (muscle spindle)* που βρίσκονται στους περισσότερους μυς αποτελούνται από λεπτές

εξειδικευμένες λεπτές μυϊκές ίνες και έχουν σα λειτουργία την αποστολή πληροφοριών για το μήκος του μυός απευθείας στους α-κινητικούς νευρώνες. Η ευαισθησία των μυϊκών ατράκτων ελέγχεται από τον εγκέφαλο μέσω μιας ξεχωριστής ομάδας *γ-κινητικών νευρώνων* που ελέγχουν τις εξειδικευμένες ίνες της μυϊκής ατράκτου και επιτρέπουν στον εγκέφαλο να ρυθμίζει με ακρίβεια τις διάφορες κινήσεις. Το πολύπλοκο αυτό σύστημα ανταποκρίνεται διαφορετικά για κινητικές πράξεις που απαιτούν ακριβή έλεγχο της θέσης, όπως για παράδειγμα το κράτημα ενός γεμάτου ποτηριού, σε σχέση με πράξεις που απαιτούν γρήγορη και ισχυρή κίνηση, όπως για παράδειγμα το ρίξιμο μιας μπάλας [16].

Οι *εκούσιες κινήσεις* απαιτούν συνειδητό σχεδιασμό και ελέγχονται πλήρως από τον εγκέφαλο και πιο συγκεκριμένα από το *κινητικό φλοιό*, ο οποίος σχηματίζει την πρόσθια κεντρική έλικα στο οπίσθιο μέρος του μετωπιαίου λοβού του εγκεφαλικού ημισφαιρίου και ασκεί ισχυρό έλεγχο στους νευρώνες του νωτιαίου μυελού καθώς και στους κινητικούς νευρώνες. Μερικοί νευρώνες του κινητικού φλοιού έχουν την ικανότητα να προσδιορίζουν τη συντονισμένη ενέργεια πολλών μυών για την παραγωγή οργανωμένης κίνησης. Στις *ακούσιες κινήσεις* εντάσσονται τα *αντανεκλαστικά (reflex)* που είναι στερεότυπες, αυτόματες αντιδράσεις σε συγκεκριμένα ερεθίσματα.

Στον έλεγχο των κινήσεων αλληλεπιδρούν κι άλλες εγκεφαλικές περιοχές, οι οποίες συνδέουν τα εγκεφαλικά ημισφαίρια με το νωτιαίο μυελό, που είναι τα βασικά γάγγλια, ο θάλαμος, η παρεγκεφαλίδα και το εγκεφαλικό στέλεχος. Διαφορετικά τμήματα του εγκεφάλου είναι υπεύθυνα για διαφορετικά είδη κινήσεων. Η παρεγκεφαλίδα δέχεται άμεση ισχυρή αισθητική πληροφορία από υποδοχείς των μυών και από αισθητήρια όργανα του έσω ωτός που παρέχουν πληροφορίες για τη θέση και τις κινήσεις της κεφαλής [16].

Η *παρεγκεφαλίδα (cerebellum)* εντοπίζεται στο οπίσθιο μέρος του εγκεφάλου και παίζει καθοριστικό ρόλο στο συντονισμό των κινήσεων και της ισορροπίας. Επίσης, συμβάλλει στη γένεση και στον προγραμματισμό των κινήσεων. Αποτελείται από τα *κύτταρα Purkinje*, τα κύρια λειτουργικά κύτταρα της παρεγκεφαλίδας, καθώς και άλλες κατηγορίες κύτταρων τα οποία συναντώνται και σε άλλες περιοχές του φλοιού του εγκεφάλου [4].

Η *κιναισθηση* ή *ιδιοδεκτική αίσθηση (proprioception)* είναι η αίσθηση που δίνει στο άτομο τη δυνατότητα να γνωρίζει τη θέση και στάση του σώματος ή των μελών του, την κατεύθυνση και ένταση της κίνησης, την ταχύτητα της κίνησης και τη δύναμη πίεσης των μυών. Είναι αποτέλεσμα πληροφοριών που δίνουν νευρικοί υποδοχείς οι οποίοι βρίσκονται στους μυς, τους τένοντες και τις αρθρώσεις.

Το 1880, ο Henry Charlton Bastian πρότεινε τον όρο «κιναισθησία» (kinaesthesia) αντί της "αίσθησης μυών" (muscle sense) βασιζόμενος στην υπόθεση ότι μερικές από τις κεντρομόλες πληροφορίες (πίσω στον εγκέφαλο) προέρχονταν από άλλες δομές συμπεριλαμβανομένων των τενόντων, των ενώσεων, του δέρματος, και του μυός. Το 1889, Ο Alfred Goldscheider πρότεινε μια ταξινόμηση της κιναισθησίας σε 3 τύπους: μυϊκή (muscle), τενόντια (tendon) και αρθρική ευαισθησία (articular sensitivity). Το 1906, Charles Scott Sherrington εισήγαγε τους όρους "proprioception"-ιδιοδεκτική, "interoception"-ενδοδεκτική, και "exteroception"-εξωδεκτική αίσθηση. Οι "exteroceptors"-εξωυποδοχείς ήταν τα αρμόδια όργανα που επεξεργάζονταν τις πληροφορίες που προέρχονταν έξω από το σώμα όπως τα μάτια, τα αυτιά, το στόμα, και το δέρμα. Οι "interoceptors"- ενδουποδοχείς έδιναν πληροφορίες για τα εσωτερικά όργανα, ενώ η ιδιοδεκτική αίσθηση (proprioception) ήταν η αντίληψη της κίνησης των μυών, τενόντων, και αρθρώσεων. Αυτή η

ταξινόμηση επικρατεί στη φυσιολογία και ανατομία και η έρευνα εστιάζεται στις εξειδικευμένες απολήξεις αισθητικών νευρώνων, τους ιδιοδεκτικούς υποδοχείς, όπως είναι οι μυϊκές άτρακτοι (muscle spindles) και τα τενόντια όργανα του Golgi, που διαβιβάζουν πληροφορίες από τους μύες και τους τένοντες για την μυϊκή διάταση και τάση καθώς και τα σωματία Pacini, Ruffini και Golgi που διαβιβάζουν πληροφορίες από τις αρθρώσεις και τα στοιχεία τους.

Η “κιναισθησία” (kinesthesia) και η στατική αίσθηση αποτελούν την ιδιοδεκτική αίσθηση (proprioception). Η ιδιοδεκτική αίσθηση περιλαμβάνει την αίσθηση της θέσης των μελών και του σώματος στο χώρο καθώς και των μεταξύ τους σχέσεων (joint position sense) αλλά και την αίσθηση της ταχύτητας και της κατεύθυνσης της κίνησης των άκρων και του κεφαλιού σε σχέση με τον κορμό αλλά και μεταξύ των τμημάτων τους (kinesthesia) [22].

Η ιδιοδεκτική αίσθηση είναι ουσιαστικά ένας μηχανισμός ανατροφοδότησης προς τον εγκέφαλο, πληροφοριών σχετικών με τις κινήσεις που εκτελούνται, ώστε να προγραμματίζονται οι επόμενες κινήσεις και στη συνέχεια να εκτελούνται από τους μύες.

Υπάρχουν δύο είδη ιδιοδεκτικών υποδοχέων που ρυθμίζουν τη συστολή και χάλαση των μυών. 1) Η μυϊκή άτρακτος (muscle spindle) είναι ένας υποδοχέας παράλληλα συνδεδεμένος με τις λειτουργικές μυϊκές ίνες έτσι ώστε όταν ο μυς και η άτρακτος του διατείνονται, η άτρακτος παράγει ένα σήμα που επιφέρει τη συστολή του μύος. [23,24]. 2) Τα τενόντια όργανα του Golgi (Golgi tendon organ), είναι συνδεδεμένα εν σειρά με τους μύες, στις περιοχές έκφυσης και κατάφυσης τους και αντιδρούν στην αύξηση της μυϊκής τάσης. Η έντονη συστολή ενός μύος διεγείρει τα τενόντια όργανα του Golgi, που αναστέλλουν την περαιτέρω συστολή.

Οι αρθρώσεις επίσης διαθέτουν ιδιοδεκτικούς υποδοχείς όπως τα σωματία Ruffini, Golgi και Pacini τα οποία ανιχνεύουν την τάση των στοιχείων της άρθρωσης όπως είναι οι αρθρικοί θύλακες και υμένες καθώς και οι σύνδεσμοι και οι τένοντες. Τα αισθητικά ιδιοδεκτικά σήματα που ξεκινούν από αυτούς τους υποδοχείς πληροφορούν τον εγκέφαλο για την θέση των μελών του σώματος και την σχέση τους προς τον κορμό του σώματος αλλά και μεταξύ τους. Ενημερώνουν επίσης για την ταχύτητα με την οποία κινούνται ως προς το σώμα και τον περιβάλλοντα χώρο το σώμα και τα μέλη, έτσι ώστε να αποτελούν τους κατ’ εξοχήν κιναισθητικούς υποδοχείς.

Η ιδιοδεκτική αίσθηση είναι εξασθενημένη σε όσους πάσχουν από την κοινή υπερκινητικότητα ή το σύνδρομο Ehlers-Danlos (αδύνατοι συνδετικοί ιστοί σε όλο το σώμα). Η ιδιοδεκτική αίσθηση μπορεί επίσης να προσβληθεί από ιογενείς παράγοντες [25]. Τα αποτελέσματα μεγάλης απώλειας της ιδιοδεκτικής αίσθησης περιγράφει ο Robles-De-La-Torre [26] και ο Ghez [27].

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Περιγραφή της γενικής μεθοδολογίας συγκριτικής και μνημονικής

Βασικός στόχος είναι να κατασκευαστούν προγράμματα ή συσκευές που θα μπορούσαν να αντικειμενικοποιήσουν και παραμετροποιήσουν την αντιληπτική ικανότητα του ανθρώπου. Με αυτό το υλικό, το λογισμικό και τη μεθοδολογία, ανοίγεται ένα ευρύ φάσμα πρακτικών εφαρμογών που μπορούν να επιτρέψουν την έρευνα σε επιμέρους πρακτικά πεδία, όπως για παράδειγμα, εάν μεταβολές σε κάποιους τομείς της αντιληπτικής ικανότητας του ανθρώπου μπορεί να συνδέονται με συγκεκριμένο τρόπο με παθολογικές καταστάσεις.

Η μεθοδολογία έπρεπε να είναι τέτοια που να μπορεί να εξαιρεί την υποκειμενικότητα του υπό εξέταση υποκειμένου.

Περιγράφεται από την ακόλουθη διαδικασία:

1. Το υποκείμενο υποβάλλεται για ένα χρονικό διάστημα σε ένα αισθητηριακό γεγονός.
2. Το υποκείμενο καλείται να βρει, μέσω ενός μηχανισμού που χειρίζεται το ίδιο και από ένα σύνολο όχι περιορισμένο σε κάποιο εύρος δειγματοληψίας, τις συνθήκες που επιφέρουν το ίδιο αισθητηριακό αποτέλεσμα του βήματος 1.
3. Οι διαδικασίες 1,2 επαναλαμβάνονται για ένα ικανοποιητικό στατιστικά αριθμό επαναλήψεων

Η διαδικασία υλοποιείται με δύο τρόπους:

1. από μνήμης
2. με άμεση σύγκριση

Παράλληλα η χρήση των πιο πάνω μεθοδολογιών γίνεται είτε με προκαθορισμένα είτε με τυχαία σύνολα αισθητηριακών γεγονότων.

Τα προγράμματα ή οι συσκευές καταγράφουν τα αντικειμενικά μεγέθη των ερεθισμάτων που παρουσιάζονται στο υποκείμενο καθώς και των απαντήσεών του, ώστε να δύνανται να υποστούν την κατάλληλη επεξεργασία για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Κατά την πορεία της ερευνητικής εργασίας, η ανάγκη κατασκευής ηλεκτρονικών διατάξεων αντικειμενικής μέτρησης αντιληπτικών διαδικασιών, όπως η αίσθηση της πίεσης, με οδήγησε στην ανάπτυξη ηλεκτρονικών συσκευών για χρήση στη φασματοσκοπία Mössbauer και στην κατασκευή προγραμμάτων επίλυσης και ανάλυσης φασμάτων Mössbauer.

Εφάρμοσα τη συγκεκριμένη φασματοσκοπία στη φυσιολογία και παρουσιάζω στη συνέχεια τα αποτελέσματα μιας τέτοιας τυπικής εφαρμογής .

Στην παρούσα εργασία, λοιπόν, δίνεται η **τεκμηρίωση των υπολογιστικών διαδικασιών** που οδήγησαν στην κατασκευή προγραμμάτων και συσκευών με **εφαρμογές στη φυσιολογία του ανθρώπου**.

Εικονικός οπτικός χώρος

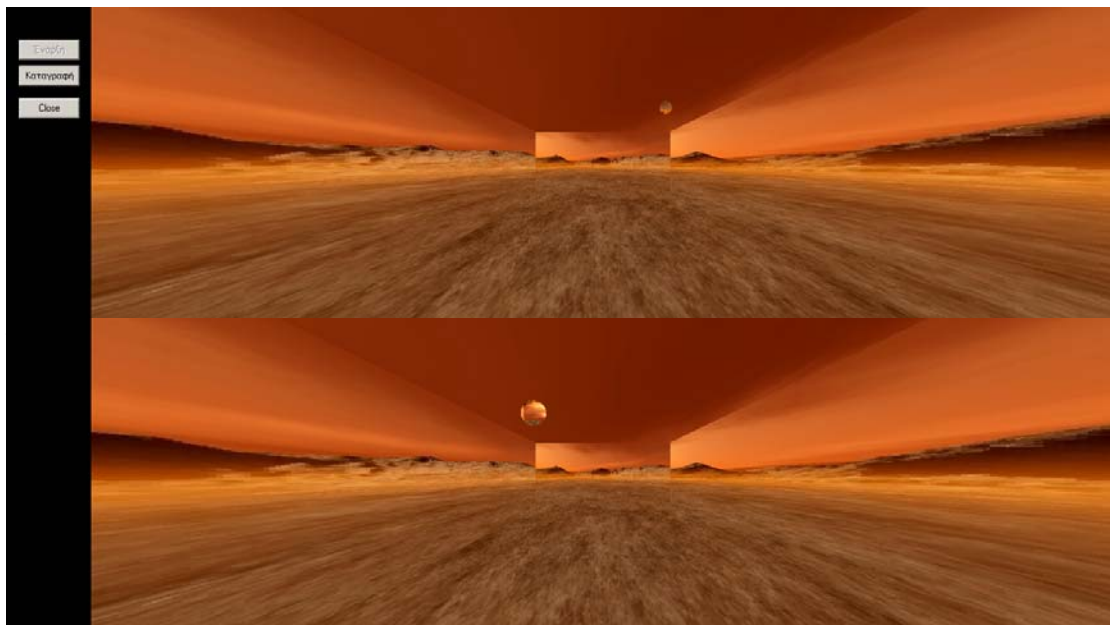
Η εφαρμογή που θα περιγράψουμε αφορά τη δημιουργία ενός εικονικού περιβάλλοντος για την εφαρμογή αντίληψης του χώρου.

Είτε χρησιμοποιηθούν έτοιμα εργαλεία είτε αυτά κατασκευαστούν de novo, η κατασκευή ενός τρισδιάστατου περιβάλλοντος απαιτεί την κατανόηση του τρισδιάστατου χώρου και του λειτουργικού τρόπου αντίληψής του από τον άνθρωπο.

Από μαθηματικής άποψης αρκεί η γνώση της **διανυσματικής γεωμετρίας** για να περιγράψουμε οτιδήποτε συμβαίνει σε 3 διαστάσεις. Από την πλευρά της ανθρώπινης αντίληψης την κατάσταση την περιγράφει η **προβολική γεωμετρία**. Όσον αφορά την μεταφορά του προβλήματος σε μία υπολογιστική μηχανή, προκύπτουν προβλήματα αντίστοιχα του κλασικού γραμμικού interpolation. Η κίνηση μιας κάμερας στον τρισδιάστατο χώρο θέτει το πρόβλημα ποιο είναι το αντίστοιχο γραμμικό Interpolation της επίπεδης γεωμετρίας (οποιασδήποτε διάστασης R^3 , R^n) ή τυπικής ορθογωνίας άλγεβρας στην επιφάνεια μιας σφαίρας (οποιασδήποτε διάστασης).

Η μελέτη του προβλήματος οδηγεί στον ορισμό το καλούμενου Spherical Linear Interpolation (Slerp) και αποκαλύπτεται ότι τα κατάλληλα εργαλεία για την διαχείριση του προβλήματος στο χώρο των στροφών είναι αντικείμενα **πέραν** του κοινού μιγαδικού χώρου C γνωστά ως **quaternion**. Δεν είναι τυχαίο ότι τα quaternion είναι ισόμορφα των πινάκων Pauli (Pauli matrices) που με τη σειρά τους απεικονίζουν την ιδιότητα spin των στοιχειωδών αντικειμένων τη ύλης [28].

Η εφαρμογή αφορά τη δημιουργία ενός κλειστού τρισδιάστατου χώρου με οριζόμενες από τον πειραματιστή διαστάσεις (ύψος, πλάτος, μήκος) και εικονογράφησης (**texturing**) με χρήση της τυπικής μεθοδολογίας της κυβικής προβολής (**Cube mapping**). Μερικές προβολές του εικονικού χώρου εμφανίζονται στην ακόλουθη εικόνα:

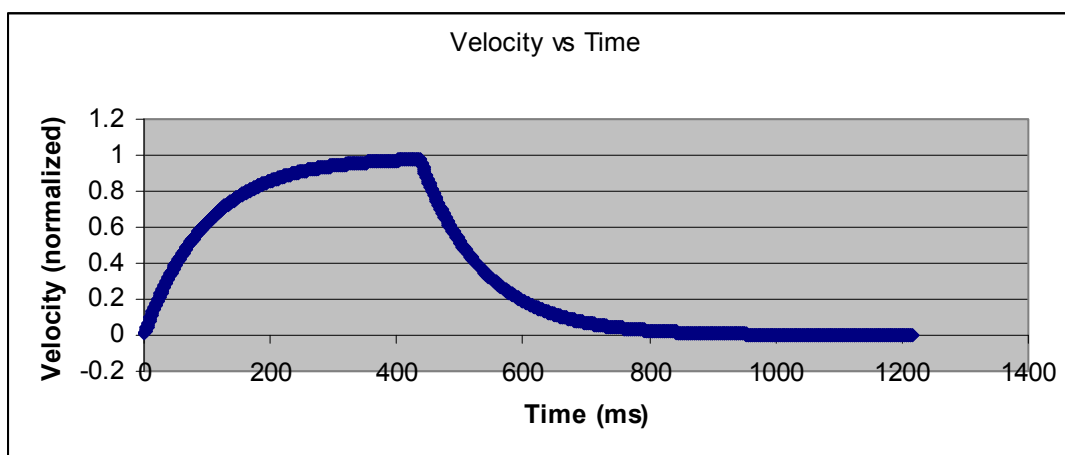


Σχήμα 1

Η διαχείριση του τρισδιάστατου χώρου από την πλευρά του χρήστη

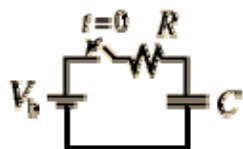
Η κίνηση της σφαίρας

Ένα απλό μοντέλο, ικανό να προσομοιώσει ένα ρεαλιστικό περιβάλλον σταθερής επιτάχυνσης - επιβράδυνσης με τριβή που εξαρτάται γραμμικά από την ταχύτητα, είναι το ακόλουθο:



Σχήμα 2

Το συναντάμε πολύ συχνά στη φυσική, όταν δύο φυσικά μεγέθη είναι ανταγωνιστικά μεταξύ τους. Το πιο πάνω γράφημα μπορεί να περιγράψει κάλλιστα μια διαδικασία φόρτισης – εκφόρτισης ενός πυκνωτή ή τη μεταβολή ηλεκτρικού σε μαγνητικό δυναμικό σε ένα πηνίο. Στη διαδικασία φόρτισης ενός πυκνωτή τα ανταγωνιστικά μεγέθη είναι το δυναμικό που **αυξάνει** στον πυκνωτή σε σχέση με το δυναμικό που **μειώνεται** στην αντίσταση. Η κατάσταση περιγράφεται ως $V_b = I \cdot R + Q \cdot C$ και σε



μορφή διαφορικής εξίσωσης $\frac{dq}{dt} * R + q(t) * C = V_b(1)$.

Η τελευταία έχει για λύση $q(t) = C * V_b(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$ ή στην περίπτωση του ρεύματος $I = \frac{V_b}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$.

Στην περίπτωση της κίνησης με τριβή η ταχύτητα είναι το αποτέλεσμα δύο ανταγωνιστικών μεγεθών: της δύναμης που προκαλεί την επιτάχυνση και **αυξάνει** την ταχύτητα και της τριβής που προκαλεί την επιβράδυνση και **μειώνει** την ταχύτητα.

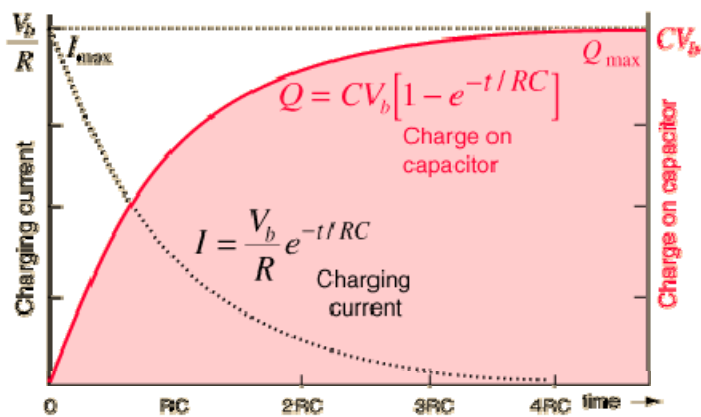
Σε μορφή εξίσωσης η κατάσταση περιγράφεται ως $F_{total} = M \frac{dv}{dt}$

Εάν ορίσουμε ως F_{const} τη σταθερή δύναμη που προκαλεί την επιτάχυνση του αντικειμένου και $T(v)$ τη δύναμη τριβής που εξαρτάται γραμμικά από την ταχύτητα τότε έχουμε

$$F_{total} = F_{const} - T = M \frac{dv}{dt}, T = Bv$$

$$\rightarrow \frac{dv}{dt} * M + v(t) * B = F_{const} \quad (2)$$

Η ομοιότητα των εξισώσεων 1 και 2 είναι προφανής με αποτέλεσμα να οδηγηθούμε στην ακόλουθη λύση $v(t) = \frac{F_{const}}{B} (1 - e^{-\frac{t}{MB}})$.



Σχήμα 3

Παρότι στην προκειμένη περίπτωση έχουμε μια ακριβή λύση για την περιγραφή της κίνησης μιας σφαίρας με μάζα σε περιβάλλον τριβής, οι υπολογισμοί μας έγιναν σε μια διάσταση. Μάλιστα, εάν επιμέναμε να χρησιμοποιήσουμε την πιο πάνω λύση, θα διαπιστώναμε ότι στον τρισδιάστατο χώρο έχουμε να αντιμετωπίσουμε και άλλα προβλήματα στα οποία θα αναφερθούμε στη συνέχεια και τα οποία δεν καθιστούν τόσο ελκυστική την αλγοριθμική απόδοση της πιο πάνω διαδικασίας.

Στα υπολογιστικά συστήματα δεν είναι λίγες οι φορές που για λόγους ταχύτητας οι πολλαπλασιασμοί ή οι διαιρέσεις πραγματικών αριθμών, οι οποίες είναι αργές, γίνονται σε ένα διαφορετικό αριθμητικό σύστημα, γνωστό ως Fixed-Point arithmetic. Θα επιχειρήσουμε λοιπόν να βρούμε μια άλλη αλγοριθμική διαδικασία, η οποία θα περιγράφει με τον ίδιο ρεαλισμό το πρόβλημα της κίνησης, αλλά θα ενσωματώνεται πιο εύκολα στις ιδιαιτερότητες του τρισδιάστατου χώρου.

Η αναλυτική περιγραφή του σχήματος 3 περιλαμβάνει το γνωστό ορισμό της εκθετικής συνάρτησης.

$$\exp(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{x}{n}\right)^n$$

Εάν γνωρίζουμε όμως μόνο τη συνήθη συμβολική γραφή δεν είναι και τόσο εύκολο να αποδοθεί υπό μορφή προγράμματος. Οι υπολογιστικές μηχανές είναι από τη φύση τους διακριτές, δε γνωρίζουν τη συνέχεια των πραγματικών αριθμών. Εάν αντικαταστήσουμε στην πιο πάνω συμβολική γραφή το σύμβολο x με τον αριθμό 1, έχουμε ως αποτέλεσμα το γνωστό αριθμό e ή σε κλασματική αναπαράσταση.

$$2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{4 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \dots}}}}}}}$$

Και η εκθετική συνάρτηση μπορεί να παρασταθεί από την ακόλουθη άπειρη κλασματική διαίρεση.

$$e^x = 1 + \frac{x}{1 - \frac{x}{x+2 - \frac{2x}{x+3 - \frac{3x}{x+4 - \frac{4x}{x+5 - \frac{5x}{x+6 - \dots}}}}}}$$

Ούτε όμως και αυτή η μορφή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για μία **σύντομη** αλλά παράλληλα **ακριβή** αλγοριθμική αναπαράσταση.

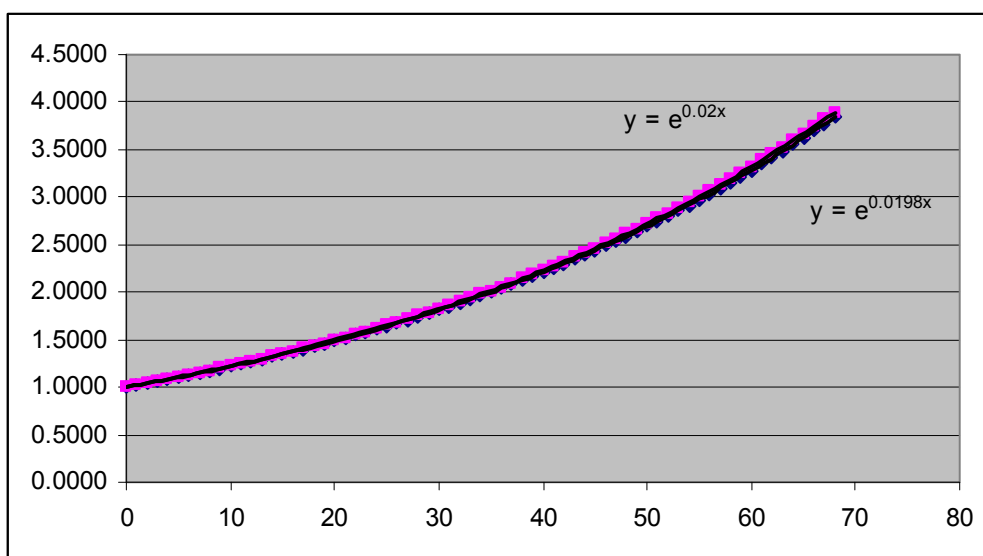
Εάν όμως θέσουμε το πρόβλημα **ποια συνάρτηση** περιγράφει τη **σταθερή αύξηση** κάποιας ποσότητας (**y**) σε **σταθερά χρονικά διαστήματα (x)**, θα διαπιστώναμε ότι πρόκειται για την εκθετική.

Για αριθμούς f μικρούς κοντά στο 0 ισχύει $\lim_{f \rightarrow 0} e^{fx} = \lim_{f \rightarrow 0} (1 + f)^x$.

Αυτό αποδεικνύεται εξαιρετικά εύκολα δεδομένου ότι $\lim_{f \rightarrow 0} (1 + f)^x = 1^x = 1$ ενώ παράλληλα $\lim_{f \rightarrow 0} e^{fx} = e^0 = 1$.

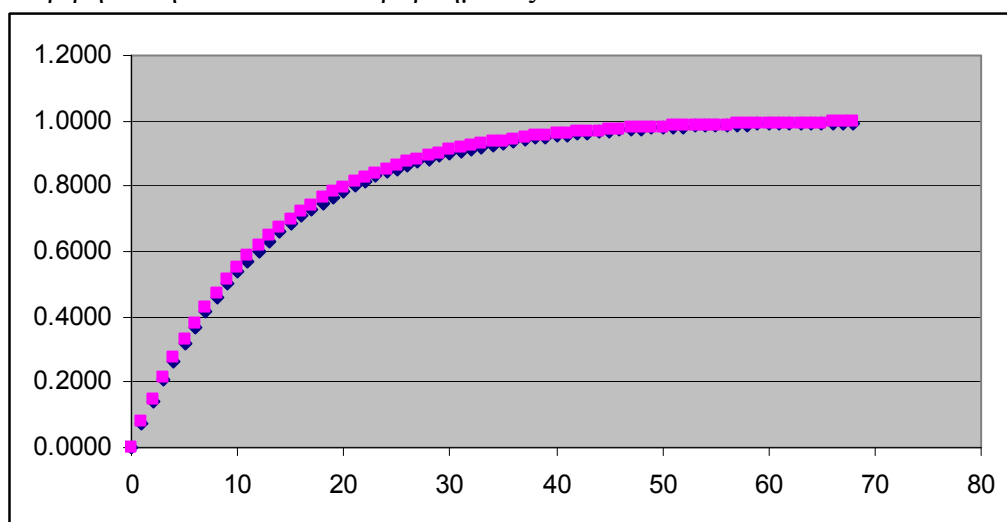
Στο ακόλουθο γράφημα εμφανίζονται δεδομένα υπολογισμένα με την ακριβή διαδικασία υπολογισμού της συνάρτησης $y=e^{0.02x}$ και υπολογισμένα με τον ακόλουθο προσεγγιστικό κανόνα $\text{Νέα_τιμή}=\text{Παλαιά_Τιμή} * (1+0.02)$.

Η ακρίβεια είναι εντυπωσιακή.



Σχήμα 4

Το ίδιο ακριβώς ισχύει και για την περίπτωση όπου $1-e^{-ft}=1-1/e^{ft}$, το οποίο αποτελεί την ακριβή λύση του πιο πάνω προβλήματος.



Σχήμα 5

Αυτή η ιδιότητα της εκθετικής συνάρτησης μοντελοποιείται **εξαιρετικά εύκολα** σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Επίσης ένα μεγάλο εύρος σημαντικών εφαρμογών της εκθετικής συνάρτησης μοντελοποιούνται με τον ίδιο τρόπο.

Η σταθερή αύξηση του χρόνου είναι εγγενής ιδιότητα των υπολογιστικών συστημάτων. Στην πραγματικότητα όλα τα ψηφιακά συστήματα είναι συνδεδεμένα με μία γεννήτρια συχνότητας, την οποία χρησιμοποιούν ως αναφορά. Αυτή η γεννήτρια συχνότητας (clock) είναι που δίνει το χαρακτηριστικό της ταχύτητας ενός επεξεργαστή. Το ηλεκτρονικό κύκλωμα υπεύθυνο για τη δημιουργία αυτής της συχνότητας είναι γνωστό ως PLL (Phase Locked Loop).

Όλα τα σύγχρονα λειτουργικά συστήματα είναι σχεδιασμένα να εκτελούν ταυτόχρονα πολλές διεργασίες (multitasking – multithreading). Σε αυτά τα περιβάλλοντα όλα τα περιφερειακά αναφέρουν τα δεδομένα τους με τη δημιουργία ασύγχρονων γεγονότων.

Ακολουθεί περιγραφή της αλγοριθμικής διαδικασίας που χρησιμοποιήθηκε για τη διαχείριση της κίνησης του αντικείμενου, προσομοιώνοντας ρεαλιστικό περιβάλλον σταθερής επιτάχυνσης – επιβράδυνσης, με τριβή που εξαρτάται αναλογικά από την ταχύτητα, χωρίς την ανάγκη επίλυσης διαφορικών εξισώσεων παρά μόνο με χρήση απλών προσθέσεων και πολλαπλασιασμών.

Διαδικασία AsyncEvent

Εάν ο χρήστης έχει πατημένο το πλήκτρο κίνησης εμπρός, κάνε τα ακόλουθα:

1. Όρισε μια σταθερά αύξησης της μονάδας χρόνου αρκετά μικρή. $\Delta t = 0.01$
2. Βήμα ταχύτητας = επιτάχυνση * Δt ($\Delta v = \text{επιτάχυνση} * \Delta t$)
3. Νέα ταχύτητα = παλαιά ταχύτητα + βήμα ταχύτητας
4. Εφάρμοσε τον απλό κανόνα της εκθετικής αύξησης της ταχύτητας
Νέα ταχύτητα = Παλαιά ταχύτητα * Βήμα ταχύτητας
5. Εφάρμοσε τον απλό κανόνα της εκθετικής μείωσης της ταχύτητας, λόγω τριβής
Νέα ταχύτητα = Παλαιά ταχύτητα * μεταβλητή ταχύτητας.

Η απεικόνιση του τρισδιάστατου χώρου παρότι από μαθηματικής πλευράς μπορεί να αναπαρασταθεί με τις συνήθεις καρτεσιανές συντεταγμένες, το σύστημα αυτό είναι ανεπαρκές για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων που παρουσιάζονται στην υπολογιστική αναπαράστασή του.

Στην τρισδιάστατη υπολογιστική απεικόνιση υπάρχουν 3 συστήματα αναφοράς που μας ενδιαφέρουν. Θα τα περιγράψω για λόγους κατανόησης στην εφαρμογή του εικονικού μετρητικού χώρου που ανέπτυξα, αλλά είναι ίδια σε όλες της περιπτώσεις τρισδιάστατης υπολογιστικής απεικόνισης.

Το πρώτο σύστημα αναφοράς ονομάζεται καθολικό (world coordinate system) και είναι εκείνο στο οποίο τοποθετούνται όλα τα αντικείμενα του χώρου αλλά και το ίδιο το σημείο παρατήρησης. Ένα δεύτερο σύστημα αναφοράς είναι εκείνο που περιγράφει τους προσανατολισμούς καθενός αντικείμενου που συμμετέχει στον καθολικό χώρο. Στην περίπτωση μας αυτό αφορά τον κλειστό παραλληλεπίπεδο χώρο (δωμάτιο), το αντικείμενο προς μέτρηση (σφαίρα) αλλά και το σημείο παρατήρησης

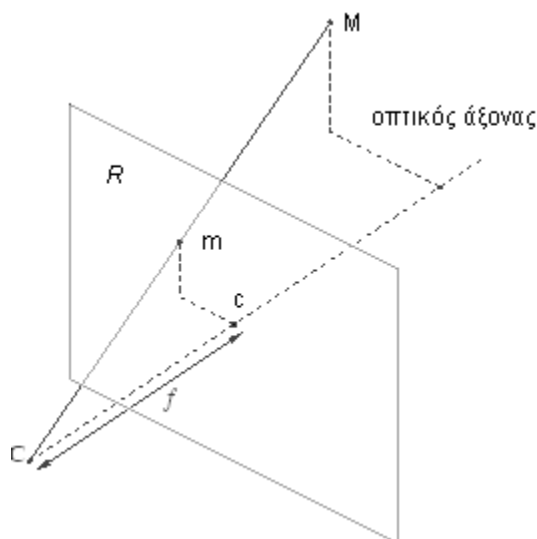
(κάμερα). Το σύστημα αυτό των συντεταγμένων ονομάζεται **τοπικό** (local coordinate system) και κάθε αντικείμενο που υπάρχει στον εικονικό μας χώρο έχει το δικό του τοπικό σύστημα συντεταγμένων. Τέλος έχουμε το σύστημα συντεταγμένων της προοπτικής προβολής (projective coordinate system) του χώρου, που στη συνεπτυγμένη του μορφή περιλαμβάνει μεγέθη όπως:

1. εστιακή απόσταση (focal distance)
2. οπτικό άξονα (optical axis - principal point)

Ενώ στην πλήρως ανεπτυγμένη μορφή,

1. εστιακή απόσταση (focal distance)
2. οπτικό άξονα (optical axis - principal point)
3. τους ακτινικούς συντελεστές παραμόρφωσης (radial distortion factors).
4. κυκλικά εφαπτόμενους συντελεστές παραμόρφωσης (tangential distortion factors).

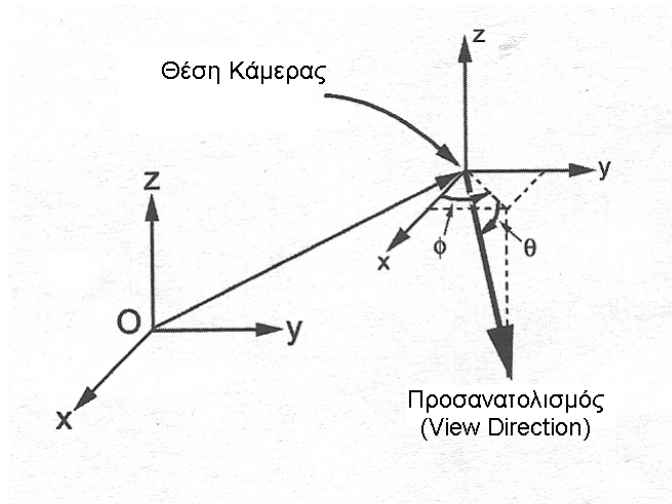
Για την προβολική απεικόνιση του τρισδιάστατου χώρου στο δισδιάστατο χώρο της οθόνης του υπολογιστή το μοντέλο αναφοράς που εν γένει χρησιμοποιείται είναι το λεγόμενο μοντέλο οπής.



Σχήμα 6

Για την τοποθέτηση των υπό παρατήρηση αντικειμένων χρησιμοποιείται η ακόλουθη διαδικασία:

1. Τοποθέτηση του σημείου παρατήρησης (camera location) στο χώρο.
2. Εφαρμογή των προσανατολισμών των αντικειμένων (σφαίρα, κλειστός χώρος) σε τοπικές συντεταγμένες και στη συνέχεια μεταφορά τους στην πραγματική τους θέση στον καθολικό χώρο.
3. Χρήση του μοντέλου κάμερα οπής για τον προσδιορισμό των προβολικών συντεταγμένων των πιο πάνω αντικειμένων.



Σχήμα 7

Ο διαισθητικός τρόπος περιγραφής του προσανατολισμού ενός αντικειμένου στον τρισδιάστατο χώρο μας οδηγεί στον ορισμό τριών γωνιών Yaw, Pitch και Roll, γνωστές ως γωνίες Euler, και αφορούν τις στροφές γύρω από τους 3 ορθογώνιους άξονες XYZ.

$$[T_z(\theta)] = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad [T_y(\theta)] = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T_x(\theta)] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ένας τυχαίος προσανατολισμός είναι δυνατόν να αναπαρασταθεί ως πολλαπλασιασμός πινάκων των παραπάνω στροφών.

$$[p'] = [T_z T_y T_x] [p]$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση των στροφών δεν ισχύει η αντιμεταθετική ιδιότητα. Γενικά δηλαδή $T_x T_y T_z \neq T_z T_y T_x$.

Η χρήση των γωνιών Euler είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την περιγραφή των προσανατολισμών αντικειμένων, τα οποία είναι σε σταθερά σημεία στο χώρο. Εάν όμως ένα αντικείμενο είναι κινούμενο και ταυτόχρονα αλλάζει προσανατολισμό από μια αρχική θέση και προσανατολισμό σε μια τελική θέση και προσανατολισμό, η αναζήτηση των ενδιάμεσων θέσεων και προσανατολισμών θέτει το ακόλουθο πρόβλημα:

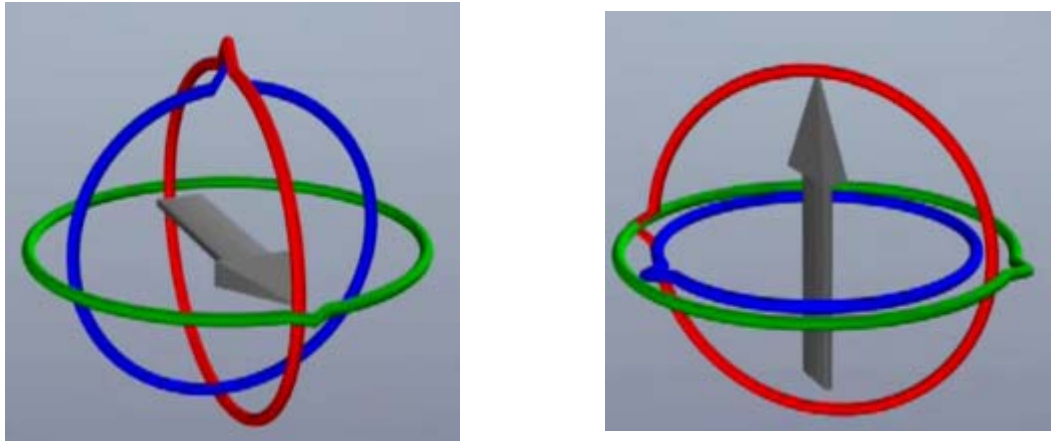
Πώς υπολογίζουμε αυτές τις ενδιάμεσες θέσεις, με τρόπο παρόμοιο του κλασικού γραμμικού Interpolation.

Η χρήση των γωνιών Euler αποδεικνύεται ιδιαίτερα προβληματική στην αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος.

Η αιτία βρίσκεται στο γνωστό πρόβλημα του **Gimbal Locking**. Είναι κοινότυπο γεγονός στο χώρο της αεροπλοΐας αλλά και του animation.

Αυτό αφορά στην απώλεια ενός βαθμού ελευθερίας, όταν δύο γωνίες Euler γίνονται συνεπίπεδες και η κατάσταση απεικονίζεται στο σχήμα 8.

Το πιο γνωστό γεγονός που συνδέεται με το φαινόμενο Gimbal Locking, με δραματικά αποτελέσματα, αφορά την απώλεια προσανατολισμού του διαστημικού σκάφους Apollo 10. Επίσης είναι γνωστό ότι τα αεροσκάφη F16 πρώτης γενεάς έχουν λογισμικό το οποίο εκτελεί τις πράξεις με γωνίες Euler και πάσχει από προβλήματα προσανατολισμού.[28]

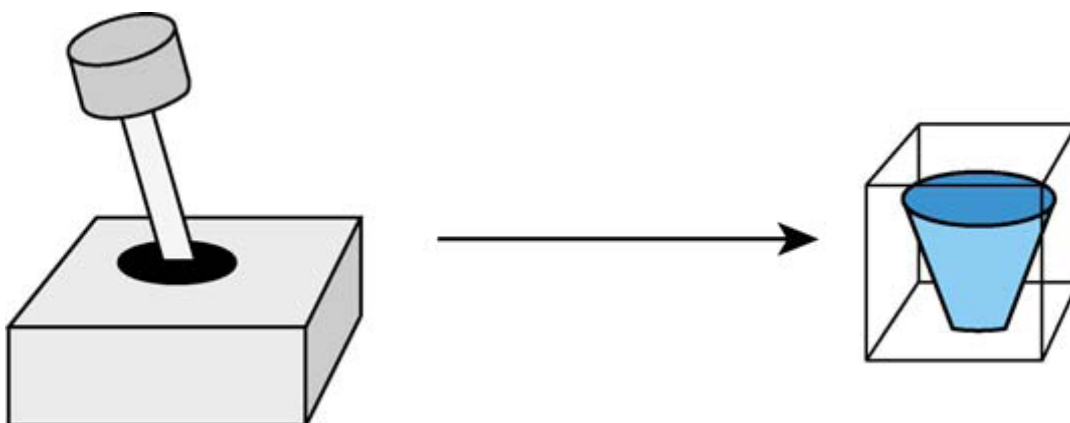


Σχήμα 8

Η κατάσταση απώλειας ενός από τους 3 βαθμούς ελευθερίας στο χώρο των στροφών γνωστή με τον όρο Gimbal Locking.

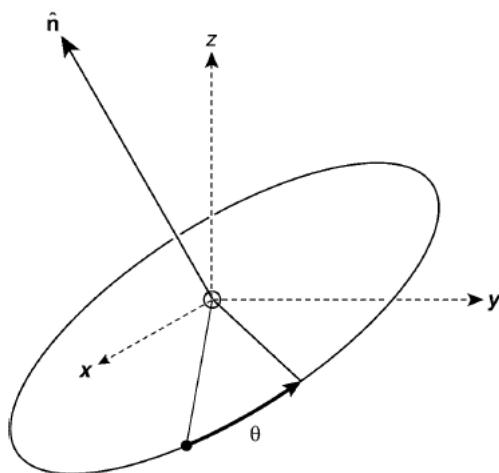
Από την αρχή σχεδόν της εποχής των ηλεκτρονικών παιχνιδιών η διεπαφή του χρήστη με τη μηχανή γινόταν μέσω ενός μηχανισμού που ονομάζεται joystick. Μέχρι και σήμερα όλοι οι ελεγκτές παιχνιδιών (game controllers) περιλαμβάνουν τουλάχιστον ένα τέτοιο μηχανισμό.

Μια προσεκτική ματιά στο ακόλουθο σχήμα



Σχήμα 9

μας υποδεικνύει ότι υπάρχει και εναλλακτικός τρόπος απεικόνισης των στροφών. Τα στοιχεία ενός μετασχηματισμού στροφής $R(\varphi, \theta, \alpha)$ μπορούν να υπολογιστούν εξίσου καλά με τη χρήση ενός μοναδιαίου διανύσματος n και μίας μόνο γωνίας θ $R(n, \theta)$.



Σχήμα 10

Η αναπαράσταση αυτή μπορεί να υλοποιηθεί εάν χρησιμοποιήσουμε ένα μαθηματικό αντικείμενο που ονομάζεται Quaternion. Είναι σχετικά άγνωστο, ακόμη και στον χώρο των φυσικών, ότι οι περίφημες εξισώσεις της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας που αποδίδονται στον Maxwell δε γράφτηκαν στη γνωστή σήμερα διαφορική ούτε στην ολοκληρωτική τους μορφή. Γράφτηκαν από τον Maxwell υπό μορφή εξισώσεων quaternion και μπορεί κάποιος να τις αναζητήσει στο βιβλίο του James Maxwell “**Treatise on Electricity and Magnetism Vol 2**”, στην ενότητα “Quaternion expressions for the Electromagnetic Equations” [29]

	Symbol of Vector.	Constituents.
The electromotive force	\mathfrak{E}	$P Q R$
The mechanical force	\mathfrak{F}	$X Y Z$
The velocity of a point.....	\mathfrak{V} or \dot{x}	$\dot{x} \dot{y} \dot{z}$
The magnetic force	\mathfrak{H}	$a \beta \gamma$
The intensity of magnetization	\mathfrak{I}	$A B C$
The current of conduction	\mathfrak{C}	$p q r$

We have also the following scalar functions:—

- The electric potential Ψ .
- The magnetic potential (where it exists) Ω .
- The electric density e .
- The density of magnetic ‘matter’ m .

Besides these we have the following quantities, indicating physical properties of the medium at each point:—

- C , the conductivity for electric currents.
- K , the dielectric inductive capacity.
- μ , the magnetic inductive capacity.

These quantities are, in isotropic media, mere scalar functions of ρ , but in general they are linear and vector operators on the vector functions to which they are applied. K and μ are certainly always self-conjugate, and C is probably so also.

619.] The equations (A) of magnetic induction, of which the first is,

$$e = \frac{dH}{dy} - \frac{dG}{dx},$$

may now be written $\mathfrak{B} = \mathcal{F} \nabla \mathfrak{H}$,

where ∇ is the operator

$$i \frac{d}{dx} + j \frac{d}{dy} + k \frac{d}{dz},$$

and \mathcal{F} indicates that the vector part of the result of this operation is to be taken.

Since \mathfrak{H} is subject to the condition $\delta \nabla \cdot \mathfrak{H} = 0$, $\nabla \mathfrak{H}$ is a pure vector, and the symbol \mathcal{F} is unnecessary.

The equations (B) of electromotive force, of which the first is

$$P = cy - bz - \frac{dF}{dt} - \frac{d\Psi}{dx},$$

become $\mathfrak{E} = \mathcal{F} \mathfrak{B} - \mathfrak{H} - \nabla \Psi$.

The equations (C) of mechanical force, of which the first is

$$X = ev - iz - e \frac{d\Psi}{dx} - m \frac{d\Omega}{dx},$$

become $\mathfrak{F} = \mathcal{F} \mathfrak{E} \mathfrak{B} - e \nabla \Psi - m \nabla \Omega$.

Η ανακάλυψη των Quaternion οφείλεται στον William Hamilton στην προσπάθειά του να επεκτείνει τον ορισμό των μιγαδικών αριθμών στις 3 διαστάσεις.

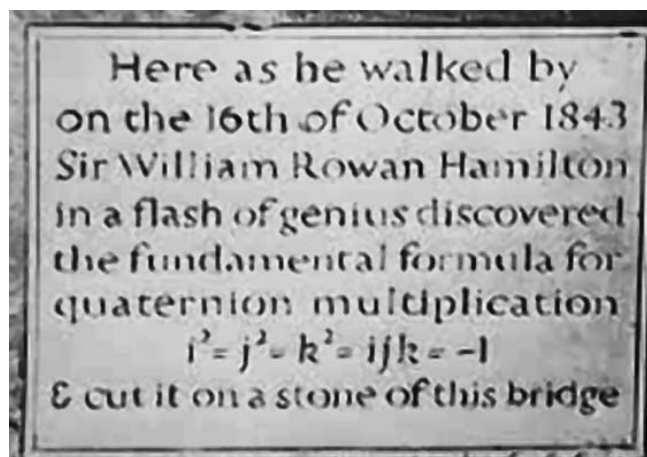
Για τους φυσικούς το όνομα του Hamilton είναι γνωστό, γιατί η προσπάθεια αναδιατύπωσης (reformulation) της νευτώνειας μηχανικής, γνωστή ως Χαμιλτονιανή μηχανική ή φορμαλισμός Χάμιλτον, βρήκε ευρεία εφαρμογή στη μαθηματική διατύπωση της κβαντικής θεωρίας.

Στην προσπάθειά του για επέκταση των μιγαδικών αριθμών στον τρισδιάστατο ευκλείδειο χώρο και επειδή οι μιγαδικοί αριθμοί έχουν δύο συνθετικά στοιχεία, τα οποία ονομάζουμε πραγματικό και φανταστικό μέρος, ο Hamilton είκαζε πως αρκούσε ένα ακόμη «φανταστικό» μέρος για να επιτευχθεί αυτή η επέκταση. Για περισσότερα από 20 χρόνια πάλευε ανεπιτυχώς να υλοποιήσει ένα αλγεβρικό σύστημα βασισμένο σε ένα πραγματικό και 2 φανταστικά μέρη. Η λύση ήρθε σε μία στιγμή αποκάλυψης και βασιζόταν στην πλήρη εγκατάλειψη της χρήσης του πραγματικού τμήματος και την αντικατάστασή του από ένα τρίτο φανταστικό.

Ο ίδιος περιγράφει το γεγονός ως εξής:

*“An electric circuit seemed to close; and a spark flashed forth, the herald (as I foresaw, immediately) of many long years to come of definitely directed thought and work, by myself if spared, and at all events on the part of others, if I should even be allowed to live long enough distinctly to communicate the discovery. Nor could I resist the impulse—unphilosophical as it may have been—to cut with a knife on a stone of Brougham Bridge, as we passed it, the fundamental formula with the symbols, i, j, k ; namely, $i^2 = j^2 = k^2 = i*j*k = -1$*

which contains the Solution of the Problem.”



Ορισμός

Το Quaternion είναι ένα διατεταγμένο ζεύγος (w, v) όπου w ένα βαθμωτό μέγεθος και v ένα 3D διάνυσμα.

Τα Quaternion έχουν τη δική τους άλγεβρα με κανόνες για την πρόσθεση και τον πολλαπλασιασμό. Η πρόσθεση είναι απλή και δεδομένου δύο Quaternion q_1, q_2 αυτή ορίζεται ως εξής: [30,28]

$$q_1 = (w_1, v_1), q_2 = (w_2, v_2) \quad q_1 + q_2 = (w_1 + w_2, v_1, v_2)$$

Ο πολλαπλασιασμός είναι πιο πολύπλοκος.

$$q_1 q_2 = (w_1 w_2 - v_1 \cdot v_2, w_1 v_2 + w_2 v_1 + v_1 \times v_2)$$

Ορίζουμε επίσης το συζυγές ενός Quaternion ως $\bar{q} = (w, -v)$

Το μέτρο τότε ενός Quaternion ορίζεται ως $q\bar{q} = |q|^2 = w^2 + |v|^2$

Στην περίπτωση που το μέτρο του quaternion είναι 1 ο πιο πάνω τύπος οδηγεί στο αποτέλεσμα ότι το αντίστροφο quaternion είναι ίσο με το συζυγές του.

Η σχέση των Quaternion με το χώρο των 3D στροφών είναι παρόμοια με τη σχέση των μιγαδικών αριθμών με τις περιοδικές συναρτήσεις του ημιτόνου και συνημιτόνου και η οποία γίνεται εμφανής μέσω της έκφρασης του Euler $e^{i\phi} = \cos \phi + i \sin \phi$, η οποία με τη σειρά της οδηγεί στην περίφημη ταυτότητα $e^{i\pi} + 1 = 0$
 Δεδομένου ενός σημείου z στο μιγαδικό επίπεδο όπου $z = x + iy$ τότε η στροφή του σημείου κατά γωνία θ είναι $z' = e^{i\theta}(x + iy)$.

Πολύ αργότερα από το μαθηματικό φορμαλισμό των Quaternion και τη φυσική τους επέκταση στα Octonion, διαπιστώθηκε η βαθιά τους σύνδεση με το χώρο των στροφών.

Σχέση των Quaternion με τους πίνακες στροφών

Μεταξύ της αναπαράστασης ενός πίνακα στροφών με γωνίες Euler και της αναπαράστασης μια στροφής με χρήση ενός μοναδιαίου διανύσματος \hat{n} και στροφής θ γύρω από αυτό ισχύει [30]

$$\mathbf{r}' = [R]\mathbf{r} = \cos \gamma \mathbf{r} + (1 - \cos \gamma)(\hat{n} \cdot \mathbf{r})\hat{n} + (\sin \gamma)\hat{n} \times \mathbf{r} \quad (1)$$

Αυτή η έκφραση που καλείται Rodrigues rotation formula είναι ο συνδυαστικός κρίκος των quaternion με τους μετασχηματισμούς στροφών.

Για να γίνει προφανής η σχέση μας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα quaternion $p=(0,\mathbf{r})$ και ένα άλλο $q=(w,\mathbf{v})$

Σύμφωνα με τους κανόνες που θέσαμε πιο πάνω για το γινόμενο qpq^{-1} ισχύει

$$qpq^{-1} = (0, (w^2 - (\mathbf{v} \cdot \mathbf{v})r + 2(\mathbf{v} \cdot \mathbf{r})\mathbf{v} + 2w(\mathbf{v} \times \mathbf{r}))) \quad (2)$$

Η μερική ομοιότητα των εξισώσεων 1 και 2 αρχίζει ήδη να μας υποδεικνύει ότι υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ της ποσότητας qpq^{-1} και του πίνακα στροφής $[R]$.

Ο τύπος qpq^{-1} ισχύει για οποιαδήποτε μοναδιαίο quaternion κατά συνέπεια θα ισχύει και στην περίπτωση ενός quaternion της μορφής $q = (\cos(\frac{\gamma}{2}), \sin(\frac{\gamma}{2})\hat{n})$. Σε αυτήν την περίπτωση

$$qpq^{-1} = \cos \gamma \mathbf{r} + (1 - \cos \gamma)(\hat{n} \cdot \mathbf{r})\hat{n} + (\sin \gamma)\hat{n} \times \mathbf{r} = [R]\mathbf{r}$$

Κατά συνέπεια η δράση ενός πίνακα στροφής $|R[\gamma, \hat{n}]|$ σε ένα διάνυσμα \mathbf{r} είναι ισοδύναμη με τις ακόλουθες ενέργειες.

1. Μετατροπή του διανύσματος \mathbf{r} σε quaternion της μορφής $p=(0,\mathbf{r})$.
2. Δήλωση της στροφής $|R[\gamma, \hat{n}]|$ ως quaternion $q = (\cos(\frac{\gamma}{2}), \sin(\frac{\gamma}{2})\hat{n})$
3. Υπολογισμός της ποσότητας qpq^{-1} και εξαγωγή του διανυσματικού μέρους αυτού.

Συνεχείς μετασχηματισμοί στροφών είναι δυνατόν να εκφραστούν ως ένα ενιαίο quaternion μέσω της χρήσης του πολλαπλασιασμού.

Αν θέλουμε να περάσουμε τώρα στη σχέση που συνδέει τις γωνίες Euler φ , θ , α όπου φ στροφή γύρω από τον άξονα z, θ γύρω από τον άξονα y και α γύρω από τον άξονα x με τα quaternion's δεν έχουμε παρά να εφαρμόσουμε τον κανόνα

$q = (\cos(\frac{\alpha}{2}), \sin(\frac{\alpha}{2})\hat{n})$, όπου $\hat{n} = (0,0,1)$ για τον άξονα z $(0,1,0)$ για τον άξονα y και $(1,0,0)$ για τον άξονα x με αποτέλεσμα:

$$q_x = [\cos \frac{\alpha}{2}, \sin \frac{\alpha}{2}, 0, 0]$$

$$q_y = [\cos \frac{\theta}{2}, 0, \sin \frac{\theta}{2}, 0]$$

$$q_z = [\cos \frac{\varphi}{2}, 0, 0, \sin \frac{\varphi}{2}]$$

και τον κανόνα του πολλαπλασιασμού $q = q_x q_y q_z$

$$w = \cos \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{\varphi}{2} + \sin \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{\varphi}{2}$$

$$x = \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{\varphi}{2} - \cos \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{\varphi}{2}$$

$$y = \cos \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\varphi}{2} + \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\varphi}{2}$$

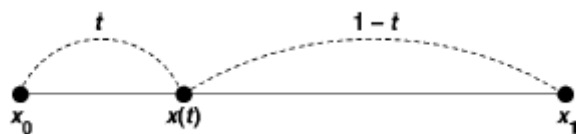
$$z = \cos \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\varphi}{2} - \sin \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\varphi}{2}$$

Η σύνδεση ενός κλασικού πίνακα στροφής με τα πιο πάνω μέρη w,x,y,z του σύνθετου quaternion q δίνεται μέσω της ακόλουθης σχέσης

$$\begin{bmatrix} 1 - 2y^2 - 2z^2 & 2xy + 2wz & 2xz - 2wy & 0 \\ 2xy - 2wz & 1 - 2x^2 - 2z^2 & 2yz + 2wx & 0 \\ 2xz + 2wy & 2yz - 2wx & 1 - 2x^2 - 2y^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Η σημαντική όμως προσφορά των Quaternion δεν είναι απλώς ότι είναι μια αναπαράσταση των πινάκων στροφής που δεν υποφέρει από το πρόβλημα του Gimbal Locking, αλλά προσφέρει και έναν φυσικό τρόπο επέκτασης του γραμμικού Interpolation στον χώρο των στροφών.

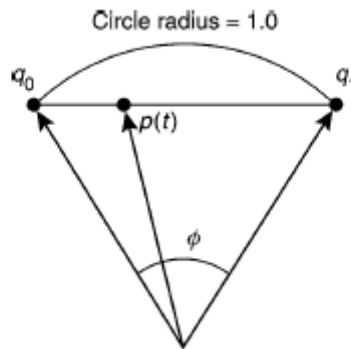
Δεδομένου ότι το γενικό γραμμικό Interpolation διέπεται από τον ακόλουθο κανόνα



$$x(t) = x_0 + t(x_1 - x_0) = (1-t)x_0 + tx_1$$

Σχήμα 11

Θα θέλαμε κάτι παρόμοιο για την περίπτωση του μοναδιαίου κύκλου ή σφαίρας.



Σχήμα 12

Spherical Linear Interpolation (Slerp).

Δεδομένου του ορισμού του quaternion $q(\theta, \hat{\mathbf{n}}) = (\cos \frac{\theta}{2}, \hat{\mathbf{n}} \sin \frac{\theta}{2})$ έχουμε

$$\begin{aligned}
 \mathbf{q}(t) &= \mathbf{q}_0 \cos t\varphi + \mathbf{q}'_1 \sin t\varphi \\
 &= \mathbf{q}_0 \cos t\varphi + (\mathbf{q}_1 - \mathbf{q}_0 \cos \varphi) \frac{\sin t\varphi}{\sin \varphi} \\
 &= \mathbf{q}_0 \frac{\cos t\varphi \sin \varphi - \sin t\varphi \cos \varphi}{\sin \varphi} + \mathbf{q}_1 \frac{\sin t\varphi}{\sin \varphi} \\
 &= \mathbf{q}_0 \frac{\sin(1-t)\varphi}{\sin \varphi} + \mathbf{q}_1 \frac{\sin t\varphi}{\sin \varphi}
 \end{aligned}$$

Εάν γνωρίζουμε όλα τα παραπάνω, η διαχείριση της ρεαλιστικής κίνησης και απεικόνισης είναι δυνατόν να συμπυκνωθούν στον εξής απλό κώδικα.

```
Procedure AsyncEvent;
var m,m1:TMatrix;
    vt:TaffineVector;
    qr:TQuaternion;
    i:integer;
begin
angular_acceleration:=angular_constant;
linear_acceleration:=linear_acc_constant;
linear_friction:=linear_friction_constant;
angular_friction:=angular_friction_constant;
ElapsedTime:=delta_time;
Speed := linear_acceleration*ElapsedTime ;
AngularSpeed := angular_acceleration*ElapsedTime;

if (0 <> Keys[vk_up]) then Velocity[2] := Velocity[2] + Speed; //Forward
if (0 <> Keys[vk_down]) then Velocity[2] := Velocity[2] - Speed; //Backward
if (0 <> Keys[vk_right]) then RollVelocity := RollVelocity + AngularSpeed;
if (0 <> Keys[vk_left]) then RollVelocity := RollVelocity - AngularSpeed;
if (0 <> Keys[Ord('S')]) then YawVelocity := YawVelocity + AngularSpeed;
if (0 <> Keys[Ord('X')]) then YawVelocity := YawVelocity - AngularSpeed;
if (0 <> Keys[Ord('Z')]) then PitchVelocity := PitchVelocity + AngularSpeed;
if (0 <> Keys[Ord('A')]) then PitchVelocity := PitchVelocity - AngularSpeed;

Velocity:=VectorScale (Velocity,linear_friction); //Apply friction to velocity
YawVelocity:= YawVelocity * angular_friction; //Apply friction to Yaw
PitchVelocity:= PitchVelocity * angular_friction; //Apply friction to Pitch
RollVelocity:= RollVelocity * angular_friction; //Apply friction to Roll

Yaw := Yaw + AngularSpeed * YawVelocity; //Apply exponential rule
Pitch := Pitch + AngularSpeed * PitchVelocity; //Apply exponential rule
Roll := Roll + AngularSpeed * RollVelocity; //Apply exponential rule
vt:=VectorScale(Velocity,speed); //Scale The Velocity Apply exponential rule
m:=Sphere.Matrix; //Get Current Object Matrix
for i:=0 to 2 do oldp[i]:=m[3][i]; //Extract the old position from matrix
newp:=VectorAdd(oldp,vt);

qr:=QuaternionFromRollPitchYaw(yaw,pitch,roll); //get rotation vectors
OrientMatrix:=QuaternionToMatrix(qr);
m1:=OrientMatrix;
for i:=0 to 2 do m1[3][i]:=newp[i];
Sphere.Matrix:=m1;
end;
```

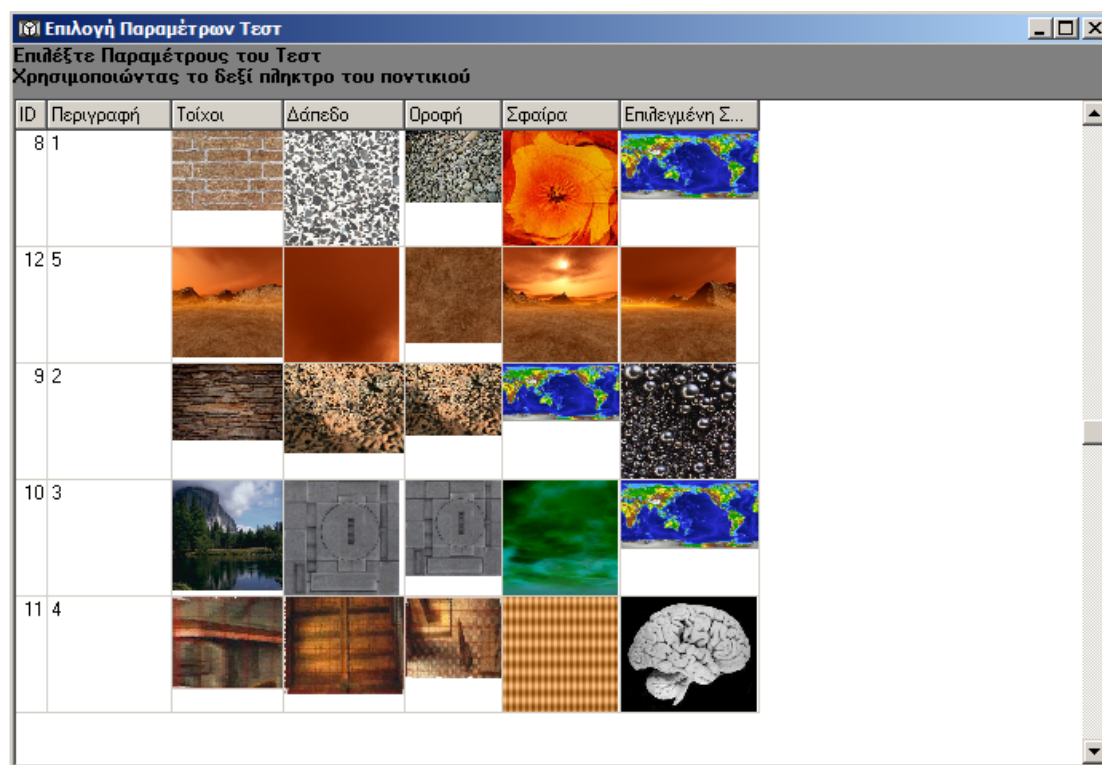
Περιγραφή της λειτουργίας του προγράμματος

Υπάρχουν δύο τρόποι λειτουργίας του προγράμματος:

1. από μνήμης
2. με άμεση σύγκριση

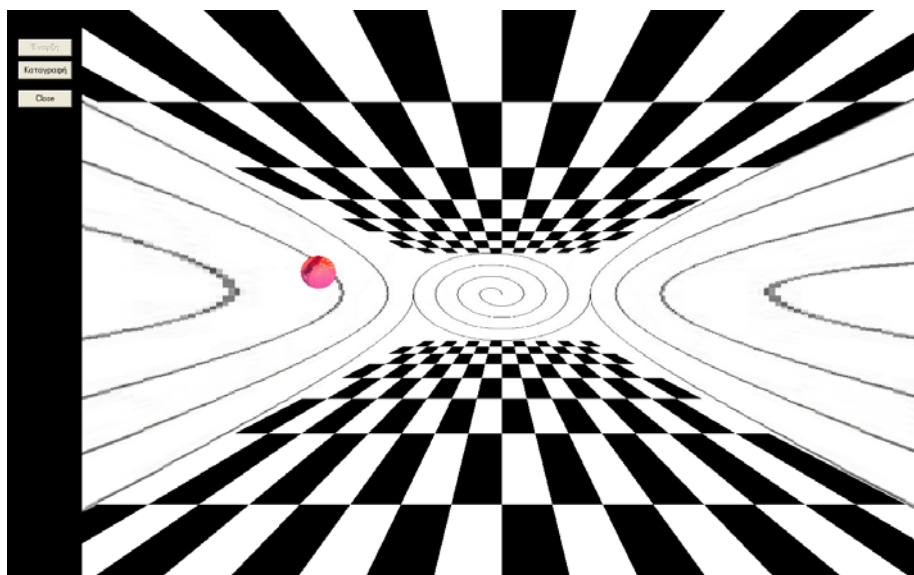
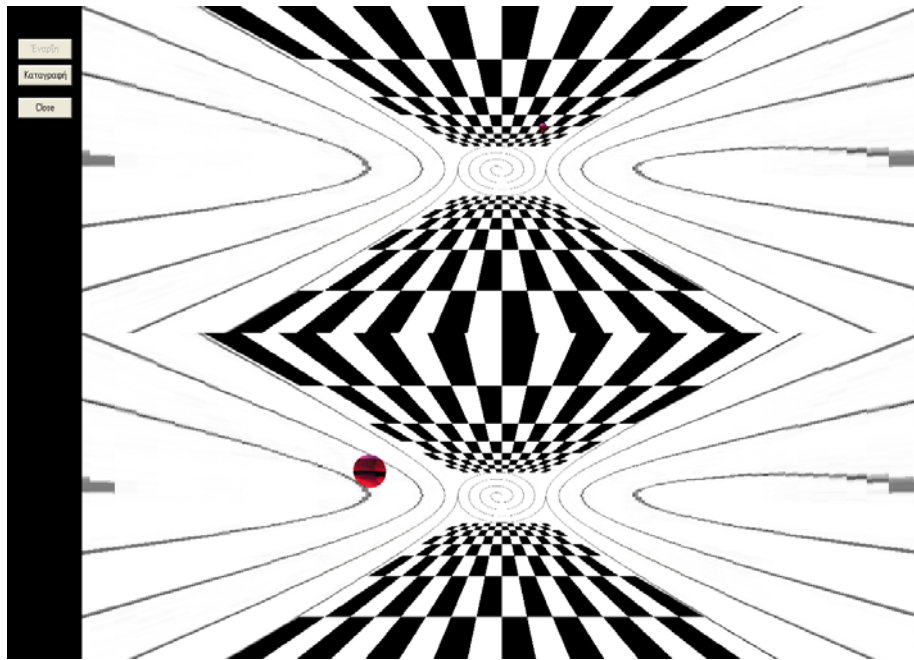
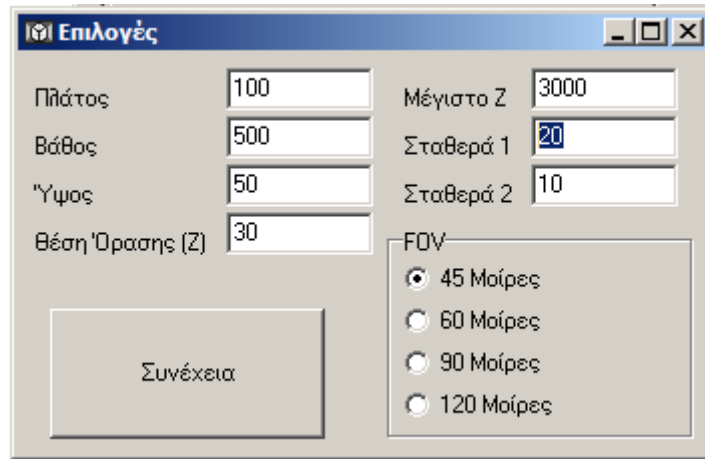
Στην περίπτωση λειτουργίας από μνήμης η μετρητική διαδικασία έχει ως εξής:

Αρχικά ο εξεταστής επιλέγει ένα σύνολο εικόνων που θα χρησιμοποιηθούν για την εικονογράφιση του κλειστού χώρου, της σφαίρας σε κατάσταση κίνησης ή σε κατάσταση επιλογής.



Σχήμα 13

Στη συνέχεια καθορίζει με τη χρήση ενός παραθύρου διαλόγου τις διαστάσεις του εικονικού κλειστού χώρου (μήκος, πλάτος, ύψος), τη θέση παρατήρησης, συντελεστή επιτάχυνσης, επιβράδυνσης και τη γωνία πεδίου παρατήρησης (Field Of View).



Σχήμα 14

Για ένα χρονικό διάστημα (καθοριζόμενο από τον εξεταστή, τυπικά 10 δευτερόλεπτα) εμφανίζεται σε τυχαία θέση ένα σφαιρικό αντικείμενο.

Αμέσως μετά, το σφαιρικό αντικείμενο εμφανίζεται σε νέα τυχαία θέση.

Ο εξεταζόμενος, αφού παρατηρήσει και απομνημονεύσει το σχετικό μέγεθος και τη θέση της σφαίρας καλείται να την τοποθετήσει με χρήση του πληκτρολογίου και του ποντικιού στην αρχική της θέση.

Η παραπάνω διαδικασία δεν είναι χρονικά περιορισμένη και επαναλαμβάνεται τυπικά 10 φορές. Το πρόγραμμα αποθηκεύει για κάθε εξεταζόμενο και για το σύνολο των επαναλήψεων τις συντεταγμένες της αρχικής θέσης της σφαίρας και την τελική θέση της σφαίρας.

Τυπική εφαρμογή του προγράμματος έγινε σε ομάδα παιδιών με δυσλεξία έναντι ομάδας ελέγχου φυσιολογικών και τα αποτελέσματα αυτής παρουσιάζονται στην ενότητα αποτελέσματα .

Χρωματική αντίληψη

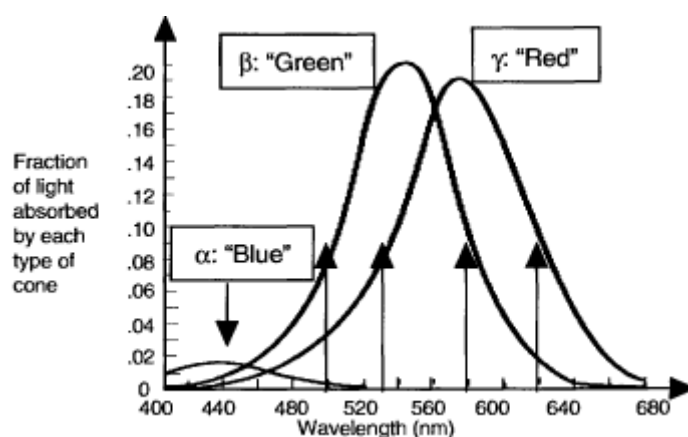
Για τη φυσική, η πλέον συχνή αιτία του χρώματος των οργανικών ενώσεων είναι η απορρόφηση ενός φωτονίου με την ίδια ακριβώς ενέργεια όση είναι η διαφορά δύο διαφορετικών ηλεκτρονιακών καταστάσεων του υλικού. Αρκεί ένας μόνο αριθμός που περιγράφει τη συχνότητα ή το μήκος κύματός του για να το προσδιορίσει πλήρως (π.χ. 600nm).

Όπως όλες οι αισθήσεις και λειτουργίες του σώματος, η οπτική αίσθηση μπορεί να ειπωθεί από πολλές πλευρές.

Μία είναι η ανατομική πλευρά, για την οποία υπάρχει επαρκής κατανόηση της λειτουργίας του ματιού. Από την πλευρά της φυσιολογίας η βιολογική μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας σε χημική και η μεταφορά στον εγκέφαλο είναι το αντικείμενο ενδιαφέροντος. Την ψυχολογία ενδιαφέρει πώς τα χρώματα μπορούν να επηρεάζουν αισθήματα και ενέργειες. Από την υπολογιστική πλευρά, το αντικείμενο ενδιαφέροντος είναι η μαθηματική περιγραφή της αλληλεπίδρασης του φωτός με τα αντικείμενα και επίσης ο προσδιορισμός του χρωματικού χώρου.

Χρωματικά μοντέλα

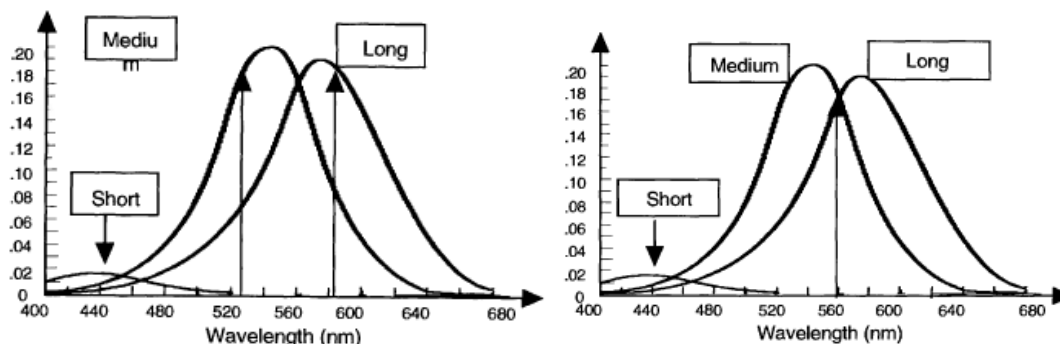
Είναι γενικά αποδεκτό για τους επιστήμονες που μελετούν την ανθρώπινη όραση ότι πρόκειται για φαινόμενο τριπαραμετρικό (trichromacy). Το φαινόμενο οφείλεται στο ότι στον αμφιβληστροειδή υπάρχουν 3 μεγάλοι εύρους φίλτρα (wide band filters). Σε γενικές γραμμές έχουν σχέση με αυτό που αποκαλούμε μπλε, πράσινο και κόκκινο. Στην πραγματικότητα, η συνήθης περιγραφή για τα παραπάνω χρώματα δεν αντιστοιχεί με τις κορυφές αυτών των φίλτρων. Αυτό που αποκαλούμε μπλε είναι σε συμφωνία με τη θέση κορυφής του αντίστοιχου φίλτρου. Τα άλλα δύο όμως έχουν μια ευρεία επικάλυψη. [31]



Σχήμα 15

Από φυσικής πλευράς όπως είπαμε πιο πάνω αρκούν δύο αριθμοί, το μήκος κύματος και η ένταση μιας φωτεινής πηγής για να προσδιορίσουν πλήρως τις συνθήκες με τις οποίες θα μπορούσαμε να διεγείρουμε τα οπτικά φίλτρα του ματιού. Η απόχρωση ή αλλιώς το αντιλαμβανόμενο κυρίαρχο χρώμα (Hue) είναι όμως το άθροισμα ενός τριπαραμετρικού διανύσματος των πιο πάνω φίλτρων.

Αυτό οδηγεί σε διάφορες ασάφειες για τον προσδιορισμό της αντίληψης του χρώματος. Για να γίνουμε πιο κατανοητοί, μια διχρωματική ίσης έντασης πηγή με μήκη κύματος 530nm και 630 nm παράγει το ίδιο αντιληπτικό αποτέλεσμα με μια μονοχρωματική πηγή παρόμοιας έντασης 550 nm (κίτρινο). Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως μεταμερισμός (metamerism).



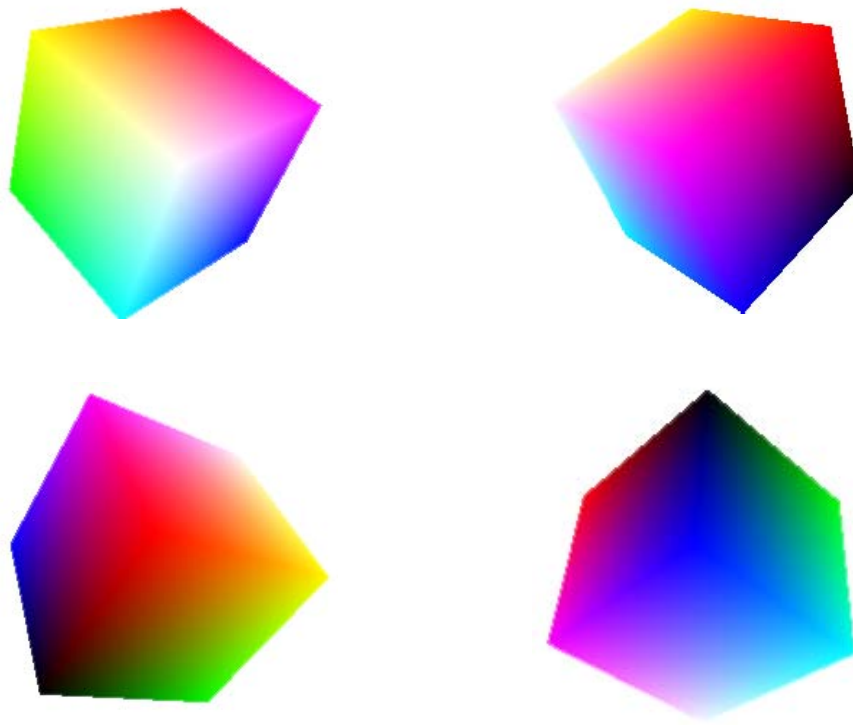
Σχήμα 16

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι αναπαράστασης των χρωμάτων. Οι βασικές μέθοδοι είναι η προσθετική (additive synthesis) και η αφαιρετική σύνθεση (subtractive synthesis). Η πρώτη χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των χρωμάτων από αυτόφωτες συσκευές (όπως π.χ. η οθόνη), η δε δεύτερη από ετερόφωτες συσκευές όπως π.χ. η διαδικασία της εκτύπωσης.

Δεδομένου ότι το πρόγραμμα μας αναπαριστά τα χρώματα σε οθόνη, το χρωματικό μοντέλο που επιλέγουμε είναι το προσθετικό. Αυτό χρησιμοποιεί 3 βασικά χρώματα το κόκκινο (Red) το πράσινο (Green) και το μπλε (Blue) και γι' αυτό ονομάζεται RGB. Η υπολογιστική του αναπαράσταση είναι ένας 32 bit αριθμός της μορφής ABGR, όπου τα συνθετικά του στοιχεία A,B,G,R είναι αριθμοί που κυμαίνονται μεταξύ 0..255 και αντιπροσωπεύουν τα μεν B,G,R την ποσότητα των βασικών χρωμάτων, δίνοντας τη δυνατότητα αναπαράστασης $255^3 = 16,581,375$ διαφορετικών χρωμάτων. Το ανθρώπινο μάτι έχει τη δυνατότητα αντίληψης άνω των 10.000.000 χρωμάτων και αυτός είναι ο λόγος που το 24bit color model, αναφέρεται και ως Million color ή True Color Model.

Το κύριο πρόβλημα που έχουμε εδώ είναι πώς μπορούμε να παρουσιάσουμε την πλήρη χρωματική παλέτα, η οποία είναι 3 διαστάσεων, στη δισδιάστατη οθόνη μας. Μια από τις απαντήσεις βρίσκεται στη χρήση της τρισδιάστατης απεικόνισης που αναφέραμε στις προηγούμενες ενότητες με τη διαφορά ότι τις ορθογώνιες συντεταγμένες δεν τις ονομάζουμε με τη συνήθη ονομασία τους XYZ αλλά RGB. Αν λοιπόν για κάθε βασικό χρώμα παραστήσουμε με τον αριθμό 0 την παντελή έλλειψή του και τον αριθμό 1 την πλήρη εμφάνισή του, έχουμε συνολικά για τις 2 τιμές των 3 βασικών χρωμάτων $2^3=8$ πιθανούς συνδυασμούς (0,0,0), (0,1,0), (0,0,1), (0,1,1), (1,0,0), (1,0,1), (1,1,0), (1,1,1). Τοποθετώντας στη συνέχεια αυτούς του συνδυασμούς στις κορυφές ενός κύβου είναι δυνατόν να απεικονίσουμε και τους 16,581,375 δυνατούς χρωματισμούς του μοντέλου RGB. Δίνοντας στο χρήστη τη δυνατότητα να περιστρέφει αυτόν τον κύβο σε οποιοδήποτε προσανατολισμό και τη δυνατότητα εμποτείας στο εσωτερικό του κύβου, του εξασφαλίζουμε γρήγορη πρόσβαση σε ολόκληρο τον χρωματικό χώρο.

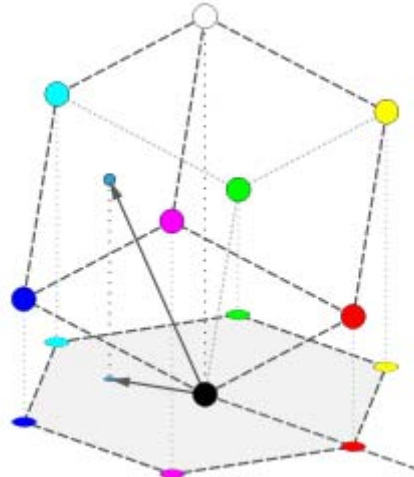
Αυτή η μέθοδος χρωματικής απεικόνισης ονομάζεται Color Cube Model.



Σχήμα 17
Διάφορες οπτικές γωνίες του χρωματικού κύβου.

RGB vs HSV color model.

Η αναπαράσταση του Color Cube μας δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας και ενός άλλου χρωματικού μοντέλου με χρήση της επίπεδης προβολής, όπως εμφανίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 18
Αναπαράσταση στον χώρο HSV

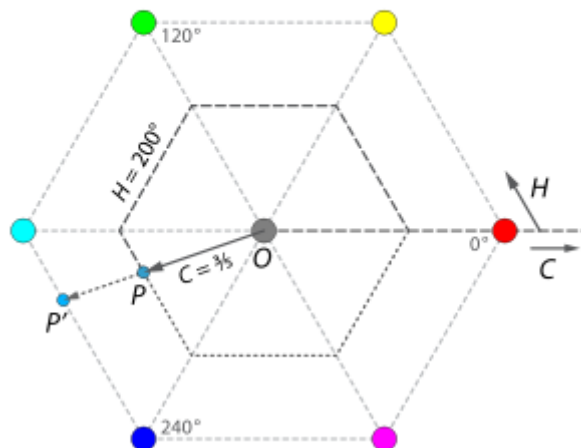
Η μαθηματική μετάβαση από το Color Cube στον χώρο HSV υπολογίζεται με βάση τη γεωμετρία του ακόλουθου σχήματος.

$$C = \frac{OP}{OP'} = B - R = \frac{4}{5} - \frac{1}{5} = \frac{3}{5} = .6$$

$$R = \frac{1}{5} \quad H = 60^\circ \times \left(4 + \frac{R-G}{C}\right) = 60^\circ \times \left(4 - \frac{3}{5}\right) = 200^\circ$$

$$G = \frac{3}{5}$$

$$B = \frac{4}{5}$$



Σχήμα 19

Κατά τη διαδικασία της χρωματικής προβολής χάθηκε ένας βαθμός ελευθερίας. Έχουμε πλέον 7 σημεία και όχι 8 όπως στο πλήρες RGB μοντέλο του color cube. Η απώλεια αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα πως το HSV χρωματικό μοντέλο, για να είναι πλήρες, χρειάζεται επιπλέον μια πρόσθετη πληροφορία. Αυτή ονομάζεται gamma correction. Το HSV χρωματικό μοντέλο είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για τη μεταφορά της πληροφορίας χρώματος σε τόνους του γκρι.

Περιγραφή της λειτουργίας του προγράμματος

Και σε αυτό το πρόγραμμα η συλλογή των πληροφοριών ακολουθεί τη γενική λογική που περιγράψαμε στην εισαγωγή της παρούσας εργασίας.

Υπάρχουν δηλαδή γενικά δύο τρόποι χρήσης του προγράμματος:

1. από μνήμης
2. με άμεση σύγκριση

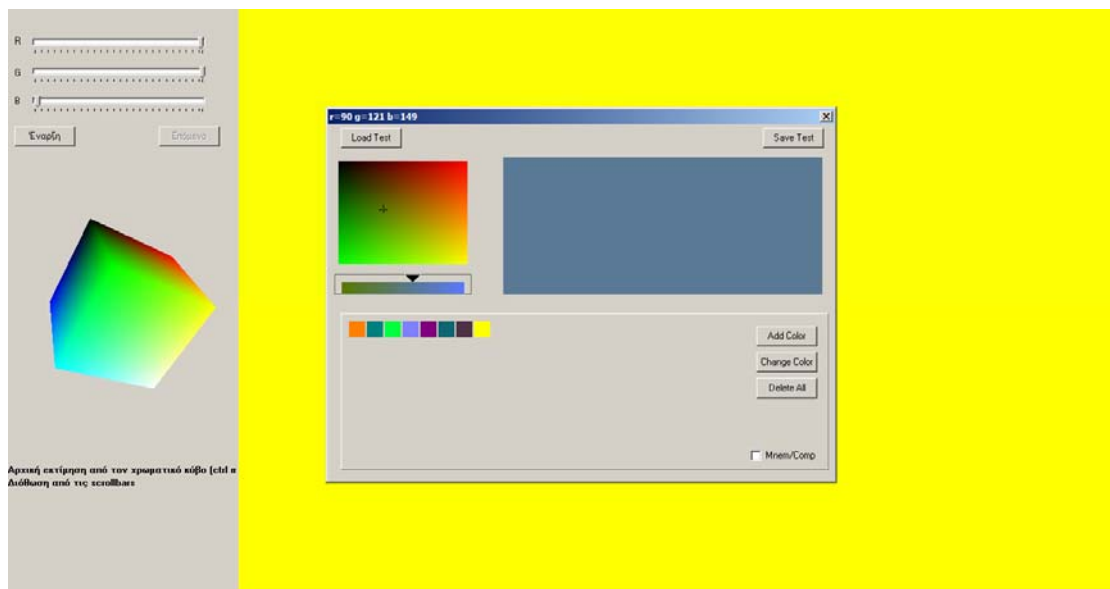
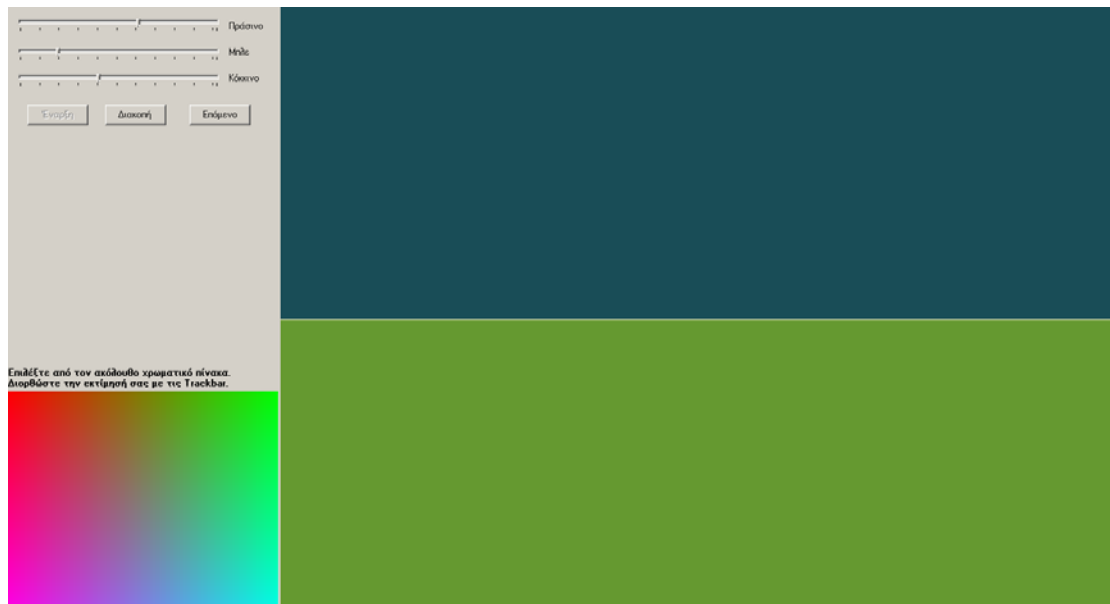


Σχήμα 20

Η χρήση του προγράμματος γίνεται αποκλειστικά από τον εξεταζόμενο.

Τα βήματα που ακολουθούνται στην από μνήμης διαδικασία είναι τα ακόλουθα: Αρχικά, στο μεγαλύτερο χώρο της οθόνης εμφανίζεται ένας χρωματισμός, ο οποίος παρακολουθείται από το υποκείμενο για ένα χρονικό διάστημα (τυπικά 10 δευτερόλεπτα). Στη συνέχεια ο χρωματισμός αλλάζει σε μαύρο και ο χρήστης καλείται, προσανατολίζοντας κατάλληλα το χρωματικό κύβο ή μεγεθύνοντάς τον είτε με τη χρήση του πληκτρολογίου είτε με τη χρήση του ποντικιού, να επιλέξει το χρωματικό τόνο που θεωρεί ότι προβαλλόταν στην οθόνη στο πρώτο βήμα. Έχει επίσης τη δυνατότητα να επιλέξει το χρωματικό συνδυασμό με άμεση αριθμητική επιλογή των χρωματικών συνιστωσών (Red, Green, Blue) από αντίστοιχα sliders που υπάρχουν στο άνω αριστερό τμήμα της οθόνης του προγράμματος. Το πρόγραμμα καταγράφει τον αρχικό χρωματικό τόνο και την τελική επιλογή του χρήστη. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται όσες φορές έχει επιλέξει ο εξεταστής (τυπικά 10).

Τα βήματα που ακολουθούνται στη διαδικασία της άμεσης σύγκρισης είναι ίδια με την από μνήμης διαδικασία, με τη διαφορά ότι αυτήν τη φορά η οθόνη του προγράμματος είναι χωρισμένη σε δύο τμήματα εκ των οποίων το πάνω τμήμα καταδεικνύει το χρώμα το οποίο καλείται ο εξεταζόμενος να βρει με όσο δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια.

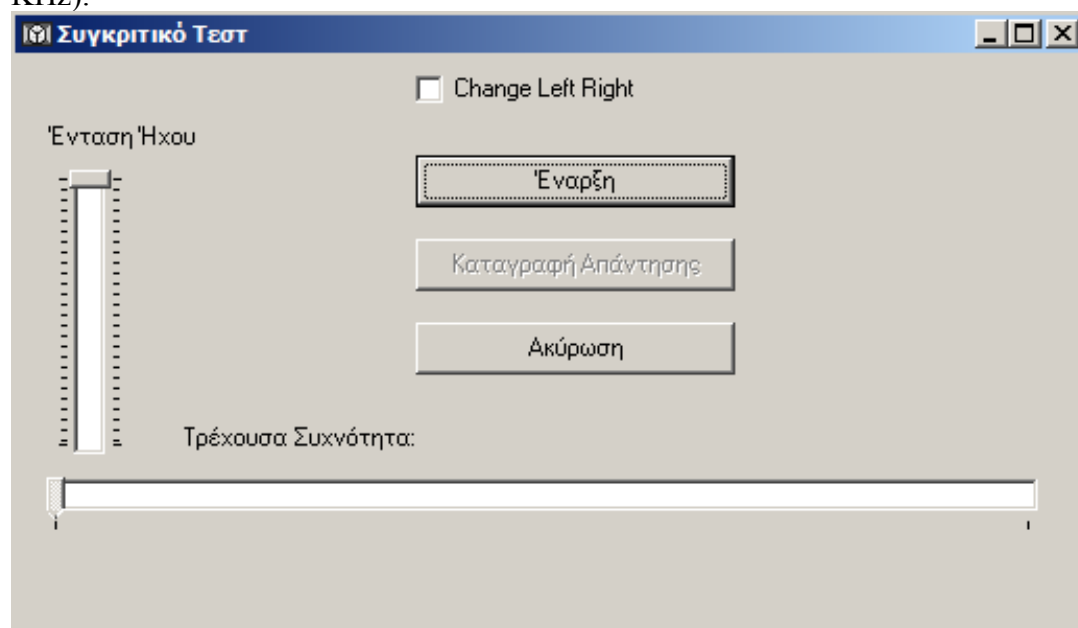


Σχήμα 21

Αποτελέσματα τυπικής εφαρμογής του προγράμματος εμφανίζονται στην ενότητα αποτελέσματα .

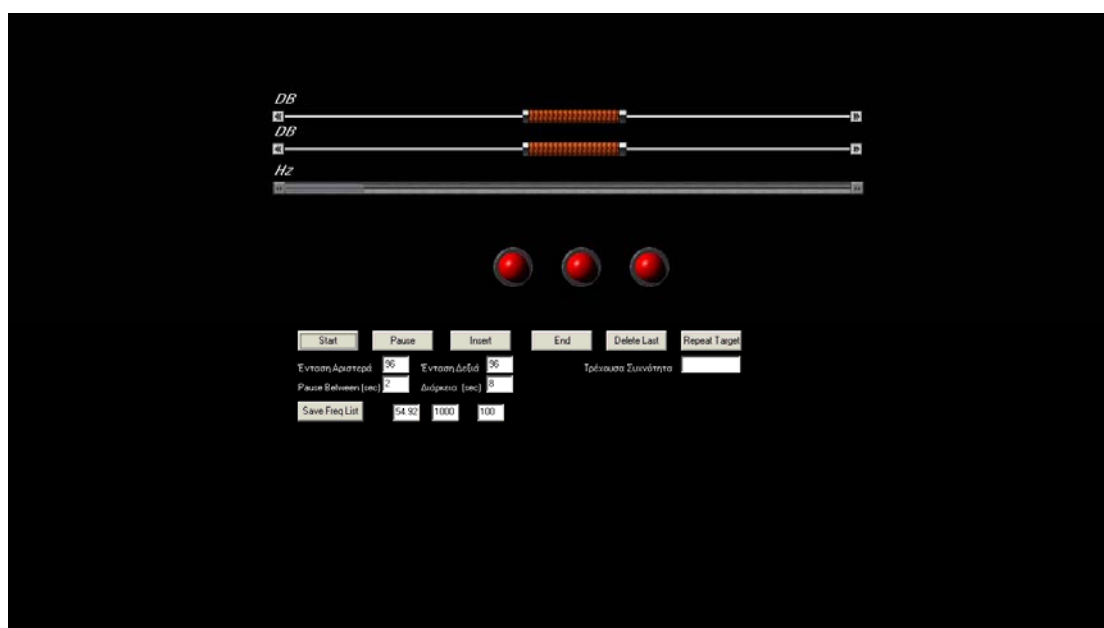
Ηχητική αντίληψη

Η αρχική εφαρμογή είχε βασιστεί στο γεγονός ότι κάθε σύγχρονος υπολογιστής περιέχει μια κάρτα ήχου, η οποία στην πραγματικότητα είναι ένας ADC και ένας DAC εξαιρετικής ποιότητας (16 bit). Το εύρος δειγματοληψίας τους είναι συνήθως αντίστοιχο του εύρους της ανθρώπινης ηχητικής ακουστικής αντίληψης (10Hz – 20KHz). Πολύ συχνά όμως τυπικές κάρτες ήχου το υπερβαίνουν σημαντικά (92 KHz).



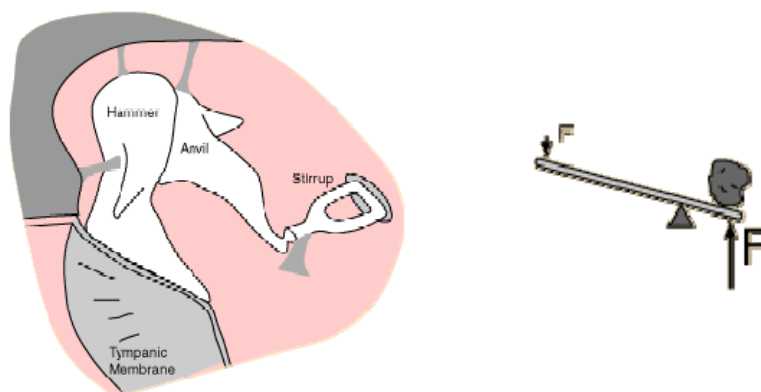
Σχήμα 22

Αντίθετα όμως με την αρχική υπόθεση ότι ο ήχος μπορεί εύκολα να διαχειριστεί, όπως το χρώμα ή η τρισδιάστατη απεικόνιση, η μη γραμμική αντιληπτικότητα της έντασης του ήχου μπορεί να γίνει ενοχλητική. Η εφαρμογή του προγράμματος σε πραγματικές συνθήκες μας οδήγησε στον πλήρη επανασχεδιασμό του.



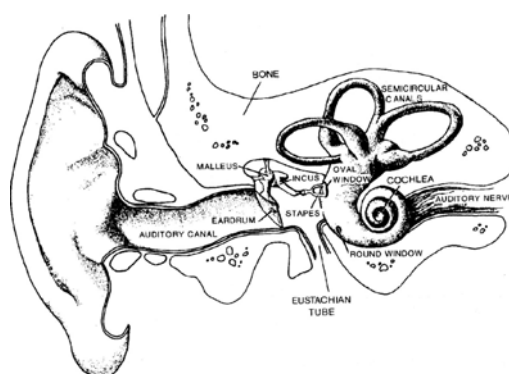
Σχήμα 23

Πριν ο ήχος γίνει αντιληπτός περνά μέσω του ακουστικού καναλιού (ear canal). Το ακουστικό κανάλι δεν είναι ένας παθητικός αγωγός. Με μέγεθος 2.5 cm συμπεριφέρεται περισσότερο ως χώρος συντονισμού όπως οι σωλήνες των διαφόρων πνευστών οργάνων. Τα δομικά χαρακτηριστικά αυτού έχουν ως αποτέλεσμα τη σημαντική ενίσχυση συγκεκριμένων συχνοτήτων, ιδιαίτερα μεταξύ 2000 - 5500 Hz (περίπου 5dB) [32] έναντι άλλων. Οι μεταβολές της ακουστικής πίεσης προκαλούν τη δόνηση του τυμπάνου και αυτές στη συνέχεια συλλέγονται από τρία μικρά οστά στο μέσο αυτί. Το πρώτο από αυτά, η σφύρα συνδέεται άμεσα με το τύμπανο και μεταδίδεται μέσω των άλλων δύο σε έναν ελλειψοειδή σχηματισμό ο οποίος είναι γεμάτος με υγρό και ονομάζεται κοχλίας. Το αποτέλεσμα αυτού του πολύπλοκου μηχανισμού είναι η δημιουργία ενός κύκλωματος προσαρμογής μεταξύ ενός αέριου περιβάλλοντος και ενός υγρού. Χωρίς ένα τέτοιο κύκλωμα προσαρμογής η μεταφορά ισχύος μεταξύ αέρα και υγρού στην επιφάνεια επαφής θα προκαλούσε απώλειες της τάξεως των 30dB (99.9% της συνολικής ισχύος) [32]. Τα 3 οστά που μεσολαβούν μεταξύ του αέριου και υγρού περιβάλλοντος έχουν τη διάταξη μηχανικών μοχλών με κύριο στόχο την ενίσχυση της ακουστικής πίεσης.



Σχήμα 24

Υπάρχει επίσης ένας μηχανισμός προστασίας ανάλογος με την ίριδα του ματιού για την προστασία του αυτιού από υπερβολικά μεγάλες ακουστικές πιέσεις.



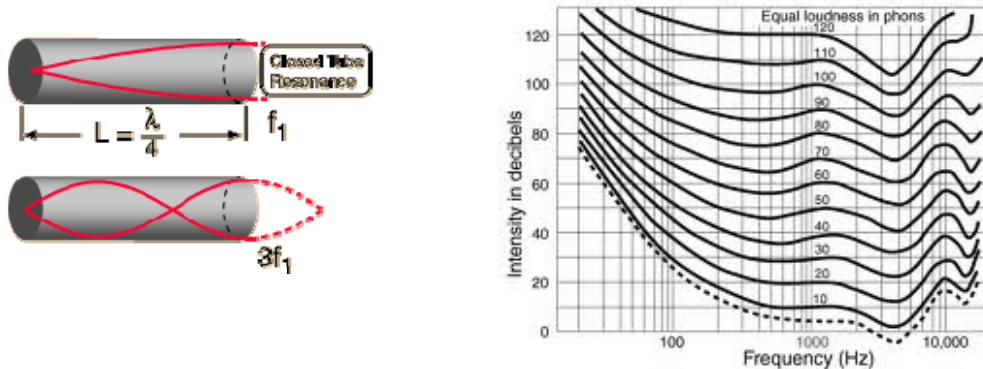
Σχήμα 25

Η βασική αιτία της μορφολογίας των ακουστικών καμπυλών, οι οποίες εμφανίζονται στο σχήμα 26, είναι ότι το ακουστικό κανάλι (auditory canal) από φυσικής πλευράς είναι ισοδύναμο με κυλινδρικό αντηχείο κλειστό στη μία του πλευρά.

Με βασικές γνώσεις της λειτουργίας του αντηχείου (σχήμα 26) και δεδομένου ότι η ταχύτητα του ήχου εξαρτάται από τη θερμοκρασία γενικά ως

$$c_{\text{air}} = (331.3 + 0.606 \theta) \text{ m s}^{-1} \quad (\text{όπου } \theta \text{ σε βαθμούς Celsius)}$$

εύκολα μπορεί κανείς να υπολογίσει την πρώτη συχνότητα συντονισμού του μοντέλου του κυλινδρικού αντηχείου με μήκος $L = 2.4 \text{ cm}$ (όσο περίπου το μέσο μήκος του ακουστικού καναλιού) και θερμοκρασία σώματος 36.6 ως $\nu = c_{\text{air}} / (4 * L) = (331.3 + 0.606 * 36.6) / (0.024 * 4) = 3692 \text{ Hz}$ σε συμφωνία με τις ακουστικές καμπύλες. Το ίδιο συμβαίνει και με το δεύτερο εμφανές σημείο συντονισμού των ακουστικών καμπυλών των 13 KHz και που αντιστοιχεί περίπου στην $3^{\text{η}}$ αρμονική της συχνότητας του βασικού μοντέλου του κυλινδρικού αντηχείου και είναι περίπου 11 KHz .



Σχήμα 26

Η κλίμακα Decibel αποτυπώνει τον τρόπο απόκρισης του ανθρώπινου αυτιού στις μεταβολές της ηχητικής έντασης και ο οποίος είναι λογαριθμικός.

Ορίζεται ως εξής $I(\text{db}) = 10 \log_{10}[I/I_0]$

Όπου I_0 (threshold of hearing κατώφλι ακουστικότητας) είναι η ποσότητα ακουστικής ισχύος $10^{-12} \text{ watts/m}^2$. Με άλλα λόγια αναπαριστά μεταβολή πίεσης ίση με το ένα δισεκατομμυριοστό της ατμοσφαιρικής και υποδεικνύει την εκπληκτική ευαισθησία της ανθρώπινης ακοής.

Ως JND (just noticeable difference) ορίζουμε την ποσότητα 1 Db [33]

Το πρόγραμμα υπολογίζει αυτόματα τις εντάσεις με χρήση της τεχνικής του interpolation, ακρίβεια 1 JND και με βάση τις παραδεκτές ακουστικές καμπύλες και όχι κάποιου μοντέλου, ώστε οι μετρήσεις ουσιαστικά να γίνονται στην ίδια κλίμακα και να αποφεύγει την περίπτωση δημιουργίας ενοχλητικής αίσθησης στο υποκείμενο.

Επιπλέον των παραπάνω, η χρήση του προγράμματος μέσω των βασικών περιφερειακών ενός υπολογιστή (ποντίκι, πληκτρολόγιο) παρουσίαζε προβλήματα διαχείρισης από την πλευρά των χρηστών.

Για παράδειγμα, η αναπαράσταση του συνολικού εύρους της ανθρώπινης ακουστικής ικανότητας (20000 Hz) υπό μορφή ενός slider με βήμα 1 Hz δεν μπορεί να γίνει με χρήση του ποντικιού μιας και θα απαιτούσε οθόνη με οριζόντια ανάλυση της τάξεως των 20000 pixel. Η διαχείριση αυτού του slider μπορεί βέβαια να γίνει μέσω πληκτρολογίου και τον ορισμό διαφόρων βημάτων (1 Hz, 5 Hz κτλ). Για τη γρήγορη μετακίνηση όμως σε όλο το ακουστικό φάσμα απαιτούνται ορισμοί πολλών τέτοιων βημάτων και οι οποίοι με τη σειρά τους δεν καθιστούν ιδιαίτερα φιλικό το περιβάλλον εργασίας για τον εξεταζόμενο.

Αυτή ήταν και η αιτία για την οποία εξετάσαμε αρχικά τις επονομαζόμενες (Force Feedback) συσκευές πιο γνωστές ως Joystick, αλλά και πιο εξωτικές όπως το WiiMote. Για την τελική υλοποίηση του προγράμματος χρησιμοποιήθηκε Joystick συσκευή.

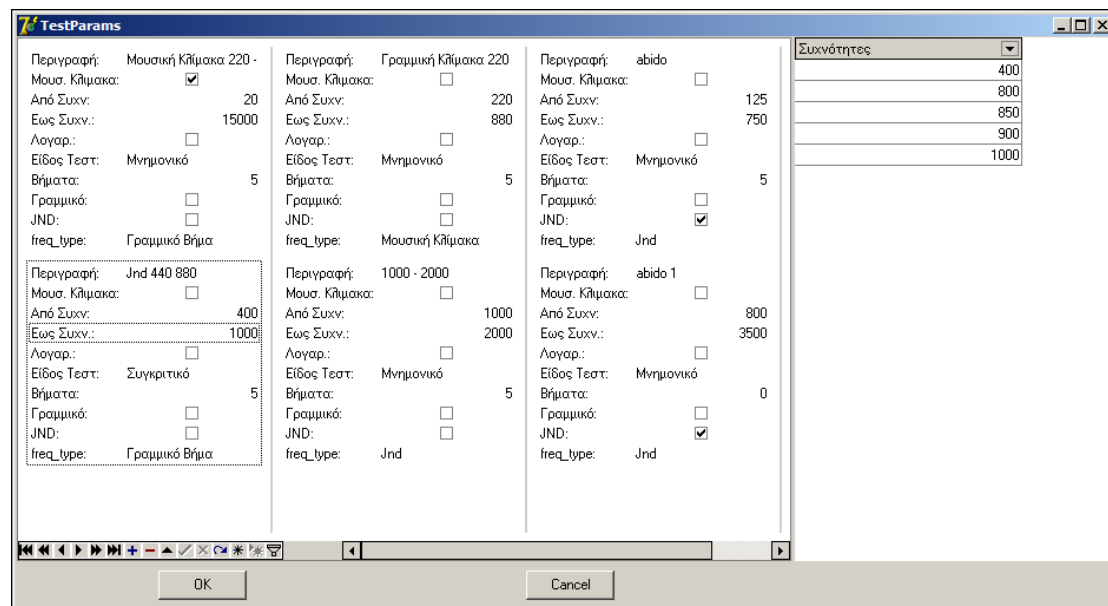
Περιγραφή της λειτουργίας του προγράμματος

Η χρήση του προγράμματος απαιτεί τη συμμετοχή και του εξεταστή και του εξεταζόμενου. Ο εξεταστής έχει πρόσβαση στο πρόγραμμα το οποίο χειρίζεται, ενώ ο εξεταζόμενος φορά ακουστικά και χειρίζεται ένα joystick, χωρίς όμως να έχει πρόσβαση στις πληροφορίες που εμφανίζονται στην οθόνη του προγράμματος.

Και πάλι η μετρητική διαδικασία μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

1. από μνήμης,
2. με άμεση σύγκριση

Πριν ξεκινήσει η μετρητική διαδικασία, ο εξεταστής μπορεί να έχει συντάξει ένα σύνολο ερωτημάτων, ώστε τα δεδομένα να είναι κοινά για όλους τους εξεταζόμενους.



Σχήμα 27

Το πρόγραμμα παρέχει την δυνατότητα αυτόματης δημιουργίας των συχνοτήτων εντός ενός καθοριζόμενου εύρους συχνοτήτων με γραμμικό λογαριθμικό ή μουσικό βήμα. Αυτές οι συχνότητες εάν επιθυμεί ο εξεταστής μπορούν να προσφερθούν σε ακουστικές εντάσεις υπολογιζόμενες από τις τρέχουσες παραδεκτές ακουστικές καμπύλες ώστε να έχουν την ίδια αντιληπτική επίδραση.

Ο εξεταζόμενος με την κίνηση του joystick έχει γρήγορη και άμεση πρόσβαση σε όλο το υπό εξέταση ακουστικό φάσμα και το οποίο όπως αναφέρθηκε πιο πάνω καθορίστηκε από τον εξεταστή. Παράλληλα παρέχεται η δυνατότητα από τον εξεταστή να επαναλάβει μια συχνότητα ή και να ακυρώσει μια ήδη καταγεγραμμένη απάντηση, αν ο ίδιος κρίνει ότι συντρέχει κάποιος λόγος επανάληψης ενός μετρητικού βήματος.

Η γενική πειραματική διαδικασία από μνήμης συνοψίζεται στα ακόλουθα βήματα:

Ο εξεταζόμενος ακούει για ένα χρονικό διάστημα μια συγκεκριμένη συχνότητα. Αφού μεσολαβήσει ένα χρονικό διάστημα ηχητικής σιγής, καλείται να εντοπίσει την ίδια συχνότητα κινούμενος σε ένα αρκετά μεγάλο ηχητικό εύρος.

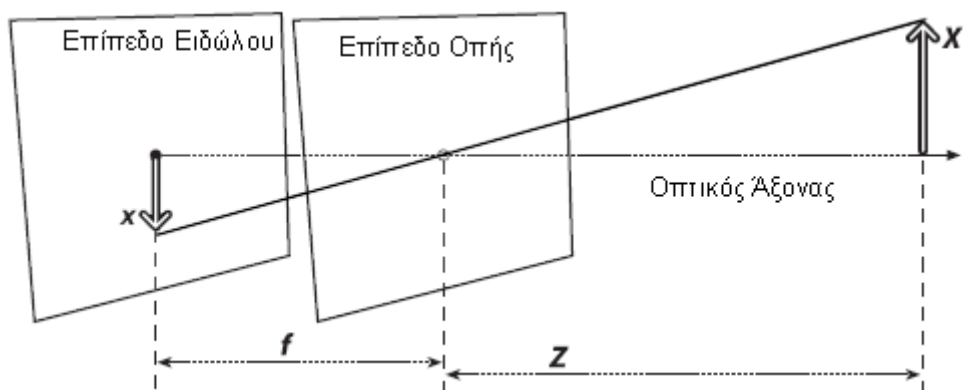
Παρόμοια είναι και η διαδικασία της άμεσης σύγκρισης. Η βασική διαφορά είναι ότι στο ένα αντί ακούγεται ο ήχος στόχος την ίδια χρονική στιγμή που στο άλλο αντί παρουσιάζεται η συχνότητα του ηχητικού εύρους που αντιστοιχεί στην τρέχουσα θέση του χειριστηρίου (joystick).

Αποτελέσματα τυπικής εφαρμογής του προγράμματος σε ομάδα φυσιολογικών ατόμων παρατίθενται στην ενότητα αποτελέσματα.

Κιναισθησία - αντίληψη πραγματικού χώρου

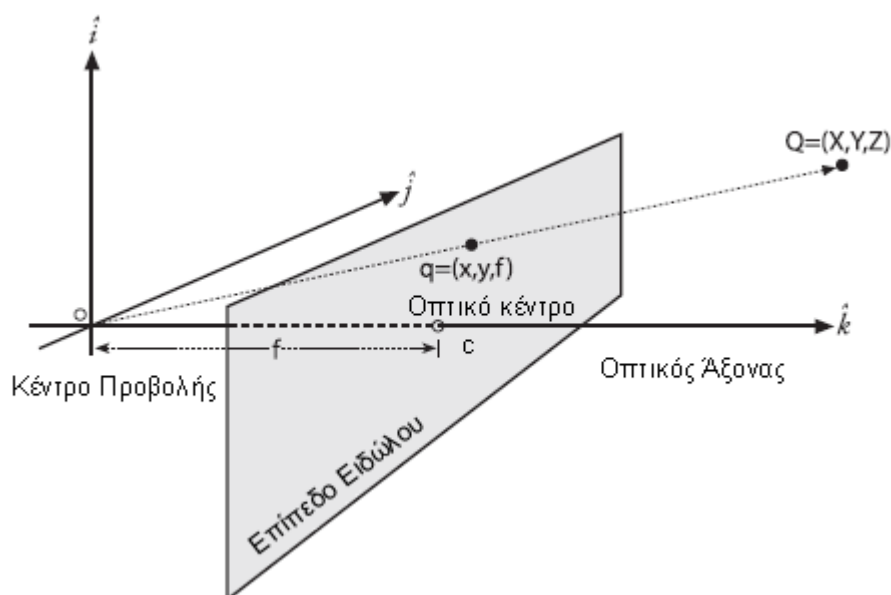
Το πρόβλημα της βαθμονόμησης του τρισδιάστατου πραγματικού χώρου, ώστε να μπορούν να γίνουν αντικειμενικές μετρήσεις σε αυτόν, έχει τις ίδιες μαθηματικές και τεχνικές δυσκολίες όσο και εκείνο του προγράμματος φασματοσκοπίας Mössbauer, που θα παρουσιαστεί στη συνέχεια, αν όχι περισσότερες.

Θεωρία κάμερας – προοπτικοί μετασχηματισμοί.



Σχήμα 28

Με αναφορά στο πιο πάνω σχήμα (28) και λόγω ομοιότητας τριγώνων ισχύει $-x/f = X/Z$. Το ίδιο φυσικά ισχύει και για $-y/f = Y/Z$, το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει την αντιστροφή του προσανατολισμού του αντικειμένου στο επίπεδο προβολής. Για να μπορέσουμε να αφαιρέσουμε το αρνητικό πρόσημο από τις παραπάνω εξισώσεις, το μοντέλο οπής τροποποιείται ελαφρά, όπως στο ακόλουθο σχήμα (29).



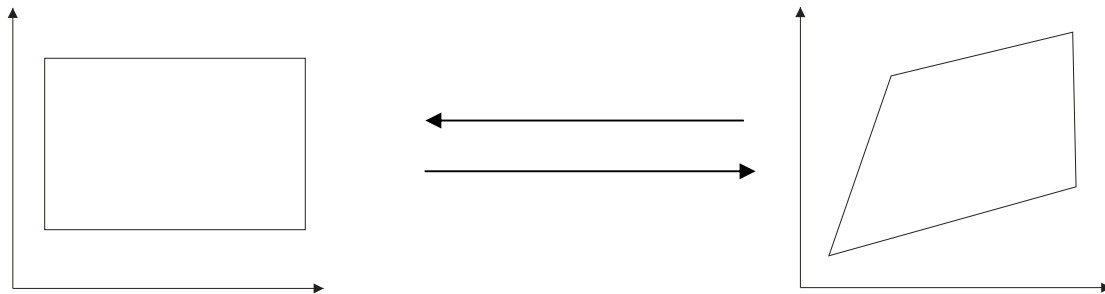
Σχήμα 29

Το οπτικό κέντρο ορίζεται ως το σημείο τομής της καθέτου στο επίπεδο ειδώλου που διέρχεται από το κέντρο προβολής. Οι συντεταγμένες οθόνης αναφέρονται ως προς αυτό και θεωρητικά βρίσκεται στο σημείο (0,0) της οθόνης. Στον πραγματικό κόσμο λόγω κατασκευαστικών ατελειών το πραγματικό επίπεδο ειδώλου δεν είναι ακριβώς παράλληλο με το θεωρητικό και αυτό σημαίνει πως το οπτικό κέντρο βρίσκεται πάντα ελαφρά μετατοπισμένο σε σχέση με το πραγματικό (0,0). Αυτό μας οδηγεί στη διόρθωση των πιο πάνω τύπων ως $x_{\text{οθόνης}} = f_x(X/Z) + c_x$ και $y_{\text{οθόνης}} = f_y(Y/Z) + c_y$.

Σε μορφή πίνακα $q = MQ$ όπου $M = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$, q οι συντεταγμένες στο σύστημα οθόνης και Q οι συντεταγμένες στο καθολικό σύστημα.

Ο πίνακας M αποτελεί τις «εσωτερικές παραμέτρους της κάμερας» και εάν προσδιοριστεί μια φορά μπορεί και επαναχρησιμοποιείται για πάντα.

Το αποτέλεσμα γενικά ενός προοπτικού μετασχηματισμού είναι ότι οι ευθείες γραμμές απεικονίζονται σε ευθείες, αλλά δεν διατηρούνται ούτε οι γωνίες ούτε η παραλληλότητα. Είναι επέκταση του αφινικού μετασχηματισμού (affine transform) που δε διατηρεί τις γωνίες αλλά την παραλληλότητα.



Σχήμα 30
Απλή περίπτωση ομογραφίας

Βασίζόμενοι στην ιδιότητα της προοπτικής προβολής, για την οποία τα 3 σημεία (O, q, Q) , όπου O το κέντρο προβολής, Q ένα σημείο στο χώρο, q η προβολή στο επίπεδο ειδώλου είναι συγγραμικά, τότε μπορούμε να αποδείξουμε εύκολα το βασικό θεώρημα της προβολικής γεωμετρίας που διατυπώνεται ως εξής:

Μια απεικόνιση $P^2 \rightarrow P^2$ είναι προβολική, εάν και μόνο εάν υπάρχει τετραγωνικός αντιστρέψιμος πίνακας 3×3 ή για τον οποίο για οποιοδήποτε διάνυσμα v του P^2 ισχύει $h(v) = H * v$ [34,35].

Στη δισδιάστατη μορφή P^2 ο ομογραφικός πίνακας έχει 9 στοιχεία. Επειδή ενδιαφερόμαστε όμως μόνο για τις αναλογίες, υπάρχουν 8 ανεξάρτητες τέτοιες.

Ομογραφίες

Η μεθοδολογία ανεύρεσης των παραμέτρων αυτών απαντάται στη βιβλιογραφία με τον όρο Direct Linear Transform. Δεδομένων λοιπόν 4 αντιστοιχίσεων $(P_0 \rightarrow p_0, P_1 \rightarrow p_1, P_2 \rightarrow p_2, P_3 \rightarrow p_3)$ είναι δυνατόν να προσδιοριστούν και οι 8 ομογραφικές παράμετροι

$$X = \frac{ax + by + c}{gx + hy + 1}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow X(gx + hy + 1) &= ax + by + c \rightarrow Xgx + Xhy + X = ax + by + c \\ \rightarrow X &= ax + by + c - Xgx - Xhy \\ \rightarrow X &= a * x + b * y + c + 0 * d + 0 * e + 0 * f - X * g * x - Y * h * y \end{aligned}$$

$$Y = \frac{dx + ey + f}{gx + hy + 1}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow Y(gx + hy + 1) &= dx + ey + f \rightarrow Xgx + Xhy + X = dx + ey + f \\ \rightarrow Y &= dx + ey + f - Xgx - Xhy \\ \rightarrow Y &= 0 * a + 0 * b + 0 * c + d * x + e * y + f - Y * g * x - Y * h * y \end{aligned}$$

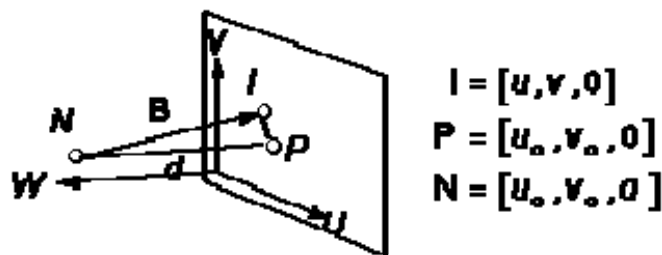
$$\begin{aligned}
X_0 &= a * x_0 + b * y_0 + c + 0 * d + 0 * e + 0 * f - X_0 * g * x_0 - Y * h * y_0 \\
Y_0 &= 0 * a + 0 * b + 0 * c + d * x_0 + e * y_0 + f - Y_0 * g * x_0 - Y * h * y_0 \\
X_1 &= a * x_1 + b * y_1 + c + 0 * d + 0 * e + 0 * f - X_1 * g * x_1 - Y * h * y_1 \\
Y_1 &= 0 * a + 0 * b + 0 * c + d * x_1 + e * y_1 + f - Y_1 * g * x_1 - Y * h * y_1 \\
X_2 &= a * x_2 + b * y_2 + c + 0 * d + 0 * e + 0 * f - X_2 * g * x_2 - Y * h * y_2 \\
Y_2 &= 0 * a + 0 * b + 0 * c + d * x_2 + e * y_2 + f - Y_2 * g * x_2 - Y * h * y_2 \\
X_3 &= a * x_3 + b * y_3 + c + 0 * d + 0 * e + 0 * f - X_3 * g * x_3 - Y * h * y_3 \\
Y_3 &= 0 * a + 0 * b + 0 * c + d * x_3 + e * y_3 + f - Y_0 * g * x_3 - Y * h * y_3
\end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} x_0 & y_0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_0x_0 & -X_0y_0 \\ 0 & 0 & 0 & x_0 & y_0 & 1 & -Y_0x_0 & -Y_0y_0 \\ x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_1x_1 & -X_1y_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -Y_1x_1 & -Y_1y_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_2x_2 & -X_2y_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -Y_2x_2 & -Y_2y_2 \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_3x_3 & -X_3y_3 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 & -Y_3x_3 & -Y_3y_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ X_1 \\ Y_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ X_3 \\ Y_3 \end{bmatrix}$$

Για την περίπτωση 4 σημείων το σύστημα λύνεται επακριβώς. Στον πραγματικό όμως κόσμο και οι κάμερες και οι οθόνες είναι συσκευές διακριτές και η ακρίβειά τους εκφράζεται σε **ακέραια** Pixels.

Τα παραπάνω ισχύουν για την περίπτωση που η ακρίβεια αντιστοιχίας των σημείων $p_i \rightarrow P_i$ $i=1..4$ είναι άπειρη. Για να αντιμετωπίσουμε τις καταστάσεις του πραγματικού κόσμου η πιο πάνω μεθοδολογία τροποποιείται και αντί για 4 σημεία χρησιμοποιούμε περισσότερες αντιστοιχίες. Το νέο σύστημα που είναι πλέον υπέρ-προσδιορισμένο (Over Determined) επιλύεται με αριθμητικές μεθόδους που περιλαμβάνουν την ελαχιστοποίηση κάποιας μετρικής.

Η τρισδιάστατη μορφή του προβλήματος οδηγεί σε παρόμοιο γραμμικό σύστημα με το παραπάνω. Με βάση το ακόλουθο σχήμα (31)



Σχήμα 31

έχουμε $u - \Delta u = \frac{L_1x + L_2y + L_3z + L_4}{L_9x + L_{10}y + L_{11}z + 1}$ $v - \Delta v = \frac{L_5x + L_6y + L_7z + L_8}{L_9x + L_{10}y + L_{11}z + 1}$
όπου Δu , Δv εκφράσεις για τα οπτικά λάθη (radial and tangential distortion factors)

$$\begin{aligned}
\Delta u &= \xi(L_{12}r^2 + L_{13}r^4 + L_{14}r^6) + L_{15}(r^2 + 2\xi^2) + L_{16}\xi\eta \\
\Delta v &= \eta(L_{12}r^2 + L_{13}r^4 + L_{14}r^6) + L_{15}\xi\eta + L_{16}(r^2 + 2\eta^2) \\
[\xi, \eta] &= [u - u_0, v - v_0] \\
r^2 &= \xi^2 + \eta^2
\end{aligned}$$

Στην περίπτωση όπου αυτά θεωρούνται μηδενικά για κάθε αντιστοίχιση $(x,y,z) \rightarrow (u,v)$ ισχύει

$$\frac{1}{R} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} x & y & z & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u * x & -u * y & -u * z \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x & y & z & 1 & -v * x & -v * y & -v * z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 \\ \vdots \\ L_{11} \end{bmatrix}$$

Ενώ αν συμπεριλάβουμε και τις μη γραμμικές παραμέτρους ακτινικής και εφαπτόμενης παραμόρφωσης

$$\frac{1}{R} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} x & y & z & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u * x & -u * y & -u * z \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x & y & z & 1 & -v * x & -v * y & -v * z \\ \xi r^2 R & \xi r^4 R & \xi r^6 R & (r^2 + 2\xi^2)R & \xi \eta R \\ \eta r^2 R & \eta r^4 R & \eta r^6 R & \xi \eta R & (r^2 + 2\eta^2)R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 \\ \vdots \\ L_{16} \end{bmatrix}$$

Η επίλυση απαιτεί τη χρήση μεθοδολογιών βελτιστοποίησης και δυνατότητας επίλυσης γραμμικών συστημάτων με χρήση ανάλυσης πινάκων σε μορφή γινομένων ορθογώνιων πινάκων (Singular Value Decomposition). Η γενική μέθοδος επίλυσης υπερπροσδιορισμένων γραμμικών συστημάτων είναι η ακόλουθη:

$$\begin{aligned} XL &= Y \longrightarrow \\ (X^T X)L &= X^T Y \longrightarrow (X^T X)^{-1}(X^T X)L = (X^T X)^{-1}(X^T Y) \\ &\longrightarrow L = (X^T X)^{-1}(X^T Y) \end{aligned}$$

Σύνδεση των ομογραφιών με τις εσωτερικές και εξωτερικές παραμέτρους της θέσης παρατήρησης

Ο προσδιορισμός των εσωτερικών παραμέτρων της κάμερας συνδέεται με το ομογραφικό πρόβλημα και δεδομένου ότι στη γενική περίπτωση η κάμερα έχει προσανατολισμό R και γενικά δε βρίσκεται στο σημείο $(0,0,0)$ των καθολικών συντεταγμένων άρα υπάρχει και χωρική μεταφορά T , ο ομογραφικός πίνακας μπορεί να γραφεί υπό μορφή $H=sMW$.

Όπου $M = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ ο πίνακας προβολής $W = [R \ t]$ ο πίνακας στροφών

– μεταφοράς και s ένα βαθμωτό.

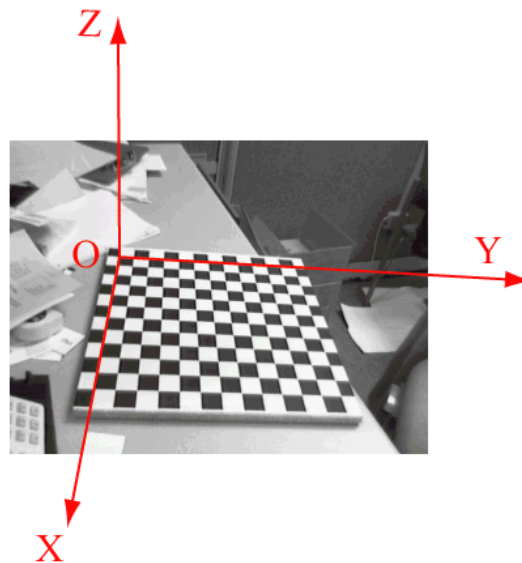
Για τον υπολογισμό των εσωτερικών και εξωτερικών παραμέτρων γίνεται χρήση της ιδιότητας της προοπτικής προβολής να απεικονίζει ευθείες σε ευθείες, πρόβλημα που λύνεται με τη χρήση των ομογραφιών. Η εξαγωγή των εσωτερικών και εξωτερικών παραμέτρων των σημείων παρατήρησης βασίζεται στην ιδιότητα της ορθογωνικότητας που έχουν οι πίνακες στροφών.

Για τον ενδιαφερόμενο η αποδεικτική διαδικασία μπορεί να αναζητηθεί στα [36,34,37,38,39]

Η τεχνική για τον προσδιορισμό των εσωτερικών παραμέτρων της κάμερας είναι η ακόλουθη:

Τοποθετούμε ένα επίπεδο παραλληλόγραμμο στον τρισδιάστατο χώρο και με τεχνικές βελτιστοποίησης (optimization) συστημάτων ομογραφικών απεικονίσεων προσδιορίζουμε το σύνολο των εσωτερικών (εστιακή απόσταση – οπτικό κέντρο) και

εξωτερικών παραμέτρων (πίνακας στροφής και μεταφοράς) με την αλγοριθμική διαδικασία που αναφέρθηκε πιο πάνω.



Σχήμα 32

Stereo Calibration – Stereo Rectification

Η διαδικασία βαθμονόμησης του χώρου (stereo calibration) μέσω δύο διαφορετικών σημείων παρατήρησης είναι η διαδικασία που μας επιτρέπει να συσχετίσουμε τις συντεταγμένες των ειδώλων ενός χωρικού σημείου στα δύο αυτά διαφορετικά προβολικά συστήματα συντεταγμένων.

Ορισμοί

Fundamental Matrix

Αυτός είναι ένας πίνακας που με τη χρήση του πολλαπλασιασμού είναι δυνατόν να μετατρέπουμε τις συντεταγμένες στο καθολικό σύστημα συντεταγμένων του αριστερού ειδώλου σε συντεταγμένες του δεξιού ειδώλου, εκφρασμένες και πάλι στο καθολικό σύστημα συντεταγμένων.

Essential Matrix

Αυτός είναι ο πίνακας μετασχηματισμού που μας επιτρέπει να μετατρέπουμε τις συντεταγμένες ειδώλων από το αριστερό στο δεξί σημείο παρατήρησης εκφρασμένες η καθεμία τους στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων (συντεταγμένες οθόνης).

Ο ορισμός των πινάκων αυτών γίνεται ως εξής:

Για κάθε παρατηρούμενο σημείο P και τις θέσεις παρατήρησης O_l, O_r είναι δυνατόν να οριστεί ένα επίπεδο, το οποίο ονομάζεται Epiplar Plane.

Τα σημεία ειδώλων p_l, p_r ανήκουν σε αυτό το επίπεδο και κατά συνέπεια ικανοποιούν μια εξίσωση επιπέδου της μορφή $(x-a) \cdot n=0$. Όπου x ένα τυχαίο σημείο a μια χωρική μεταφορά του και n το κάθετο διάνυσμα των διανυσμάτων x και a .

Για την περίπτωση του σχήματος 33 λοιπόν η εξίσωση του επιπέδου είναι

$$P_l - T^T \cdot T \times P_l = 0$$

Από το σχήμα 33 προκύπτει ότι $P_r = R(P_l - T) \rightarrow (P_l - T) = R^{-1}P_r$

Λόγω της ορθοκανονικότητας των πινάκων στροφής ισχύει επίσης $R^T = R^{-1}$

Συνολικά λοιπόν έχουμε

$$\left. \begin{aligned} (P_l - T)^T (T \times P_l) &= 0 \\ P_r = R(P_l - T) \rightarrow (P_l - T) &= R^{-1}P_r \end{aligned} \right\} \rightarrow (R^T P_r)^T (T \times P_l) = 0$$

Αν ορίσουμε ένα πίνακα $S = \begin{bmatrix} 0 & -T_z & T_x \\ T_z & 0 & -T_x \\ -T_y & T_x & 0 \end{bmatrix}$

ώστε να ισχύει $T \times P_l = SP_l$, τότε ισχύει $R^T P_r^T T \times P = 0 \rightarrow P^T RSP = 0$ (1)

Ο πίνακας $E = RS$ ονομάζεται fundamental matrix.

Οι συντεταγμένες στις παραπάνω εκφράσεις δίνονται ως προς το καθολικό σύστημα συντεταγμένων. Η σύνδεση αυτών των συντεταγμένων με τις συντεταγμένες του επιπέδου ειδώλου δίνονται από την έκφραση που είδαμε πιο πάνω $q = Mp$, όπου M ο πίνακας εσωτερικών παραμέτρων της κάμερας. Αντικαθιστώντας στην έκφραση (1) έχουμε $q^T (M^{-1})^T E M^{-1} q = 0$. Η έκφραση $F = (M_r^{-1})^T E M_l^{-1}$ και για την οποία ισχύει πλέον $q_r^T F q_l = 0$ ονομάζεται Essential Matrix.

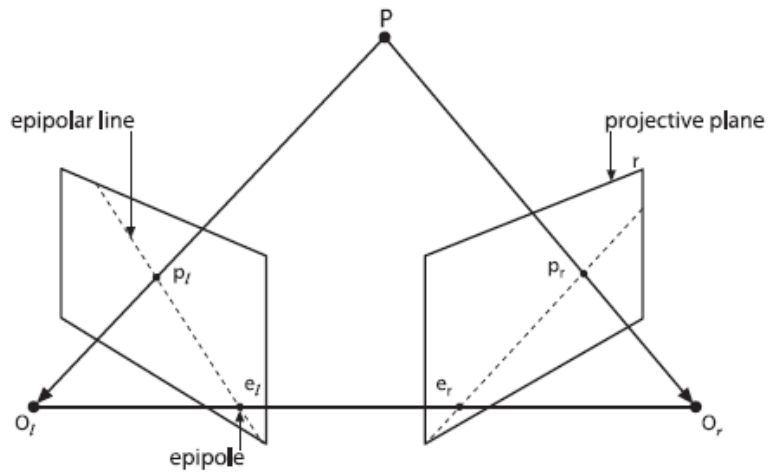
Ο Essential Matrix, που μας επιτρέπει να συσχετίζουμε τις συντεταγμένες των δύο επιπέδων σχηματισμού των ειδώλων με την πραγματική θέση ενός σημείου στο χώρο, εξαρτάται από τους πίνακες στροφής και μεταφοράς των προβολικών επιπέδων των καμερών. Το πρόβλημα λοιπόν της βαθμονόμησης του χώρου ανάγεται στο πρόβλημα προσδιορισμού αυτών των πινάκων στροφής και μεταφοράς.

Από το σχήμα 34 προκύπτει ότι

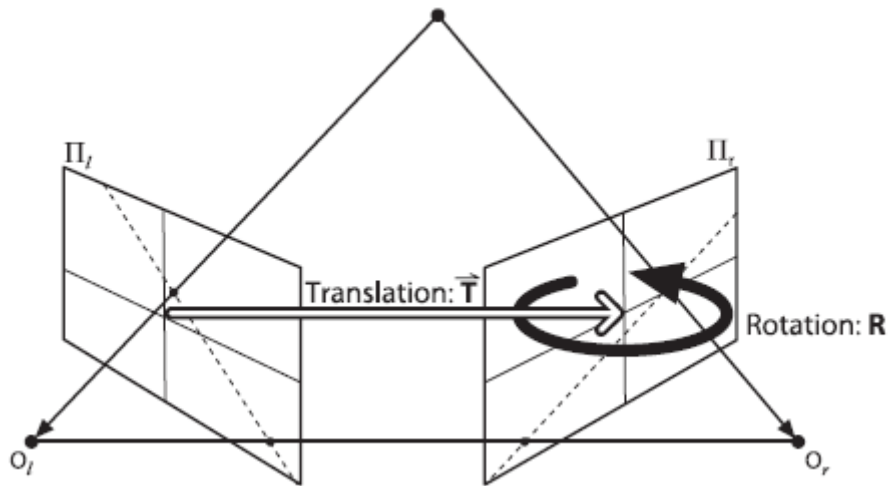
$$\begin{aligned} R &= R_r (R_l)^T \\ T &= T_r - R T_l \end{aligned} \quad (2)$$

Στη διαδικασία του stereo calibration ένα επίπεδο παρατηρείται για ένα μεγάλο πλήθος προσανατολισμών. Για κάθε έναν από αυτούς τους προσανατολισμούς ακολουθούνται τα ακόλουθα βήματα:

1. Υπολογισμός των εσωτερικών και εξωτερικών παραμέτρων (R_l, R_r, T_l, T_r) των δύο σημείων παρατήρησης με χρήση των μεθοδολογιών που περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα Camera Calibration.
2. Υπολογισμός ενός πίνακα μετασχηματισμών για μεταφορά σε κοινό συστήματα συντεταγμένων των δύο διαφορετικών συστημάτων παρατήρησης με βάση την έκφραση 2.
3. Επειδή κάθε προσανατολισμός δίνει λύσεις με ελαφρά απόκλιση ή μια από την άλλη, ο μέσος όρος όλων των λύσεων τροφοδοτεί ως αρχική εκτίμηση μια ισχυρή διαδικασία ελαχιστοποίησης, όπως του Levenberg-Marquardt, για την ανεύρεση της πραγματικής λύσης.

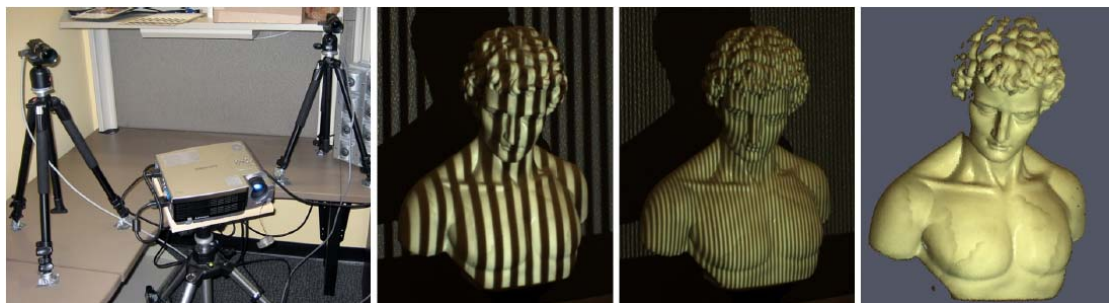


Σχήμα 33 Epipolar Plane (O_l, O_r, P)



Σχήμα 34

Από την παραπάνω τεκμηρίωση είναι εμφανές ότι με τη χρήση δύο καμερών και κατόπιν της διαδικασίας της βαθμονόμησης (stereo calibration) είναι δυνατόν να έχουμε πραγματικές τρισδιάστατες χωρικές μετρήσεις. Σε πολλές περιπτώσεις με την προσθήκη μιας συσκευής προβολής, η οποία φωτίζει με γνωστά σχήματα το χώρο παρατήρησης (Structured Lighting), είναι δυνατόν να κατασκευαστεί ένας οπτικός τρισδιάστατος σαρωτής με μετρητική ακρίβεια κάτω του 1mm.



Σχήμα 35

Kinect

Το Νοέμβριο του 2010 η εταιρεία Microsoft παρουσίασε μια συσκευή βασισμένη στην παραπάνω λογική της τρισδιάστατης σάρωσης με χρήση δομημένου φωτισμού (structured lighting 3d scanning) με την ονομασία Kinect.



Σχήμα 36

Λήψη με χρήση φορητής κάμερα σε λειτουργία νυκτερινής λήψης (night shot) του δομημένου φωτισμού από συσκευή Kinect.

Η συσκευή αυτή αποτελείται από ένα υπέρυθρο laser το οποίο με τη χρήση ενός Holographic diffraction grating φωτίζει δομημένα το χώρο, ενώ μια υπέρυθρη κάμερα που είναι ενσωματωμένη στη συσκευή μετατρέπει αυτόν το δομημένο φωτισμό σε εικόνα βάθους. Περιέχει μία ακόμη τυπική έγχρωμη κάμερα, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εικονογράφηση του χώρου (texturing).



Σχήμα 37

Τρισδιάστατη ανακατασκευή από έγχρωμη φωτογραφία και φωτογραφία βάθους με φίλτρο για την απομόνωση του αντικείμενου ενδιαφέροντος και χρήση surfels

Σκοπός του προγράμματος ήταν η αντικειμενική καταγραφή των θέσεων των μελών του ανθρωπίνου σώματος στο χώρο με χρήση του Kinect. Η αρχική προσέγγιση ήταν να χρησιμοποιηθεί το Kinect ως τρισδιάστατος σαρωτής, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, και ο χειριστής του προγράμματος να εξήγαγε τις απαραίτητες για αυτόν πληροφορίες (γωνίες, προσανατολισμούς, διαστάσεις κ.τ.λ), επιλέγοντας τα σημεία ενδιαφέροντος στην τρισδιάστατη σάρωση. Παρότι η ακρίβεια της τρισδιάστατης σάρωσης είναι ικανοποιητική (<2mm), η αυτοματοποίηση της

διαδικασίας θα απαιτούσε τη χρήση ειδικών σημείων αναφοράς (marking points) στο υπό παρατήρηση υποκείμενο.

Το Kinect ανήκει σε μια νέα γενιά συσκευών που ονομάζονται συσκευές φυσικής διεπαφής με το χρήστη (Natural user interface).

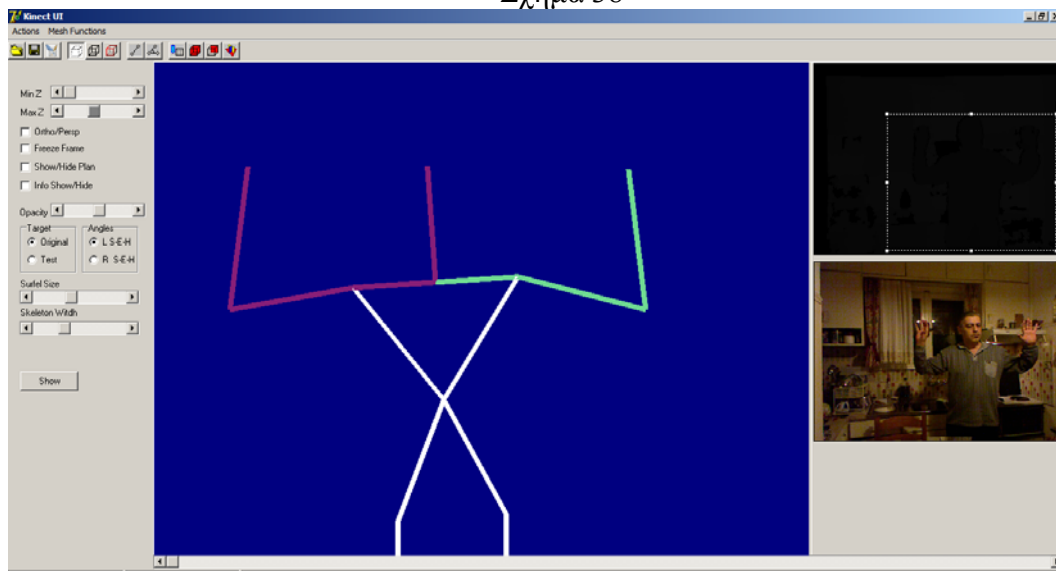
Τον Δεκέμβριο του 2010 η εταιρεία Primesense, πάνω στην έρευνα της οποίας στηρίχθηκε η Microsoft για την ανάπτυξη του kinect, έδωσε στο κοινό οδηγούς, οι οποίοι ήταν ικανοί για ανίχνευση κίνησης σώματος (Body Motion Tracking).

Μετά την αξιολόγηση για την γωνιακή ακρίβεια των μετρήσεων (στατιστική διακύμανση 0.3 - 1 μοίρα ανάλογα με την απόσταση και τη θέση παρατήρησης, η οποία είναι δυνατόν να μειωθεί με τη χρήση πολλαπλών kinect συσκευών σε διαφορετικές θέσεις παρατήρησης) η κατασκευή του προγράμματος έγινε με χρήση των αλγοριθμικών διαδικασιών που προσφέρονται από τους οδηγούς OpenNI (Open Natural Interface) της Primesense [40].

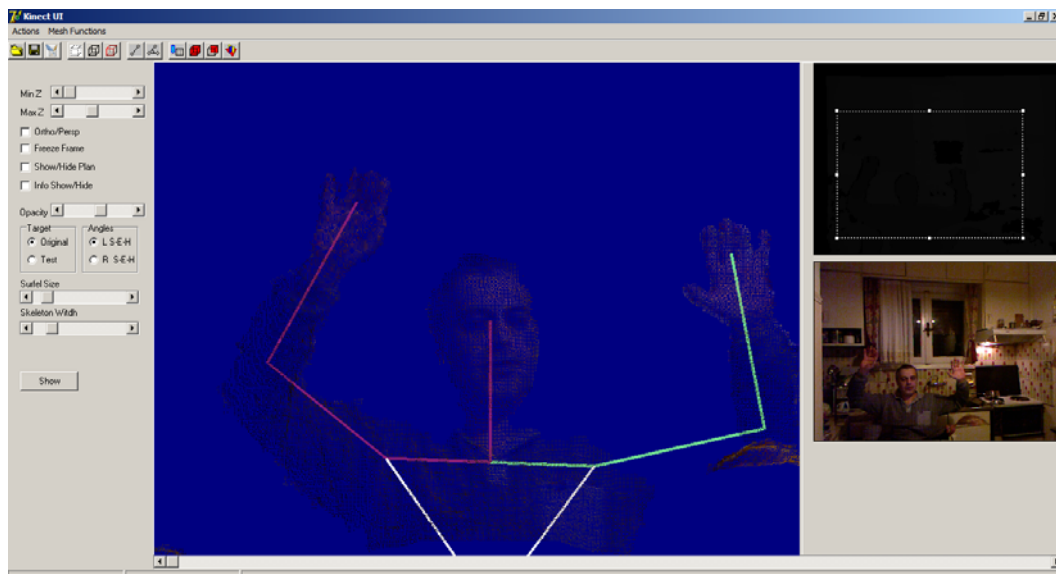
Περιγραφή της λειτουργίας του προγράμματος



Σχήμα 38



Σχήμα 39



Σχήμα 40

Το πρόγραμμα έχει την ικανότητα να παρακολουθεί συνολικά 15 χαρακτηριστικά σημεία του σώματος σε πραγματικό χρόνο.

Μια τυπική χρήση του προγράμματος είναι η μέτρηση γωνιακών θέσεων των μελών του ανθρωπίνου σώματος στο χώρο.

Με βάση αυτή την ικανότητα του προγράμματος, είναι δυνατόν να κατασκευαστεί μία σειρά πειραματικών διαδικασιών, συμβατές με τη γενική μεθοδολογία που έχουμε ορίσει και περιγράφει πιο πάνω.

Μια άλλη πιθανή μετρητική διαδικασία θα μπορούσε να είναι και η ακόλουθη: Δείχνοντας στον εξεταζόμενο ένα κυκλικό αντικείμενο του ζητάμε με την κίνηση της δεξιάς ή αριστερής παλάμης του να διαγράψει στο χώρο μια κυκλική τροχιά με διαστάσεις παρόμοιες με αυτές ενός αντικειμένου που του επιδεικνύουμε.

Στη συνέχεια μπορούμε να κάνουμε μια αντικειμενική σύγκριση μεταξύ των διαστάσεων του αντικειμένου που επιδείξαμε έναντι της τροχιάς που διέγραψε ο εξεταζόμενος με την παλάμη του στο χώρο.

Αποτελέσματα τυπικής εφαρμογής του προγράμματος για μέτρηση γωνιακών θέσεων των άνω άκρων εμφανίζονται στην ενότητα αποτελέσματα.

Exploiting commercial devices

Πέρα από την οπτική και ακουστική αίσθηση που θέλαμε να αντικειμενοποιήσουμε, μετρητικά υπάρχουν και άλλα αισθητηριακά μεγέθη. Υπάρχει για παράδειγμα η αντίληψη της αίσθησης:

της πίεσης,
της δόνησης ή
της θερμοκρασίας.

Για την πίεση και τη δόνηση υπάρχουν εύκολα προσβάσιμες συσκευές που θα μπορούσαν να μετατραπούν και με μικρές παρεμβάσεις να γίνουν συμβατές με τη μετρητική μεθοδολογία που ορίσαμε.

Για παράδειγμα, μια τυπική συσκευή μέτρησης αρτηριακής πίεσης περιλαμβάνει όλα τα μηχανικά μέρη και τους απαραίτητους αισθητήρες, (μια μικρο-αντλία, ένα relay και έναν mems αισθητήρα πίεσης) ώστε με μια αλλαγή των ηλεκτρονικών ελεγκτών της (control electronics) θα μπορούσε να αλλάξει ουσιαστικά τη χρήση της και να την κάνει συμβατή με τη μετρητική μας μεθοδολογία.

Ένα θερμοηλεκτρικό στοιχείο Peltier, που είναι κοινόχρηστο στην ψύξη των επεξεργαστών σε προσωπικούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές, θα μπορούσε με τη χρήση της τεχνικής PWM να χρησιμοποιηθεί στη μετρική μας διαδικασία για την αντίληψη και του ψύχους αλλά και της ζέστης.

Ένα χειριστήριο μιας παιχνιδιομηχανής ή ένα κινητό τηλέφωνο που δημιουργεί την αίσθηση της δόνησης (vibrator) περιέχει μοτέρ με ενσωματωμένα ασύμμετρα στοιχεία βάρους. Με τα κατάλληλα ηλεκτρονικά ελέγχου ή, στην περίπτωση των κινητών τηλεφώνων, μόνο με χρήση λογισμικού θα μπορούσαν εύκολα να μετατραπούν σε μετρητικές συσκευές.

Η προσπάθεια κατασκευής τέτοιων διατάξεων με οδήγησε στην κατασκευή μιας διαφορετικής σε σχέση με τον αρχικό στόχο συσκευής, ωστόσο και από πολλές απόψεις παρόμοια (Mössbauer data acquisition device).

Παρουσίαση μιας τυπική εφαρμογής της συσκευής αυτής στην φυσιολογία θα γίνει στη συνέχεια.

Η σύγχρονη διαγνωστική ιατρική εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από αντικειμενικές μετρητικές συσκευές όπως π.χ PETs, CTs, NMRs.

Οι παραπάνω συσκευές, που ξεκίνησαν ως φυσικές πειραματικές διατάξεις μέτρησης ατομικών ή υποατομικών φαινομένων πριν από τα μέσα του προηγούμενου αιώνα, βρήκαν πολύ αργότερα εφαρμογή ως απεικονιστικές διαγνωστικές μεθοδολογίες.

Ένα πυρηνικό φαινόμενο υψηλής ακρίβειας ικανό να αποκαλύπτει φυσικοχημικές πληροφορίες για μεγάλο εύρος χημικών στοιχείων, που όμως μέχρι σήμερα δεν έχει βρει άμεση χρήση στην απεικονιστική ιατρική όπως οι παραπάνω συσκευές, είναι το Mössbauer effect.

Κατά την πορεία της έρευνας, η αναζήτηση υλοποίησης της φασματοσκοπίας Mössbauer για ιατρική εφαρμογή με οδήγησε στην κατασκευή μιας ηλεκτρονικής

διάταξης ικανής για συλλογή φασμάτων Mössbauer. Παράλληλα, η ανάγκη ερμηνείας από πρώτες αρχές (ab initio) των φασμάτων αυτών επέβαλε τη δημιουργία κατάλληλου λογισμικού, οι δυνατότητες του οποίου θα περιγραφούν αναλυτικά στη συνέχεια.

Το λογισμικό που υλοποιήθηκε αλλά και η ηλεκτρονική διάταξη είναι μία καινοτόμος λύση που θα προσφέρει σημαντικά στην ενσωμάτωση του Mössbauer effect στην εξέλιξη της απεικονιστικής ιατρικής.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για το ρόλο του σιδήρου που είναι κρίσιμος όχι μόνο στην ανθρώπινη βιοχημεία αλλά στο σύνολο των έμβιων οργανισμών, μπορούμε να συλλέγουμε πειραματικά δεδομένα με την παραπάνω ηλεκτρονική διάταξη και να αντλούμε πολύτιμες πληροφορίες από την ερμηνεία των δεδομένων με χρήση του λογισμικού επίλυσης φασμάτων Mössbauer που κατασκεύασα.

Mössbauer card [41]

Το Mössbauer effect είναι συνώνυμο της συντονισμένης εκπομπής και απορρόφησης χωρίς ανάδραση ενός φωτονίου από τον πυρήνα ενός ατόμου (recoilless resonant absorption). Ο πυρήνας ενός ατόμου μπορεί να εκπέμψει ή να απορροφήσει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ιδιαίτερα μεγάλης συχνότητας, γνωστή με την ονομασία ακτινοβολία- γ . Ένα φωτόνιο που εκπέμπεται από ένα διεγερμένο πυρήνα ατομικού αριθμού Z κατά τη φάση μετάβασης στη βασική του κατάσταση είναι δυνατόν να απορροφηθεί από έναν άλλο παρόμοιο πυρήνα με ίδιο ατομικό αριθμό. Η διαδικασία αυτή, όταν συμβεί, καλείται Mössbauer effect.

Η βασική αιτία που το φαινόμενο άργησε να παρατηρηθεί (ανακαλύφθηκε μόλις το 1958 από τον τότε μεταπτυχιακό φοιτητή Rudolf Mössbauer, ο οποίος έλαβε το Nobel φυσικής για αυτή του την ανακάλυψη το 1961) οφείλεται στο ότι κατά τη διαδικασία εκπομπής η ενέργεια ενός φωτονίου παρουσιάζει μια φυσική διαπλάτυνση, της οποίας η τάξη μεγέθους προσδιορίζεται από την αρχή απροσδιοριστίας του Heisenberg. Μια τάξη μεγέθους αυτής της φυσικής διαπλάτυνσης είναι 10^{-9} eV. Παράλληλα το γενικό φαινόμενο εκπομπής ενός φωτονίου από τον πυρήνα ενός ατόμου είναι παρόμοιο με εκείνο της ανάκρουσης ενός όπλου κατά τη διαδικασία του πυροβολισμού. Μάλιστα, επειδή και τα δύο δεν είναι παρά εκφράσεις του νόμου διατήρησης της ορμής, οδηγούν στο ίδιο μαθηματικό αποτέλεσμα για την ενέργεια ανάκρουσης, $E_R = \frac{E_0^2}{2Mc^2}$ όπου E_0 [42] η ενέργεια εκπομπής που αντιστοιχεί στη διαφορά των πυρηνικών ενεργειακών σταθμών, που είναι της τάξης των 10^4 - 10^5 eV και M η μάζα του πυρήνα.

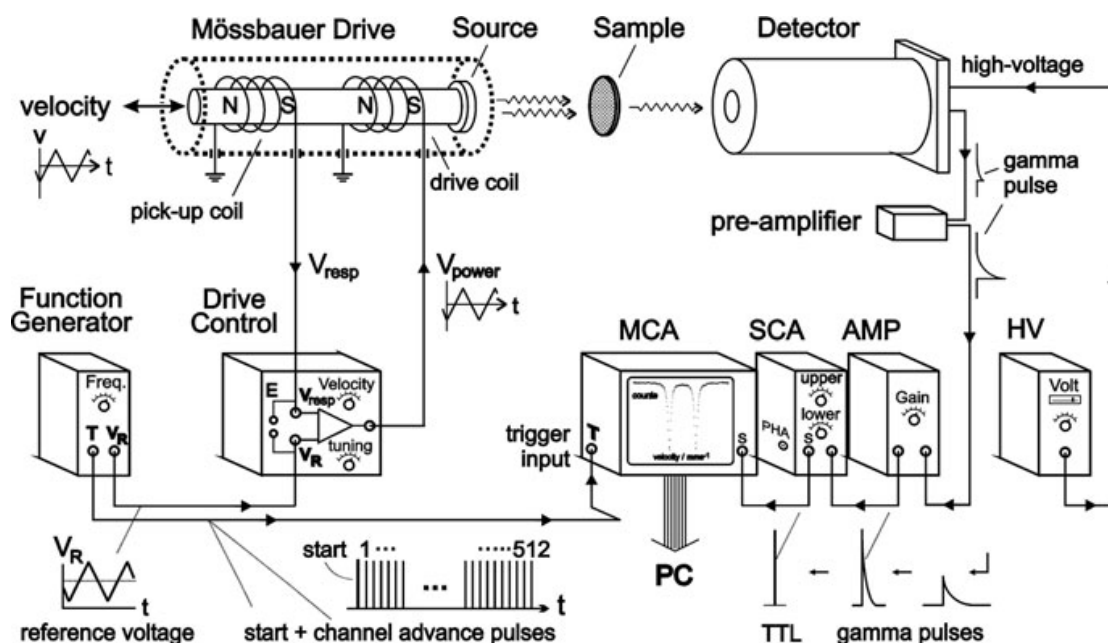
Ένα τυπικό μέγεθος της ενέργειας ανάκρουσης ενός πυρήνα που εκπέμπει ένα φωτόνιο είναι της τάξης των 10^{-3} eV, με άλλα λόγια ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη φυσική διαπλάτυνση.

Όπως είναι εμφανές από τον τύπο που περιγράφει την ενέργεια ανάκρουσης του εκπεμπόμενου φωτονίου $E_R = \frac{E_0^2}{2Mc^2}$, αυτή μπορεί να μειωθεί δραματικά εάν ο συντελεστής M δεν αντιπροσώπευε τη μάζα ενός πυρήνα μόνο, αλλά όλων μαζί που βρίσκονται στην ίδια κρυσταλλική δομή του υλικού. Ο πολλαπλασιαστικός συντελεστής είναι κολοσσιαίος απλώς και μόνο αν γνωρίζουμε την τάξη μεγέθους το αριθμού Avogadro. Αυτό όμως δε συμβαίνει σε όλα τα υλικά, υγρά ή αέρια, παρά μόνο στα στερεά, όπου οι δεσμοί μεταξύ των ατόμων είναι σχετικά ισχυροί. Επιπλέον στα στερεά υλικά εκτός από την παραπάνω κλασική αντίληψη της ανάκρουσης, όπως την αντιλαμβανόμαστε από την καθημερινή μας εμπειρία και αφορά το σύνολο του στερεού, υπάρχει και μία άλλη διαδικασία με την οποία μπορούν να ανακρουστούν τα άτομα κατά την πυρηνική εκπομπή ή απορρόφηση ακτινοβολίας γ . Αυτή είναι η δημιουργία κβαντισμένων αρμονικών ταλαντώσεων των κρυσταλλικών ατομικών πλεγμάτων των στερεών που αποκαλούνται φωνόνια [42]. Για μερικούς όμως πυρήνες, λόγω της σχέσης της μάζας τους M ως προς την ενέργεια εκπομπής της ακτινοβολίας γ , αλλά και λόγω της κβαντικής φύσης των ενεργειών των φωνονίων, προκύπτει μία μεγάλη πιθανότητα η διαδικασία αυτή να συμβεί χωρίς την παραγωγή φωνονίου (μηδενική παραγωγή φωνονίου). Η πιθανότητα αυτή μάλιστα αυξάνει με τη μείωση της θερμοκρασίας των στερεών. Στην περίπτωση αυτή και μόνο η ενέργεια ανάκρουσης E_R είναι πολύ μικρότερη της φυσικής διαπλάτυνσης και το φαινόμενο είναι παρατηρήσιμο. Ο νεαρός φυσικός Mössbauer, αντίθετα με τη γενική αντίληψη της εποχής που επιχειρούσε να παρατηρήσει το φαινόμενο του πυρηνικού συντονισμού με αύξηση της θερμοκρασίας ώστε η φυσική διαπλάτυνση 10^{-9} να έρθει κοντά στο επιθυμητό μέγεθος 10^{-3} eV, χρησιμοποίησε μείωση της θερμοκρασίας και

προς έκπληξη όλων το φαινόμενο παρατηρήθηκε. Με την ανακάλυψη του φαινομένου ότι σε πολλές περιπτώσεις η ίδια η κρυσταλλική δομή μπορεί να ακυρώσει το φαινόμενο της ανάδρασης μας έδωσε το εργαλείο για μία φασματοσκοπική μέθοδο εξαιρετικής διακριτικής ικανότητας.

Πειραματική διάταξη

Μια τυπική πειραματική διάταξη για χρήση σε φασματοσκοπία Mössbauer εμφανίζεται στο ακόλουθο σχήμα (41). [42]



Σχήμα 41

Αποτελείται από μια γραμμική συσκευή κίνησης στην οποία είναι προσαρμοσμένη μια ραδιενεργή πηγή και σε μικρή απόσταση από αυτή τοποθετείται το δείγμα που περιέχει πυρήνες οι οποίοι μπορούν να απορροφήσουν την ενέργεια των φωτονίων που εκπέμπει η ραδιενεργή πηγή, ενώ σε λίγο μεγαλύτερη απόσταση τοποθετείται ένας ανιχνευτής ακτινοβολίας ο οποίος περιέχει έναν φωτοπολλαπλασιαστή για την ανίχνευση των φωτονίων που έχουν διέλθει από το δείγμα.

Παρόμοιες είναι και οι διατάξεις ανάκλασης (Backscattering).

Τα τυπικά ηλεκτρονικά αυτής της διάταξης περιλαμβάνουν:

1. Μια γεννήτρια συχνοτήτων για την οδήγηση της κίνησης της πηγής.
2. Μια συσκευή παραγωγής υψηλού δυναμικού για τη λειτουργία του φωτοπολλαπλασιαστή στον ανιχνευτή ακτινοβολίας.
3. Έναν ενισχυτή που ενισχύει το διαμορφωμένο σήμα από τον ανιχνευτή ακτινοβολίας και το οδηγεί σε μία ψηφιακή συσκευή (4) η οποία είναι ικανή:
4. Α. Να ταξινομεί το πλήθος των παλμών (γεγονότων-counts) ανάλογα με το ύψος τους (Pulse High Analyzer-PHA), δηλαδή ανάλογα με την ενέργεια των ανιχνευμένων φωτονίων στα οποία αντιστοιχούν. Ο PHA έχει τη δυνατότητα επιλογής γεγονότων μέσα σε συγκεκριμένα όρια (εύρος) ύψους παλμών (άρα και ενέργειας φωτονίων) που καθορίζονται με έναν διαχωριστή παλμών (discriminator).

Β Να ταξινομεί το πλήθος των παλμών ανάλογα με το χρονικό σημείο της ανίχνευσής τους (Multi Channel Scaling-MCS), το οποίο καθορίζεται από ένα ηλεκτρονικό σήμα αναφοράς της αρχής της χρονομέτρησης.

Τα δεδομένα αυτής της ψηφιακής συσκευής οδηγούνται στη συνέχεια σε ένα προσωπικό υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία.

Το κίνητρο που μας οδήγησε στην ανάπτυξη της δική μας ψηφιακής συσκευής για χρήση σε φασματοσκοπία Mössbauer είναι το ότι δεν υπάρχει άμεσα διαθέσιμη μία φορητή μονάδα ανάλογη του MIMOS [42], ενώ η ηλεκτρονική ψηφιακή τεχνολογία έχει τέτοια σημαντική πρόοδο τις τελευταίες δεκαετίες, ώστε διατάξεις όπως μια FPGA ή ένας microcontroller αποτελούν κοινό τόπο, είναι εύκολα διαθέσιμες και καθιστούν την υλοποίησή της εφικτή.

Εισαγωγή στην ψηφιακή Λογική

Όταν αναφερόμαστε στην ψηφιακή λογική αυτό το οποίο εννοούμε είναι η υλοποίηση των κανόνων της λογικής στο πλέον στοιχειώδες αριθμητικό σύστημα, το δυαδικό. Το δυαδικό αριθμητικό σύστημα δεν είναι προαπαιτούμενο, είναι απλώς η πιο διαδεδομένη και κοινόχρηστη μέθοδος υλοποίησης. Ούτε ο ηλεκτρισμός είναι ο μοναδικός που μπορεί να υλοποιήσει την ψηφιακή λογική. Πολύ πριν την ανακάλυψη των ηλεκτρικών φαινομένων ο άνθρωπος είχε κατασκευάσει καθαρά μηχανικές συσκευές που υλοποιούσαν την ψηφιακή λογική. Τα υδραυλικά συστήματα επίσης είναι κατάλληλα να υλοποιήσουν την ψηφιακή λογική. Στο σχετικά πρόσφατο παρελθόν (1960), ενώ ήδη είχε συντελεστεί η ανακάλυψη του ηλεκτρονικού ολοκληρωμένου κυκλώματος, εμφανίζονταν στον επιστημονικό τύπο της εποχής δημοσιεύσεις που αμφισβητούσαν την κυριαρχία των ηλεκτρονικών στην υλοποίηση της ψηφιακής λογικής. Στις μέρες μας αυτή μάλιστα η τεχνική που ονομάζεται microfluidics είναι ιδιαίτερα ενεργή ερευνητικά.

Fluid "Transistor" Circuits May Rival Electronics

Here's the complete story on amplifiers that use liquids or gases instead of electricity. They may soon control such things as dishwashers, power tools and computers

By S. DAVID PURSGLOVE

I NSTEAD of vacuum tubes and transistors, the basic units of tomorrow's automatic appliances and automated industries might well be small blocks of metal, plastic or ceramics with tiny passageways in them.

Development of the blocks—pure fluid amplifiers—was announced recently by the Army's Diamond Ordnance Fuze Lab., Washington, D. C.

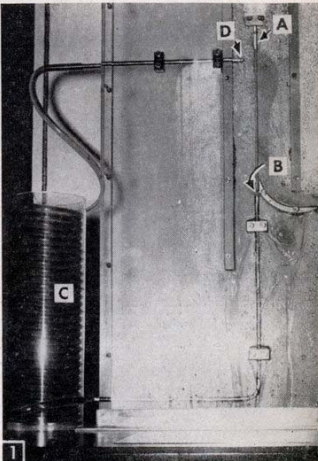
Their inventors believe the blocks are the basis for an entirely new industry which could rival electronics within 10 years. Pure fluid amplifier (PFA) circuits can be used to do almost anything electronic circuits can do: Amplify, compute, reason, remember, control and direct.

They can control power tools, computers, chemical processes, home dishwashers, windshield wipers, speedboat hydrofoils and all kinds of motors and engines.

Besides their uses in industry—where they can simplify machines and processes and eliminate many moving parts—PFA's will also be important to home experimenters.

Almost everything that has been done so far in the Army laboratory can be done in the home workshop. Tool and model makers at Diamond Ordnance Fuze Laboratory have made basic pneumatic control units from paraffin, modeling clay, soap and wood to allow experimentation and modification before making the same units from more permanent materials.

How PFA Works. Basically, pure fluid amplification is the control of a high powered



2 This simple device—nothing more than some tubing connected to a water supply—is an oscillator that uses water instead of electricity. (A) is control stream opening; (B) is feedback collector; (C) is feedback coil; (D) is control jet. Operation of oscillator is explained on p. 82.

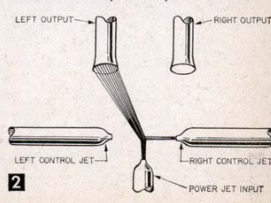


Diagram shows deflection of a power stream by a control stream—a basic amplification function. Without control jet, power stream would merely shoot between outputs. Use of left jet would send it into right output.

JUNE, 1960 81

Το πραγματικό σημείο κυριαρχίας των ηλεκτρονικών διατάξεων για το σχεδιασμό των λογικών κυκλωμάτων είναι η ευκολία δημιουργίας υψηλών συχνοτήτων σταθερού εύρους (Phase Locked Loops) και η οποία σε συνδυασμό με το εξαιρετικά μικρό μέγεθος μιας NP επαφής οδηγεί στην εξαιρετικά υψηλή ταχύτητα λειτουργίας τους.

Το να κατασκευάσουμε μια υψηλή ηλεκτρομαγνητική συχνότητα είναι εξαιρετικά εύκολο. Αυτό που είναι δύσκολο είναι η μονοχρωματικότητα της συχνότητας. Για παράδειγμα το να δημιουργήσουμε μια εξαιρετικά υψηλή ηλεκτρομαγνητική συχνότητα φτάνει να πατήσουμε ένα διακόπτη φωτισμού. Το να κάνουμε όμως το μονοχρωματικό φως, όπως εκείνο ενός laser pointer, είναι μια άλλη ιστορία. Το ίδιο συμβαίνει και με τις χαμηλότερες συχνότητες έως το εύρος των μικροκυμάτων. Αρκεί ένα πηνίο και ένας πυκνωτής για να γεννήσει μια συχνότητα, αλλά αυτή δεν είναι αρκετά μονοχρωματική. Ένας πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος είναι πιο μονοχρωματικός από τη διάταξη πυκνωτή-πηνίου αλλά ούτε και αυτός είναι τόσο μονοχρωματικός ώστε να μπορεί να εξυπηρετήσει την ακρίβεια των υψηλής ταχύτητας ηλεκτρονικών που έχουν ενσωματωθεί στην καθημερινότητά μας. Το κρίσιμο αυτό κομμάτι είναι το PLL. Είναι ο **πυρήνας** του προβλήματος των επονομαζόμενων High Speed Electronics.

Είναι εξαιρετικά συνηθισμένο στις μέρες μας να μιλάμε για 10 GB κάρτες δικτύου ή 4 GHz επεξεργαστές. Για να αντιληφτούμε το μέγεθος αυτό ας το συγκρίνουμε με την απόλυτη ταχύτητα στο σύμπαν την ταχύτητα του φωτός. Το χρονικό διάστημα που ολοκληρώνεται ένας κύκλος με συχνότητα 10GHz είναι 0.1 ns. Ένα φωτόνιο που ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός $3 \cdot 10^8$ m/sec έχει διανύσει μόλις $3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-10}$ m = $3 \cdot 10^{-2}$ m = 3 cm. Η πρώτη πειραματική διάταξη που μέτρησε την ταχύτητα του φωτός περιλάμβανε καθρέπτες που χωρίζονταν από απόσταση πολλών χιλιομέτρων. Αντίθετα, σήμερα η μέτρηση της ταχύτητας του φωτός θα μπορούσε να γίνει μέσα στις διαστάσεις μιας σχολικής αίθουσας με ένα laser pointer και μια FPGA του 1GHz τοποθετώντας έναν καθρέπτη και μια φωτοδίοδο σε ευθεία απόσταση λίγο μεγαλύτερη των 30 εκατοστών ή με έναν microcontroller των 200MHz σε απόσταση λίγο μεγαλύτερη του 1.5 μέτρου. Στην πραγματικότητα υπάρχουν συσκευές που η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στη μέτρηση της ταχύτητας του φωτός (time of flight TOF) ώστε να προσδιορίσουν με λιγότερο από ένα mm τη θέση ενός αντικειμένου στο χώρο (Range Finders και 3D Scanners βασισμένα στην αρχή time of flight).

Η πορεία εξέλιξης των ηλεκτρονικών από τις θερμοιονικές συσκευές (λυχνίες) στους ημιαγωγούς οδήγησε και την αντικατάσταση των διακριτών κυκλωμάτων από τα ολοκληρωμένα. Η όλο και αυξανόμενη χωρητικότητα των βασικών δομικών στοιχείων (τρανζίστορ) ανά μονάδα εμβαδού στα ολοκληρωμένα στοιχεία, οδήγησε στο πλήρες virtualization του επονομαζόμενου hardware μέσω αρχικά των CPLD (Complex Programmable Logic Devices) και στην συνέχεια των FPGA (field-programmable gate array).

Digital Electronics

Η γενιά 7400 TTL ήταν μία σειρά ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που περιλάμβαναν βασικά λογικά δομικά στοιχεία όπως πύλες NAND, XOR, AND, NOT, binary counters, decade counters, flip-flops κ.τ.λ και ο σχεδιαστής έπρεπε με φυσικό τρόπο να ενώσει αυτές τις διατάξεις μεταξύ τους, ώστε τελικά να έχει ένα σύνθετο λογικό αποτέλεσμα ή να κατασκευάσει μια υπολογιστική μηχανή.

Τα CPLD είναι ουσιαστικά κυκλώματα που περιέχουν μερικές εκατοντάδες ολοκληρωμένα γενιάς 7400 και τα οποία καλούνται δομικές μονάδες. Αυτές οι δομικές μονάδες είναι δυνατόν να διασυνδεθούν ηλεκτρικά μεταξύ τους μέσω προγραμματισμού και όχι με τη φυσική συγκόλληση τους. Μια CPLD είναι δυνατόν να επαναπρογραμματιστεί ώστε να εκτελεί διαφορετικές λειτουργίες κάθε φορά.

Μια FPGA είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα παρόμοιο με μία CPLD μόνο που τα δομικά στοιχεία αυτή τη φορά είναι εκατοντάδες χιλιάδες ή και εκατομμύρια ενώ προσφέρει και δομικά στοιχεία πέραν των λογικών κυκλωμάτων 7400 όπως για παράδειγμα μνήμη RAM και εσωτερική PLL. Ένα άλλο εξαιρετικά σημαντικό χαρακτηριστικό τους είναι η δυνατότητα παράλληλης επεξεργασίας.

Η γλώσσα προγραμματισμού τους είναι τυποποιημένη και γενικά ονομάζεται HDL (Hardware Description Language). Η πλέον διαδεδομένη HDL είναι η Verilog HDL (VHDL). [43]

Ένα τυπικό παράδειγμα μιας Finite State Machine σε Verilog είναι η ακόλουθη:

```
module fsm
(output reg out,
input in, clock, reset);
reg [1:0] currentState, nextState;
always @(in, currentState) begin // the combinational portion
out = ~currentState[1] & currentState[0];
nextState = 0;
if (currentState == 0)
if (in) nextState = 1;
if (currentState == 1)
if (in) nextState = 3;
if (currentState == 3) begin
if (in) nextState = 3;
else nextState = 1;
end
end
always @(posedge clock, negedge reset) begin // the sequential portion
if (~reset)
currentState <= 0;
else
currentState <= nextState;
end
endmodule
```

Όλα τα σύγχρονα ψηφιακά κυκλώματα (επεξεργαστές, κωδικοποιητές – αποκωδικοποιητές εικόνας ήχου, ελεγκτές σκληρών δίσκων κ.τ.λ.) σήμερα κατασκευάζονται στο στάδιο των δοκιμών μέσω FPGA. Η μετατροπή τους σε ASIC είναι διαδικασία ενός βήματος και ονομάζεται hardcopy. Η βασική αιτία για την ψηφιακή έκρηξη είναι οι FPGAs.

Ένας microcontroller (MC) είναι ένας πλήρης επεξεργαστής με τη συνήθη έννοια που δίνουμε στους επεξεργαστές. Περιέχει δηλαδή ALU, CU, και registers. Η κύρια

διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι τα περιεχόμενα ενός register μπορούν να αποτυπωθούν ως ηλεκτρικά σήματα στις ηλεκτρικές επαφές του MC και αυτές είναι δυνατόν να επαναπρογραμματίζονται κατά βούληση εάν θα αποτελούν εισόδους ή εξόδους.

Λόγω της συγγένειας των microcontroller με τους microprocessors μπορούμε να τους συναντήσουμε στις ίδιες αρχιτεκτονικές που συναντάμε στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Δηλαδή είτε την Von Neumann είτε την Harvard [44]. Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι στην αρχιτεκτονική Harvard, που είναι και η πιο διαδεδομένη, τα δεδομένα και οι εντολές βρίσκονται σε διαφορετικό φυσικό χώρο στη μνήμη ενός υπολογιστή. Αυτό δυσκολεύει γενικά την συγγραφή αυτοτροποποιούμενου κώδικα και μειώνει τη δυνατότητά μας για πλήρη αξιοποίηση της διαθέσιμης μνήμης. Εμείς επιλέξαμε, όπως θα δούμε στη συνέχεια, έναν microcontroller Von Neumann αρχιτεκτονικής για λόγους που θα γίνουν κατανοητοί στη συνέχεια.

Οι περισσότεροι Microcontrollers, λόγω της συγγενείας τους με τον κλασικό σχεδιασμό των μικροεπεξεργαστών, διαφέρουν σημαντικά από τις FPGA. Για παράδειγμα το εγγενές χαρακτηριστικό της παράλληλης επεξεργασίας των FPGA δεν συναντάται γενικά στους μικροεπεξεργαστές. Εκεί έχουμε στην πραγματικότητα σειριακή επεξεργασία και μια **ψευδο-παράλληλότητα** που επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης ιεραρχικών πινάκων προτεραιοτήτων που ονομάζονται interrupts. Στους περισσότερους δε από αυτούς δε συναντάμε την ενσωμάτωση βασικών δομικών στοιχείων μιας FPGA όπως η διαθεσιμότητα μνήμης RAM ή προγραμματιζόμενης PLL.

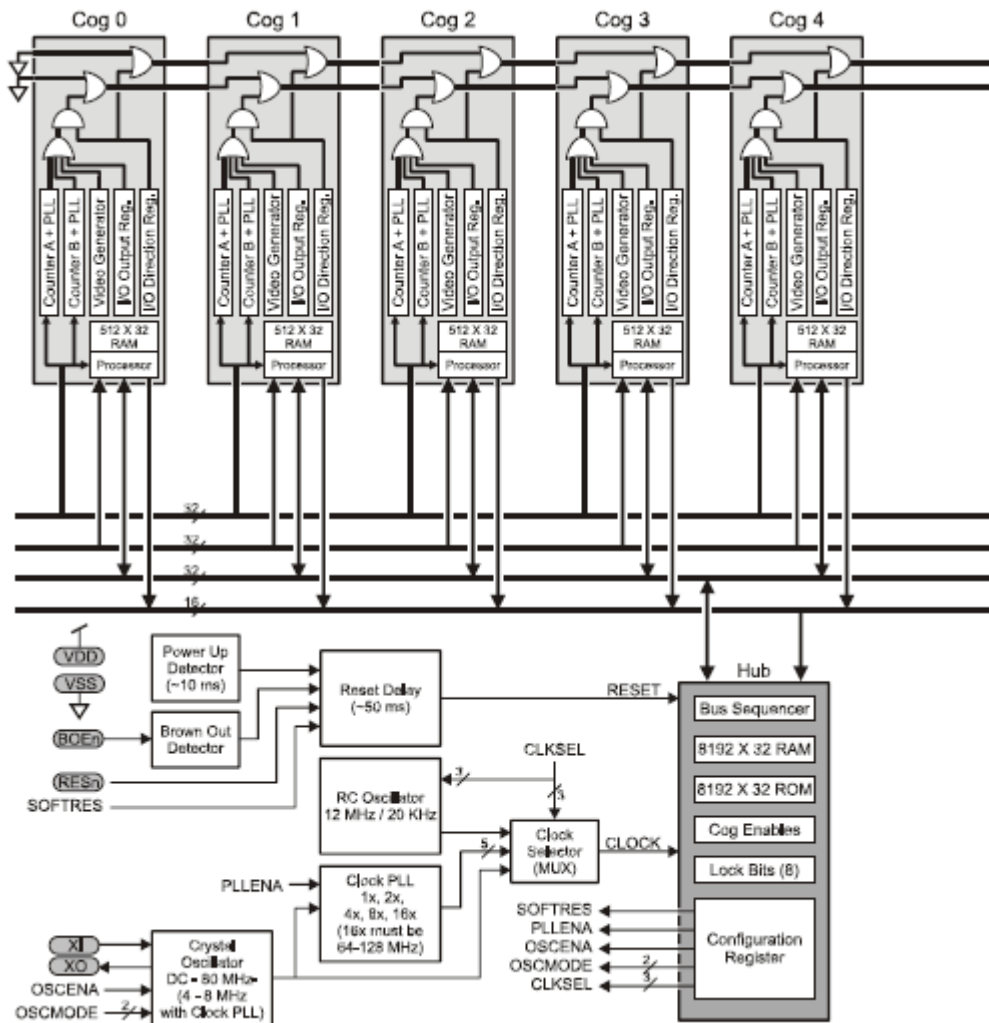
Υπάρχουν όμως Microcontrollers που καθιστούν δυσδιάκριτα τα όρια μεταξύ FPGA και MC. Δύο παραδείγματα τέτοιων MCU είναι ο XMOS και ο Propeller.

Ηλεκτρονική υλοποίηση

Propeller Architecture.

Ο Propeller Microcontroller σχεδιάστηκε αντίθετα με τη συνήθη πρακτική στο χώρο των ηλεκτρονικών υψηλής τεχνολογίας, όχι από μια ομάδα ανθρώπων μέσω μιας μεγάλης εταιρείας αλλά από έναν μόνο, τον Chip Gracey. Ο στόχος του ήταν να κατασκευάσει έναν MC που να διαφέρει σημαντικά από την κοινή πρακτική των εταιρειών και για τις οποίες μια MCU και μια FPGA είναι σαφώς δύο εντελώς διαφορετικές μηχανές. Πρώτα από όλα η Control Unit του Propeller είναι αρχιτεκτονικής Von Neumann. Αυτό σημαίνει ότι δεδομένα και εντολές βρίσκονται στον ίδιο χώρο μνήμης και είναι θέμα του προγραμματιστή να ερμηνεύσει έναν αριθμό σε μια θέση μνήμης εάν αποτελεί εντολή ή όχι. Δεύτερον, το μήκος των εντολών του propeller είναι σταθερό 32Bit. Έχει δηλαδή την ίδια δομή με εκείνη που συναντάμε σε αρχιτεκτονικές RISC (arm, mips κτλ) σε αντίθεση με την πιο διαδεδομένη τεχνική που συναντάμε στους επεξεργαστές γενιάς x86 που διαθέτουν μεταβλητό μήκος. Η τεχνική του σταθερού μήκους εντολών επιτρέπει το σχεδιασμό πολύ απλών μηχανισμών για την αποκωδικοποίηση των εντολών τόσο σε επίπεδο hardware όσο και σε επίπεδο software. Οποιοσδήποτε έχει ασχοληθεί με τη σχεδίαση ή ανάγνωση κώδικα εξομοιωτών (emulators) διάφορων CPU μπορεί να διακρίνει την πολυπλοκότητα στην υλοποίηση CPU αρχιτεκτονικής CISC έναντι εκείνων με RISC.

Τρίτον η κοινή πρακτική της χρήση Interrupt για την επεξεργασία ασύγχρονων γεγονότων έχει υποκατασταθεί από πραγματική παράλληλη επεξεργασία, όπως ακριβώς δηλαδή θα μας επέτρεπε μια FPGA. Ο Propeller διαθέτει 8 παράλληλους επεξεργαστικούς πυρήνες (cores) ο καθένας με τη δικιά του ALU, CU και εσωτερική μνήμη RAM που λόγω της Von Neumann αρχιτεκτονικής μπορεί να αποτελεί ταυτόχρονα και χώρο αποθήκευσης δεδομένων και κώδικα. Ο συγχρονισμός τους γίνεται με χρήση άριστα τεκμηριωμένων τεχνικών όπως των σηματοφορέων (Semaphores) και μεταβλητών αποκλειστικής χρήσης (Mutex – Mutual Exclusive). Διαθέτει κοινόχρηστη μνήμη RAM σημαντικού μεγέθους (32 Kbits) που απαντάται μόνο σε FPGA. Τέλος, κάθε πυρήνας διαθέτει τη δικιά του εσωτερική προγραμματιζόμενη PLL για την παραγωγή συχνοτήτων αρκετά μεγαλύτερων από το εσωτερικό ρολόι του (internal clock).

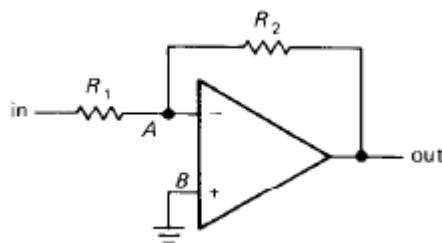


Operational Amplifiers (Τελεστικοί ενισχυτές)

Οι τελεστικοί ενισχυτές είναι ηλεκτρονικά κυκλώματα με δύο εισόδους και μια έξοδο τα οποία διέπονται από τους ακόλουθους κανόνες:

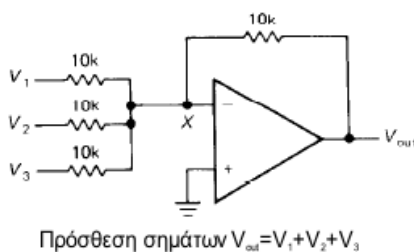
1. Η έξοδος θα κάνει οτιδήποτε είναι δυνατόν ώστε η διαφορά δυναμικού των δύο εισόδων του να είναι πάντα 0.
2. Παρουσιάζει άπειρη αντίσταση στις εισόδους του. [45]

Η τυπική συνδεσμολογία των εισόδων με τις εξόδους του είναι αυτή της ανάδρασης (feedback). Ο κανόνας 1 σημαίνει ότι η βασική ενέργεια ενός τελεστικού ενισχυτή είναι να παρατηρεί το δυναμικό των εισόδων του και να μεταβάλει το δυναμικό εξόδου του με τέτοιο τρόπο ώστε μέσω της συνδεσμολογίας ανάδρασης η διαφορά δυναμικών της εισόδου να τείνει προς το 0. Στην παρακάτω εικόνα εμφανίζεται τυπική συνδεσμολογία όπου η συνδεσμολογία ανάδρασης πραγματοποιείται μέσω της αντίστασης R_2

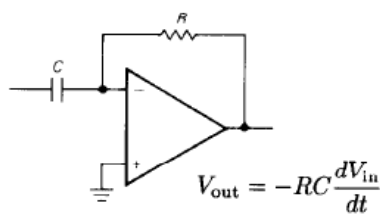
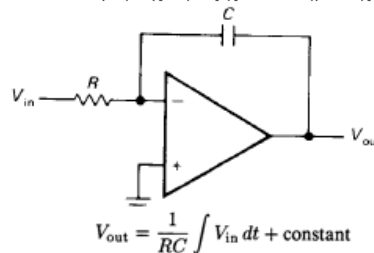


Σχήμα 42

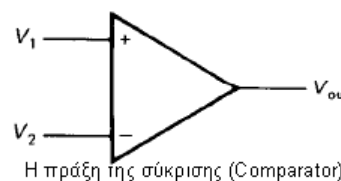
Ο λόγος για τον οποίο ονομάζονται τελεστικοί είναι ότι με διάφορες συνδεσμολογίες είναι δυνατόν να υλοποιούν ένα μεγάλο εύρος πράξεων στα σήματα εισόδων τους και το αποτέλεσμα το παρουσιάζουν στην έξοδό τους. Μπορούν να υλοποιήσουν για παράδειγμα τις απλές πράξεις της πρόσθεσης ή σύγκρισης αλλά και πιο πολύπλοκες όπως της ολοκλήρωσης και της διαφόρισης.



Υλοποίηση της πράξης ολοκλήρωσης



Η πράξη της διαφόρισης



Σχήμα 43

Μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (ADC).

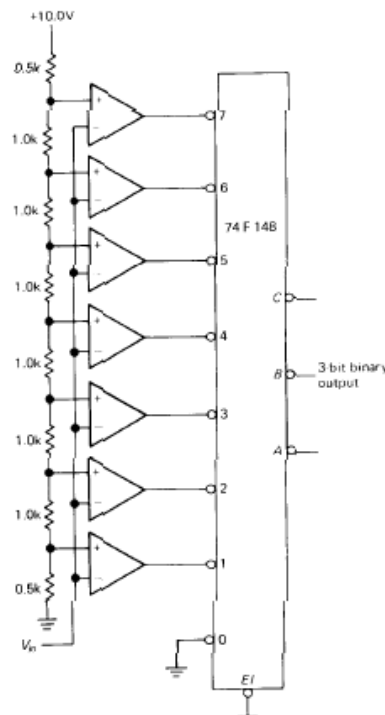
Με τον όρο ADC εννοούμε τη μετατροπή ενός αναλογικού σήματος σε μία σειρά χρονικά διατεταγμένων αριθμών που αντιπροσωπεύουν κάποιο χαρακτηριστικό του (συνήθως το ύψος της διαφοράς δυναμικού του σήματος) κατά τη στιγμή της δειγματοληψίας του.

Λογική Wilkinson

Σχεδιάστηκε από τον D.H. Wilkinson το 1950. Η λογική είναι η ακόλουθη. Ένας πυκνωτής φορτίζεται έως ότου το δυναμικό του είναι ίσο σε μέγεθος με εκείνο ενός εισερχόμενου παλμού. Η συνθήκη διαπιστώνεται με τη χρήση ενός συγκριτή (comparator). Στη συνέχεια ο πυκνωτής εκφορτίζεται πλήρως μέσω σταθερής αντίστασης. Το γεγονός αυτό επιτυγχάνεται μετά την πάροδο χρονικού διαστήματος $4RC$ όπως υποδηλώνεται από την εξίσωση εκφόρτισης και απεικονίζεται στο σχήμα 3 προηγούμενης ενότητας. Το ύψος του παλμού προσδιορίζεται πλήρως δεδομένου ότι $V_b = 4R^2C$. Η ακρίβεια της μέτρησης είναι ανάλογη της ακρίβειας της γεννήτριας συχνοτήτων που μετρά το χρόνο. Όσο μεγαλύτερη η συχνότητα τόσο μεγαλύτερος ο αριθμός bits της ψηφιακής αναπαράστασης. Για παράδειγμα, για σταθερά $4RC = 5\mu s$ και συχνότητα ρολογιού $100MHz$ έχουμε $5\mu s / 10ns = 500$ διακριτές τιμές κάτι λιγότερο δηλαδή από 9Bit.

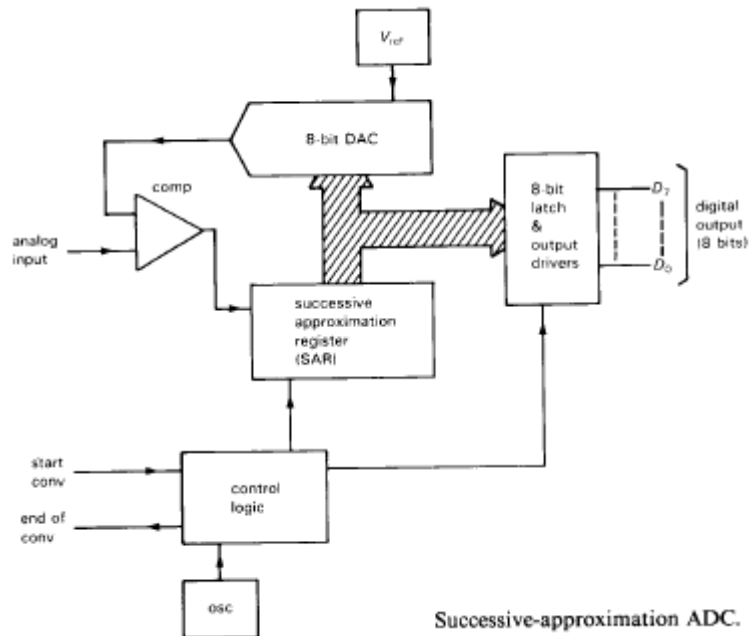
Λογική Flash ή Direct Conversion

Είναι μετατροπή στην οποία όλα τα bits της ψηφιακής αναπαράστασης προσδιορίζονται ταυτόχρονα με τροφοδοσία του σήματος σε ένα παράλληλο δίκτυο comparator μέσω ενός διαιρέτη τάσης (voltage divider). Οι ταχύτητές του είναι εκπληκτικές και μπορεί εύκολα να ψηφιοποιήσει σήματα της τάξης των GHz. Η γενική διάταξη εμφανίζεται στο ακόλουθο σχήμα. Η κύρια αδυναμία του είναι ότι ο αριθμός των comparator αυξάνει μη γραμμικά σε σχέση με την ακρίβεια της ψηφιακής αναπαράστασης. Για n bits απαιτούνται $2^n - 1$ comparators.



Σχήμα 44

Λογική Successive Approximation

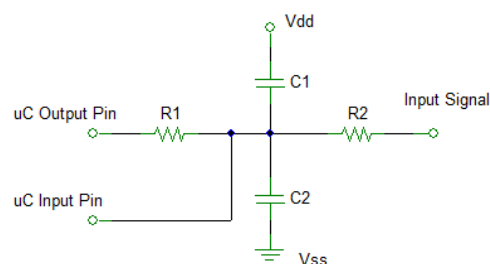


Σχήμα 45

Προσδιορίζει σειριακά τα bits της ψηφιακής αναπαράστασης μέσω ενός DAC και ενός comparator ανάλογα με το αν το τρέχον σήμα είναι μικρότερο (0) ή μεγαλύτερο (1) από την τρέχουσα τιμή του DAC ξεκινώντας από μια μέγιστη τιμή και υποδιπλασιάζοντάς την κάθε φορά. Η ταχύτητά του εξαρτάται από την ταχύτητα του DAC και τον αριθμό των Bits. Συνήθως χρησιμοποιείται σε εύρος σημάτων της τάξης των MHz. Υλοποιείται εύκολα ως software peripheral, μια έννοια την οποία θα συναντήσουμε και αναλύσουμε στη συνέχεια.

Λογική Sigma Delta (ΣΔ ADC)

Το αναλογικό σήμα τροφοδοτείται σε έναν κόμβο ο οποίος παρακολουθείται και τροφοδοτείται με παλμούς σταθερής ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε το δυναμικό του να παραμένει σε μια σταθερή τιμή. Η παρακολούθηση του δυναμικού του κόμβου μέσω ανάδρασης συνδέει αναλογικά τον συνολικό αριθμό (Σ) των παλμών (Δ) τροφοδοσίας σταθερής ενέργειας με το δυναμικό εισόδου (με το σύμβολο Σ εννοούμε την πράξη της άθροισης – ολοκλήρωσης ενώ το Δ αφορά τη συνάρτηση Dirac δ και η οποία είναι η μαθηματική περιγραφή ενός παλμού).



Σχήμα 46

Ένα τυπικό κύκλωμα για υλοποίηση ως software peripheral εμφανίζεται στο παραπάνω σχήμα με χαρακτηριστικά που δίδονται από τους ακόλουθους τύπους:

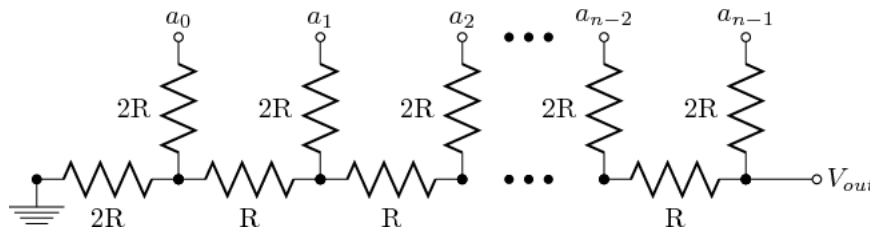
$$V_{\max} = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1\right) \frac{V_{dd}}{2}, \quad V_{\min} = \left(1 - \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{V_{dd}}{2} \quad T_s = (2^N - 1)/F_{clk}, \quad F_s = 1/T_s, \quad F_N = F_s/2$$

Όπου V_{\max} το μέγιστο δυναμικό που μπορεί να μετατραπεί, V_{\min} το ελάχιστο δυναμικό που μπορεί να μετατραπεί, T_s η περίοδος δειγματοληψίας F_s η συχνότητα δειγματοληψίας F_N η μέγιστη συχνότητα που μπορεί να μετατραπεί και N ο αριθμός ακρίβειας της ψηφιακής αναπαράστασης (bits). Είναι από τις πλέον διαδεδομένες υλοποιήσεις σε συχνότητες της τάξης των Mhz.

Μετατροπή ψηφιακού σήματος σε αναλογικό DAC

Με τον όρο DAC εννοούμε τη μετατροπή ενός ψηφιακού σήματος (μία σειρά χρονικά διατεταγμένων δηλαδή αριθμών που αντιπροσωπεύουν κάποιο χαρακτηριστικό του) σε αναλογικό σήμα.

R2R Ladder



Σχήμα 47

Είναι εξαιρετικής ταχύτητας μετατροπή ψηφιακού σήματος σε αναλογικό (wide bandwidth), αλλά ο αριθμός των διακριτών αντιστάσεων αυξάνει γραμμικά με τον αριθμό bits της αναπαράστασης, ενώ είναι αρκετά ευαίσθητο στην ακρίβεια της αναλογίας R2R σε όλο το μήκος του δικτύου αντιστάσεων.

Pulse Width Modulation και χαμηλοπερατό φίλτρο RC

Η τεχνική διαμόρφωση πλάτους παλμού είναι μια συνήθης πρακτική στο χώρο των ηλεκτρονικών για την αποτελεσματική μεταφορά ισχύος. Η λογική της βασίζεται στο ότι κατασκευάζοντας τετραγωνικούς παλμούς με μεταβλητό ποσοστό χρονικής διάρκειας μεταξύ τους μπορούμε να επιτύχουμε η μέση τιμή του δυναμικού ενός σήματος να κυμαίνεται μεταξύ δύο ορίων σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο.

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{1}{T} \int_0^{DT} f(t) dt + \frac{1}{T} \int_{DT}^T f(t) dt \rightarrow \frac{1}{T} \int_0^{DT} y_{\max} dt + \frac{1}{T} \int_{DT}^T y_{\min} dt \\ &= \frac{DT}{T} y_{\max} + \frac{T}{T} y_{\min} - \frac{DT}{T} y_{\min} = y_{\max} \frac{DT}{T} + y_{\min} \left(1 - \frac{DT}{T}\right) \\ &= D \cdot y_{\max} + (1 - D) y_{\min} \end{aligned}$$

Όπου $f(t)$ είναι η συνάρτηση που περιγράφει τον τετραγωνικό παλμό και ισχύει ότι ο παλμός έχει τη μέγιστη τιμή y_{\max} για το χρονικό διάστημα $0 < t < DT$ και y_{\min} για το χρονικό διάστημα $DT < t < T$. Τέλος ορίζουμε την αναλογία $D = DT/T$ ως κύκλο εργασίας (duty cycle).

Αυτός ο τελευταίος τύπος όπως έχουμε δει και πιο πάνω δεν είναι παρά κλασικός τύπος που εκφράζει το γραμμικό Interpolation. Μπορούμε λοιπόν να δημιουργήσουμε

οποιαδήποτε μέση τιμή δυναμικού μεταβάλλοντας τον κύκλο εργασίας D μεταξύ των τιμών 0 και 1.

Η τροφοδοσία της ακολουθίας παλμών στη συνέχεια σε ένα χαμηλοπερατό φίλτρο έχει ως αποτέλεσμα την εξομάλυνση της μορφής του σήματος και τη μετατροπή του σε συνεχές. Ο μέσος όρος ισχύος αυτού του σήματος είναι ανάλογος του μέσου όρου της ισχύος του συνόλου των τετραγωνικών παλμών.

Software Peripherals

Στις παραγράφους που ακολουθούν θα επιμείνω στην παρουσίαση του όρου Software Peripheral, γιατί είναι άμεσα συνδεδεμένο με την έννοια του SDR (Software Defined Radio) η εφαρμογή της οποίας θα παρουσιαστεί στη συνέχεια.

Με τον όρο software peripherals εννοούμε την υλοποίηση ηλεκτρονικών διατάξεων που κανονικά απαιτούν αφιερωμένο υλικό (dedicated hardware) με χρήση αποκλειστικά firmware σε έναν Microcontroller.

Το πιο γνωστό παράδειγμα στο χώρο των ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι τα λεγόμενα WinModems. Τις περασμένες δεκαετίες, πριν την ευρεία εφαρμογή του λεγόμενου wide band internet, η κύρια πρόσβαση στο internet γινόταν μέσω αναλογικών τηλεφωνικών γραμμών και τη χρήση συσκευών με την ονομασία Modem (MOdulator – DEModulator). Οι αναλογικές τηλεφωνικές γραμμές όμως, οι οποίες δεν είχαν αλλάξει καθόλου τεχνολογικά τα τελευταία 100 χρόνια, επέτρεπαν ως μέγιστη βασική συχνότητα μεταφοράς από χρήστη σε κόμβο τα 5.5 KHz, λόγω του ότι μεγαλύτερες συχνότητες χρησιμοποιούνταν για εφαρμογές πολυπλεξίας και υπήρχαν ενσωματωμένα φίλτρα. Η ανάγκη για όλο και μεγαλύτερη ταχύτητα ψηφιακής επικοινωνίας μπορούσε να λυθεί μόνο με τη χρήση όλο και πιο έξυπνων πρωτόκολλων επικοινωνίας. Η συνήθης χωρητικότητα ενός συμβόλου το οποίο ανταλλάσσεται ανάμεσα σε δύο πλευρές είναι μεγαλύτερη της συνήθους 8 Bit ascii αναπαράστασης μιας και πρέπει να περιέχει και πρόσθετη πληροφορία που μπορεί να για παράδειγμα να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο λαθών (error checking) ή πλήρους ανακατασκευής (error correction).

Έτσι αρχικά είχαμε σε εφαρμογή το πρωτόκολλο audio frequency shift keying με μέγιστη ταχύτητα τα 300 bit/sec. Στη συνέχεια το Phase Shift keying και μέγιστη ταχύτητα τα 1200 Bit/sec, ενώ τέλος το Quadrature Amplitude Modulation, επιτρέποντας μεταφορά 4 Bit ανά σύμβολο δίνοντας ταχύτητα 9.600 bit/sec. Αυτή ήταν και η μέγιστη δυνατή θεωρητική ταχύτητα ψηφιακής μετάδοσης σε ένα δίκτυο που είχε σχεδιαστεί ειδικά για τη μεταφορά των χαμηλής συχνότητας ακουστικών δεδομένων. Παρόλα αυτά ακόμη πιο πολύπλοκες τεχνικές επέτρεψαν τη μετάδοση σε ακόμη μεγαλύτερες ταχύτητες. Ήταν προφανές ότι με κάποιου είδους συμπίεση των Bits θα επιτυγχάνονταν ακόμη μεγαλύτερες ταχύτητες.

Τα όλο και ταχύτερα πρωτόκολλα επικοινωνίας έρχονταν όμως με κάποιο κόστος, ήταν όλο και πιο πολύπλοκα. Αποτέλεσμα ήταν τα υψηλής ταχύτητας modem να έχουν ενσωματωμένους ειδικούς ψηφιακούς επεξεργαστές σήματος (DSP-Digital signal processors) που τα έκαναν όλο και ακριβότερα. Παράλληλα όμως και η ταχύτητα των επεξεργαστών άξανε σε τέτοιο βαθμό που η βιομηχανία σκέφτηκε ότι δεν ήταν απαραίτητο να έχουμε εξειδικευμένους επεξεργαστές σήματος σε ένα modem, όταν ο κατά πολύ ταχύτερος επεξεργαστής, δανείζοντας ένα μικρό κομμάτι της υπολογιστικής του ισχύος, μπορούσε να υλοποιεί όλα τα απαραίτητα πρωτόκολλα επικοινωνίας με μορφή προγραμμάτων. Έτσι γεννήθηκαν τα WinModem, τα οποία ως συσκευές περιείχαν μόνο το απλό κομμάτι της αναλογικής μετατροπής και της επικοινωνίας με τον επεξεργαστή ενώ ο επεξεργαστής έκανε όλο το πολύπλοκο

κομμάτι της ψηφιακής υλοποίησης των πρωτοκόλλων επικοινωνίας μέσω λογισμικού. Ονομάστηκαν WinModem, γιατί δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στο ανερχόμενο τότε λειτουργικό σύστημα Linux, το οποίο δε διέθετε το κατάλληλο λογισμικό για τα χρησιμοποιήσει.

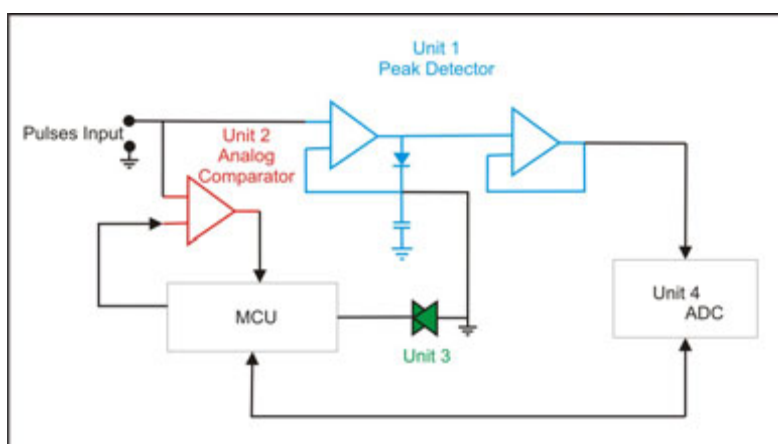
Η περίπτωση των WinModem μπορεί να θεωρηθεί ως μια πρώιμη μορφή software peripheral.

Με τον όρο λοιπόν software peripheral γενικά εννοούμε οποιαδήποτε φυσική συσκευή ή πρωτόκολλο που μπορεί να υποκατασταθεί με χρήση κατάλληλου κώδικα (software – firmware), ο οποίος υλοποιεί τη λειτουργία της με τον ίδιο ακριβώς τρόπο σαν να ήταν αυτή υπαρκτή.

Η κάρτα που κατασκευάσαμε κάνει εκτεταμένη χρήση της λογικής των software peripheral, ώστε να είναι ικανή να λειτουργήσει ως αυτόνομη μονάδα χωρίς την υποστήριξη κάποιου υπολογιστικού συστήματος. Υλοποιεί για παράδειγμα τα ακόλουθα περιφερειακά υπό μορφή λογισμικού:

1. Οδηγό οθόνης
2. Οδηγό πληκτρολογίου
3. Οδηγό αποθήκευσης Secure Digital Storage
4. Σειριακό πρωτόκολλο (RS232)

Τρέχουσα υλοποίηση



Σχήμα 48

Οι βασικές δομικές μονάδες της κάρτας που υλοποιήσαμε.

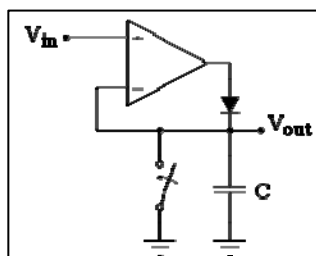
Με βάση τα ανωτέρω καλούμαστε να υλοποιήσουμε τις δύο τεχνικές (PHA και MCS) που εφαρμόζονται στη φασματοσκοπία Mössbauer.

Pulse High Analysis

Στην περίπτωση του ισότοπου του σιδήρου ^{57}Fe , τα φωτόνια που συμβάλλουν στο φαινόμενο Mössbauer έχουν ενέργεια 14.4 keV. Το ύψος των παλμών στην έξοδο του ανιχνευτή ακτινοβολίας είναι ανάλογη της ενέργειάς τους. Η τεχνική PHA (ανάλυση ύψους παλμών) έχει ως στόχο η κατάταξη των παλμών ανάλογα με το ύψος τους να μας επιτρέψει την αναζήτηση και απομόνωση των φωτονίων που αντιστοιχούν στην ενέργεια των 14.4 keV που είναι εκείνα για τα οποία ενδιαφερόμαστε.

Η τεχνική υλοποιείται στα ακόλουθα βήματα.

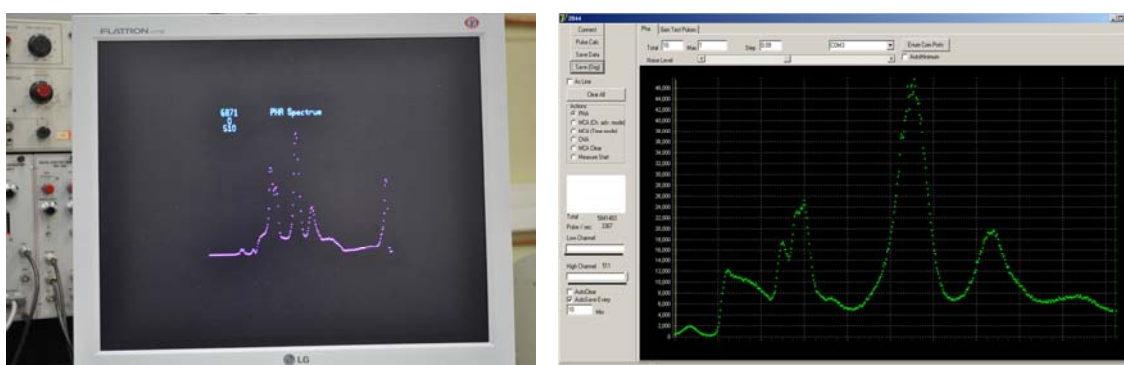
1. Ένας συγκριτής τάσης παρακολουθεί με βάση μια τιμή λίγο πάνω από το επίπεδο θορύβου της γραμμής σήματος το χρονικό σημείο έναρξης ενός παλμού.
2. Το ύψος του παλμού παρακολουθείται μέσω της χρήσης ενός Peak Detector (σχήμα 49).



Σχήμα 49
Precision Peak Detector [45]

3. Μετά το πέρασμα ενός χρονικού διαστήματος που αντιστοιχεί στο Rise Time των παλμών ξεκινά η διαδικασία ψηφιοποίησης με την οδήγηση του αποθηκευμένου σήματος σε ένα ADC.
4. Με τη λήξη της ψηφιακής μετατροπής η MCU δίνει εντολή για την αποφόρτιση του Peak Detector και ένας αθροιστής αυξάνει κατά 1 την τιμή του πλήθους των παλμών σε μία θέση μνήμης που αντιστοιχεί στο μέγεθος του παλμού.
5. Η διαδικασία 1,2,3,4 επαναλαμβάνεται.

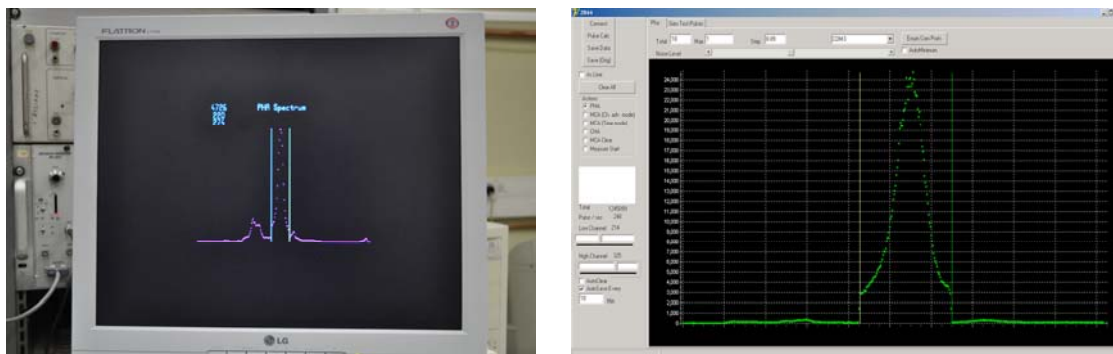
Το σύνολο των δεδομένων μεταφέρεται ασύγχρονα με χρήση ενός software peripheral που υλοποιεί το πρωτόκολλο RS232 και μεταφορά υπό μορφή πακέτων της ακόλουθης μορφής (Έναρξη πακέτου, μήκος πακέτου, CRC, Payload) σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή ή στην περίπτωση που η κάρτα λειτουργεί ως αυτόνομη μονάδα σε ένα software peripheral που υλοποιεί το πρωτόκολλο VGA.



Σχήμα 50
PHA φάσμα ως αυτόνομη μονάδα (αριστερά) και ως εξαρτημένη (δεξιά).

Ο ορισμός του παραθύρου ενδιαφέροντος γίνεται στην περίπτωση της αυτόνομης λειτουργίας μέσω ενός software peripheral που υλοποιεί τον οδηγό ενός ηλεκτρολογίου. Στην περίπτωση της επικοινωνίας με H/Y ο καθορισμός των

παραθύρων γίνεται με τη χρήση ειδικού προγράμματος και το οποίο επικοινωνεί σειριακά με την κάρτα.



Σχήμα 51

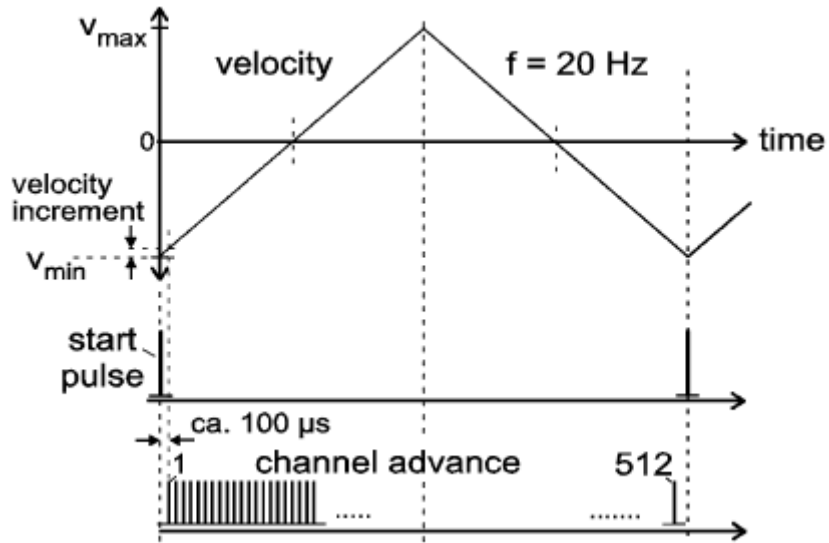
Ορισμός παραθύρων σε αυτόνομη (αριστερά) και εξαρτημένη (δεξιά) λειτουργία

Η ταχύτητα παρακολούθησης των σημάτων εξαρτάται από την επιλογή του τύπου ADC που χρησιμοποιούμε. Στην τρέχουσα υλοποίηση έχουμε επιλέξει έναν successive approximation με εύρος $600 \text{ K}_{\text{sample/sec}}$. Ο propeller microcontroller έχει ενσωματωμένες PLL που μπορούν να γεννήσουν παλμούς άνω των 128 MHz και κατά συνέπεια μπορεί να οδηγήσει Flash ADC με αντίστοιχο εύρος δειγματοληψίας. Το πρακτικό όμως όριο είναι κάπως μικρότερο και ισοδυναμεί με τη μέγιστη ταχύτητα χρονισμού του που είναι 100 MHz και η οδήγηση Flash ADC με ταχύτητα δειγματοληψίας 100 MHz μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση 4 από τους 8 επεξεργαστικούς πυρήνες του χρονισμένους με διαφορά φάσης 1 κύκλου μηχανής.

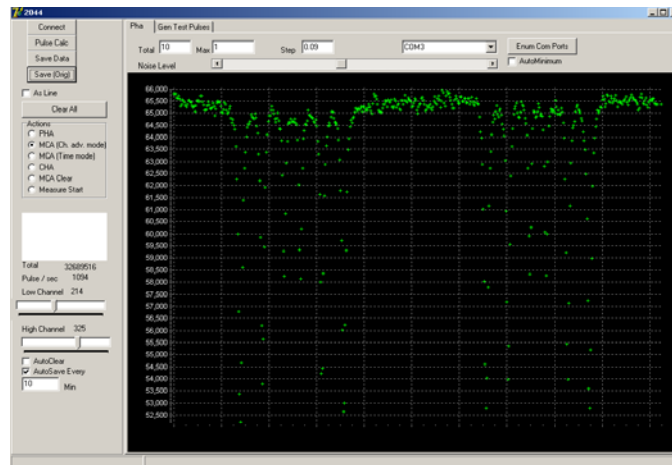
Multi Channel Scaling

Η χρήση αυτής της τεχνικής είναι που θα μας οδηγήσει στη συλλογή των πληροφοριών για την απεικόνιση ενός φάσματος Mössbauer.

Στην τεχνική αυτή μια περίοδος της κίνησης της πηγής ($-V_{\text{min}}, V_0, +V_{\text{max}}, V_0, -V_{\text{min}}$) διαιρείται σε ισόχρονα διαστήματα τα οποία ονομάζονται κανάλια. Ένα σήμα που παρέχεται από το μηχανισμό κίνησης της πηγής υποδηλώνει την έναρξη μιας περιόδου (start channel). Η τεχνική MCS είναι η συνεχής άθροιση των παλμών που καταγράφονται στον ανιχνευτή ακτινοβολίας ανά κανάλι, των οποίων η αρίθμηση επανακινείται από το μηδέν σε κάθε περίοδο.

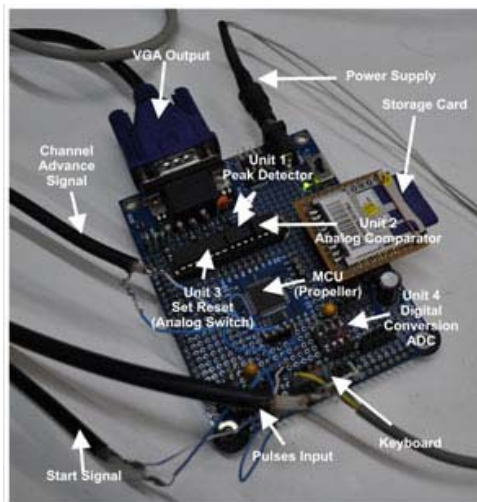


Σχήμα 52
Η τεχνική MCS



Σχήμα 53

Φάσμα Mössbauer σιδήρου με χρήση του πρωτοτύπου της πιο κάτω φωτογραφίας



Σχήμα 54

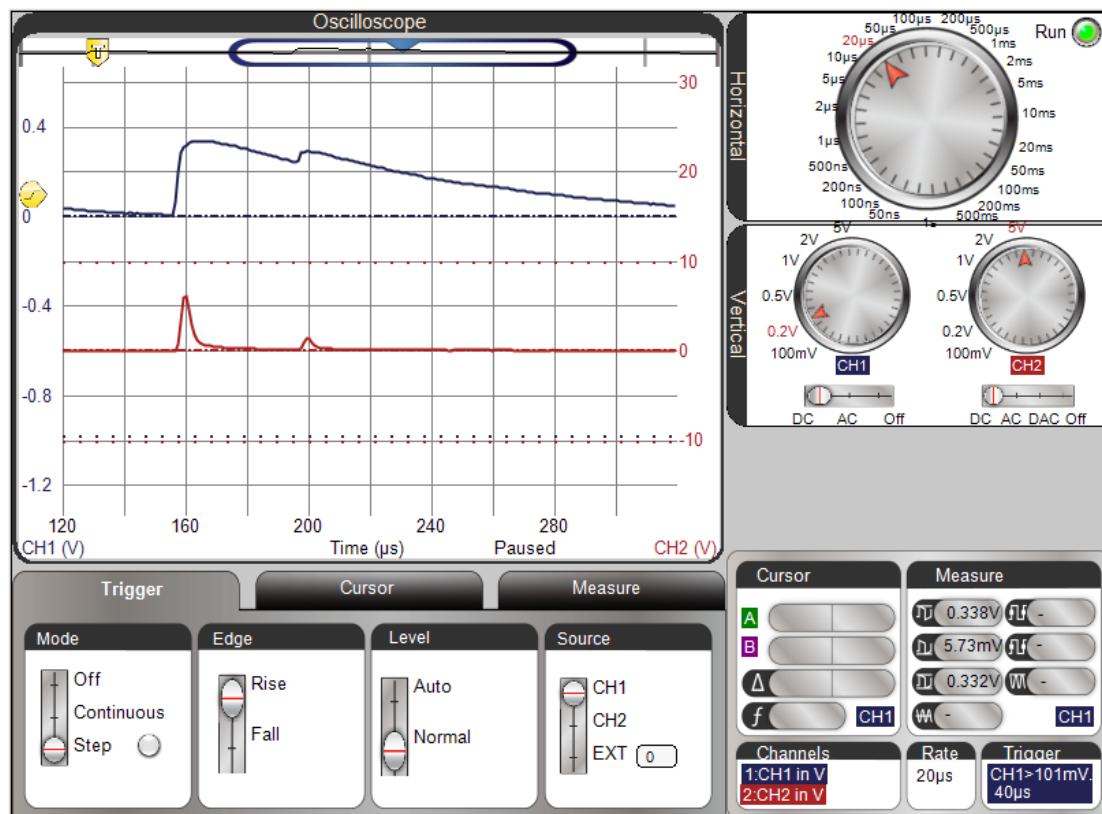
Φωτογραφία της φυσικής υλοποίησης του πρωτοτύπου

Software Defined Radio (SDR-Universal Machine)

Λίγα λόγια για το SDR

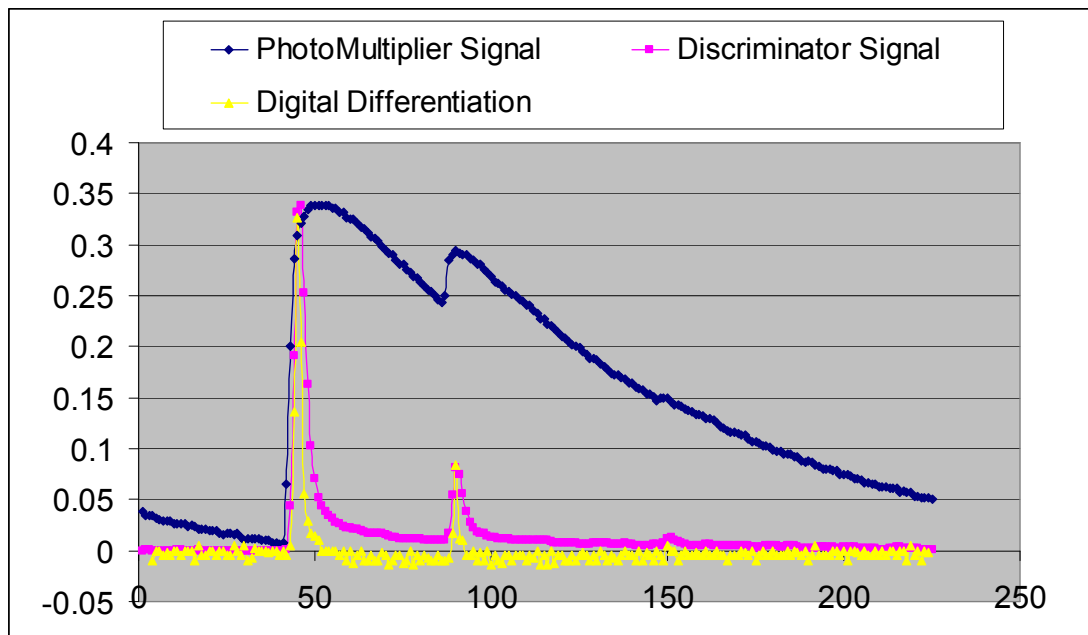
Ένα τυπικό Software Defined Radio είναι μια συσκευή ραδιοτηλεπικοινωνιών στην οποία ένα μεγάλο εύρος ενεργειών που εκτελούνται από ειδικά ηλεκτρονικά κυκλώματα (π.χ ενισχυτές, μείκτες, φίλτρα, διαμορφωτές, αποδιαμορφωτές κτλ) υλοποιούνται υπό μορφή λογισμικού από επεξεργαστές, FPGAs, Microcontrollers ή παρόμοιες προγραμματιζόμενες συσκευές. Το μοναδικό κομμάτι που συνήθως παραμένει εκτός υλοποίησης SDR είναι μόνο ένα κύκλωμα προσαρμογής μεταξύ της κεραίας και ενός εξαιρετικά γρήγορου ADC. Όλα τα υπόλοιπα καταργούνται και αντικαθίστανται από λογισμικό που εκτελεί πράξεις στα ψηφιακά δεδομένα εξόδου του ADC.

Ένα στοιχειώδες SDR μπορεί να αποτελέσει ένας προσωπικός υπολογιστής που διαθέτει μια κάρτα ψηφιοποίησης ήχου ή video. Στην πραγματικότητα υπάρχουν εδώ και αρκετά χρόνια υλοποιήσεις SDR για λήψη ραδιοφωνικών σημάτων στο μήκος κύματος των 80m που απαιτούν μόνο μια κάρτα ήχου και έναν Η/Υ και είναι εύκολα μετατρέψιμες για λήψη και άλλων πρωτοκόλλων όπως για παράδειγμα των μετεωρολογικών φωτογραφιών των δορυφόρων του δικτύου NOAA. Παραδείγματα τέτοιων SDR είναι το TinySDR και το FunCube SDR [46,47,48].



Σχήμα 55

Timeshot δύο παλμών στην είσοδο και έξοδο το discriminator



Σχήμα 56

Τα ψηφιακά δεδομένα των παραπάνω παλμών σε μορφή γραφήματος

Τα σήματα τα οποία εμφανίζονται στο σχήμα 55 αφορούν το μεν μπλε την έξοδο του ανιχνευτή ακτινοβολίας το δε κόκκινο την έξοδο του discriminator για το ίδιο γεγονός στο ίδιο χρονικό σημείο. Η εικόνα είναι ένα αποτύπωμα (screenshot) από τον ψηφιακό παλμογράφο που παρακολουθούσε τις συγκεκριμένες εξόδους.

Η εικόνα 56 έχει τα δεδομένα όπως καταγράφηκαν από τον ψηφιακό παλμογράφο μόνο που συμπεριλαμβάνει και ένα **τρίτο**.

Εκείνο που φέρει τον τίτλο Photomultiplier Signal είναι η έξοδος του ανιχνευτή ακτινοβολίας όπως έχει καταγραφεί από τον ψηφιακό παλμογράφο.

Εκείνο που φέρει τον τίτλο Discriminator Signal είναι η έξοδος του discriminator-amplifier όπως ακριβώς έχει καταγραφεί από τον ψηφιακό παλμογράφο.

Το τρίτο σήμα που φέρει τον τίτλο Digital Differentiation δεν έχει καταγραφεί από κανένα μηχάνημα. Είναι μια υπολογιστική πράξη του νόμου της διαφόρισης στα αριθμητικά δεδομένα του πρώτου σήματος. Η ομοιότητα των δύο σημάτων (Discriminator Signal - Digital Differentiation) είναι προφανής, ιδιαίτερα όσον αφορά στο ύψος των παλμών (κρίσιμο μέγεθος για την PHA τεχνική) και τη χρονική τους θέση (κρίσιμο μέγεθος για την MCA τεχνική). Αυτή η εργασία είναι ιδιαίτερα εύκολο να υλοποιηθεί σε μια MCU ή FPGA και είναι ισοδύναμη με λίγες γραμμές κώδικα.

Πρόταση για περαιτέρω εξέλιξη της συσκευής

Η ψηφιακή επεξεργασία σήματος έχει μια ιστορία μεγαλύτερη των 200 ετών. Η δυνατότητα της πλήρους ανακατασκευής μιας πληροφορίας από μέρη της είναι συνώνυμο του θεωρήματος Fourier και του μετασχηματισμού Laplace. Ο μετασχηματισμός Radon γνωστός και ως Fourier Slice Theorem και στον οποίο βασίζεται οποιοδήποτε τύπου αξονική τομογραφία (ακτινική – μαγνητική – ηλεκτρονίου ποζιτρονίου κτλ), έχει ιστορία τουλάχιστον 100 ετών. Η καθιερωμένη πλέον αξονική τομογραφία έχει τη σύντομη ιστορία των 30 ετών. Ειδικά η πλήρης ψηφιακή της εκδοχή λιγότερη της δεκαετίας σε παγκόσμια κλίμακα.

Εδώ και μία δεκαετία PLLs ταχυτήτων άνω των 4GHz ήταν εμπορικά διαθέσιμες σε μαζική κλίμακα. Τριάντα χρόνια πριν ήταν μαζικά διαθέσιμος ο 486 με PLL 100Mhz. Θέση του συγγραφέα είναι ότι η καθυστέρηση της αποδοχής μιας νέας, όχι από την άποψη της τεκμηρίωσης τεχνικής αλλά νέας από την άποψη της διαφορετικότητας – καινοτομίας σε σχέση με τις καθιερωμένες τεχνικές, οφείλεται σε κοινωνικο-οικονομικο-πολιτικούς λόγους και όχι επιστημονικούς.

Στην τυπική πειραματική διάταξη Mössbauer μεταξύ της συσκευής που εφαρμόζει τις τεχνικές PHA και MCS και του ανιχνευτή ακτινοβολίας μεσολαβεί μια ηλεκτρονική διάταξη που ονομάζεται discriminator και σκοπός αυτής της συσκευής είναι η ενίσχυση του σήματος και ο διαχωρισμός των παλμών (διαμόρφωση) μέσω συνδεσμολογιών τελεστικών ενισχυτών που εφαρμόζουν τις πράξεις της διαφόρισης και ολοκλήρωσης. Δεδομένου ότι ο ορισμός του SDR έχει να κάνει ακριβώς με την αντικατάσταση φυσικών συσκευών από διεργασίες λογισμικού, όλες οι ενέργειες που εκτελεί ο discriminator (ενίσχυση, ολοκλήρωση, παραγωγή) μπορούν να υλοποιηθούν υπό μορφή λογισμικού με τροποποίηση στην κάρτα που κατασκευάσαμε.

Mössbauer Fitting Program [49]

Θεωρία

Η συμβολική Χαμιλτονιανή που περιγράφει ένα σύστημα πυρηνικών ενεργειακών καταστάσεων οι οποίες προκύπτουν για τον πυρήνα ενός ατόμου Mössbauer με πυρηνικά spin $I=1/2$ για τη βασική και $I=3/2$ για τη διεγερμένη κατάσταση λόγω της αλληλεπίδρασής του με τα ατομικά ή εξωτερικά φορτία (ηλεκτρόνια και άλλα άτομα ή ιόντα) ή πεδία (ηλεκτρικά ή μαγνητικά) και την οποία καλούμαστε να επιλύσουμε είναι η ακόλουθη [50]:

$$\mathcal{H}_Q = \left[\frac{eQV_{zz}}{(4I(2I-1))} \right] [3I_z^2 - I(I+1) + \eta(I_x^2 - I_y^2)]$$

$$\mathcal{H}_M = -g\mu_N H(0) [I_z \cos \theta + (I_x \cos \varphi + I_y \sin \varphi) \sin \theta]$$

Όπου

Q = πυρηνική ηλεκτρική τετραπολική ροπή

e = ηλεκτρικό φορτίο ηλεκτρονίου-πρωτονίου

g = πυρηνικός g -συντελεστής

I = Πυρηνικό Spin

μ_N = πυρηνική μαγνητόνη

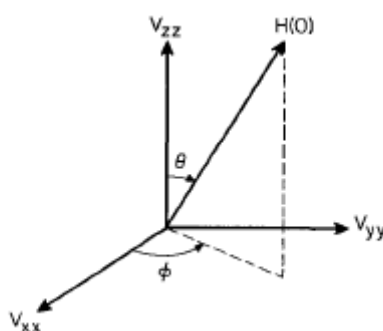
V_{xx}, V_{yy}, V_{zz} = κύριες συνιστώσες του τανυστή της κλίσης του ηλεκτρικού πεδίου (Electric Field gradient) στην περιοχή του πυρήνα

$\eta = (V_{xx} - V_{yy})/V_{zz}$ παράγοντας ασυμμετρίας των συνιστωσών της κλίσης του ηλεκτρικού πεδίου στην περιοχή του πυρήνα

$H(0)$ = μαγνητικό πεδίο στην περιοχή του πυρήνα

θ, φ = γωνίες που καθορίζουν τη διεύθυνση του διανύσματος του μαγνητικού πεδίου ως προς τις κύριες συνιστώσες του τανυστή της κλίσης του ηλεκτρικού πεδίου στην περιοχή του πυρήνα (Σχήμα 57)

I_x, I_y, I_z = κβαντικοί τελεστές στροφορμής



Σε μορφή πινάκων και για τη βασική και τη διεγερμένη κατάσταση με πυρηνικά spin $I=1/2$ και $I=3/2$ αντίστοιχα η Χαμιλτονιανή που περιγράφει το σύστημα είναι [50]

Βασική κατάσταση

	$1/2$	$-1/2$
$1/2$	$-\frac{1}{2}\beta \cos \vartheta$	$-\frac{1}{2}\beta \sin \vartheta (\cos \phi - i \sin \phi)$
$-1/2$	$-\frac{1}{2}\beta \sin \vartheta (\cos \phi + i \sin \phi)$	$\frac{1}{2}\beta \cos \vartheta$

Διεγερμένη κατάσταση

	3/2	1/2	-1/2	-3/2
3/2	$3A - \frac{3}{2}\alpha \cos \vartheta$	$-(\frac{1}{2})\sqrt{3}\alpha \sin \vartheta (\cos \phi - i \sin \phi)$	$\sqrt{3}\eta A$	0
1/2	$-(\frac{1}{2}\sqrt{3})\alpha \sin \vartheta (\cos \phi + i \sin \phi)$	$-3A - \frac{1}{2}\alpha \cos \vartheta$	$-\alpha \sin \theta (\cos \phi - i \sin \phi)$	$\sqrt{3}\eta A$
-1/2	$\sqrt{3}\eta A$	$-\alpha \sin \theta (\cos \phi + i \sin \phi)$	$-3A + \frac{1}{2}\alpha \cos \vartheta$	$-(\frac{1}{2})\sqrt{3}\alpha \sin \vartheta (\cos \phi - i \sin \phi)$
-3/2	0	$\sqrt{3}\eta A$	$-(\frac{1}{2}\sqrt{3})\alpha \sin \vartheta (\cos \phi + i \sin \phi)$	$3A + \frac{1}{2}\alpha \cos \vartheta$

Όπου

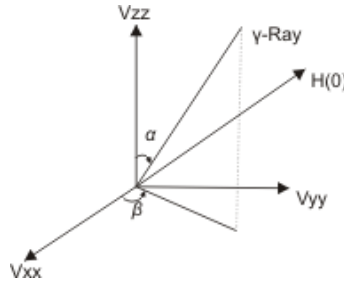
$$\alpha = g \frac{3}{2} \mu_N H(0)$$

$$\beta = g \frac{1}{2} \mu_N H(0)$$

$$A = \frac{eQV_{zz}}{\{4I(2I-1)\}}$$

Το πρόβλημα, όπως και όλα τα κβαντικά προβλήματα, απαιτούν την υπολογιστική επίλυση των ερμιτιανών πινάκων που το περιγράφουν με στόχο την εύρεση των ιδιοτιμών και των ιδιοδιανυσμάτων. Οι ιδιότητες των ερμιτιανών πινάκων μας εγγυώνται ότι υπάρχει πάντα λύση ιδιοτιμών στο χώρο των πραγματικών αριθμών.

Οι διαφορές των ιδιοτιμών μας δίνουν τις θέσεις των κορυφών, οι δε εντάσεις αυτών υπολογίζονται από τα ιδιοδιανύσματα τους, δεδομένου ότι αυτά αντιπροσωπεύουν τα πλάτη πιθανότητας των αντίστοιχων μεταβάσεων. Ο υπολογισμός των εντάσεων βασίζεται στην ακόλουθη αναλυτική έκφραση των Gilbert Roy και Subhas Chandra για την περίπτωση του μονοκρυστάλλου (όπου α,β οι γωνίες που σχηματίζει η ακτίνα γ με τις κύριες συνιστώσες της κλίσης του ηλεκτρικού πεδίου, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα). [51]



$$I(\Lambda_{ie} \longleftrightarrow \Lambda_{jg}) = (|A|^2 + |C|^2)(1 + \cos^2 \alpha) + |B|^2 2 \sin^2 \alpha +$$

$$\text{Re}(AB * \sqrt{2}e^{i\beta} \sin 2\alpha) + 2\text{Re}(AC * e^{i\beta} \sin^2 \alpha) + \text{Re}(BC * \sqrt{2}e^{-i\beta} \sin(2\alpha))$$

$$A = b_{j1}^* a_{i1} + (b_{j2}^* a_{i2})\sqrt{3}$$

$$B = \sqrt{\frac{2}{3}}(b_{j1}^* a_{i2} + b_{j3}^* a_{i2})$$

$$C = (b_{j1}^* a_{i3})/\sqrt{3} + b_{j2}^* a_{i4}$$

Όπου b_{jk} τα ιδιοδιανύσματα της βασικής κατάστασης και a_{jk} της διεγερμένης.

Στη δε περίπτωση πολυκρυστάλλων (powder) ο υπολογισμός των εντάσεων γίνεται από [51]:

$$I(\Lambda_{ie} \longleftrightarrow \Lambda_{jg}) = \frac{4}{3}(|A|^2 + |B|^2 + |C|^2)$$

Στη συνέχεια οι θέσεις και οι εντάσεις των κορυφών αποκτούν εύρος Λορεντζιανής κατανομής, ενώ το τελικό βήμα είναι η χρήση αλγορίθμων βελτιστοποίησης

βασισμένες στην τεχνική marquardt-levenberg [52] με συνθήκες περιορισμένες από μοντέλα που επιλέγει ο χρήστης.

Σε κάθε αναδρομή της ρουτίνας βελτιστοποίησης επαναεπιλύεται το πιο πάνω κβαντικό πρόβλημα έως ότου η διαφορά ελαχίστων τετραγώνων μεταξύ θεωρητικού και πειραματικού φάσματος καταλήξει σε μία ελάχιστη τιμή.

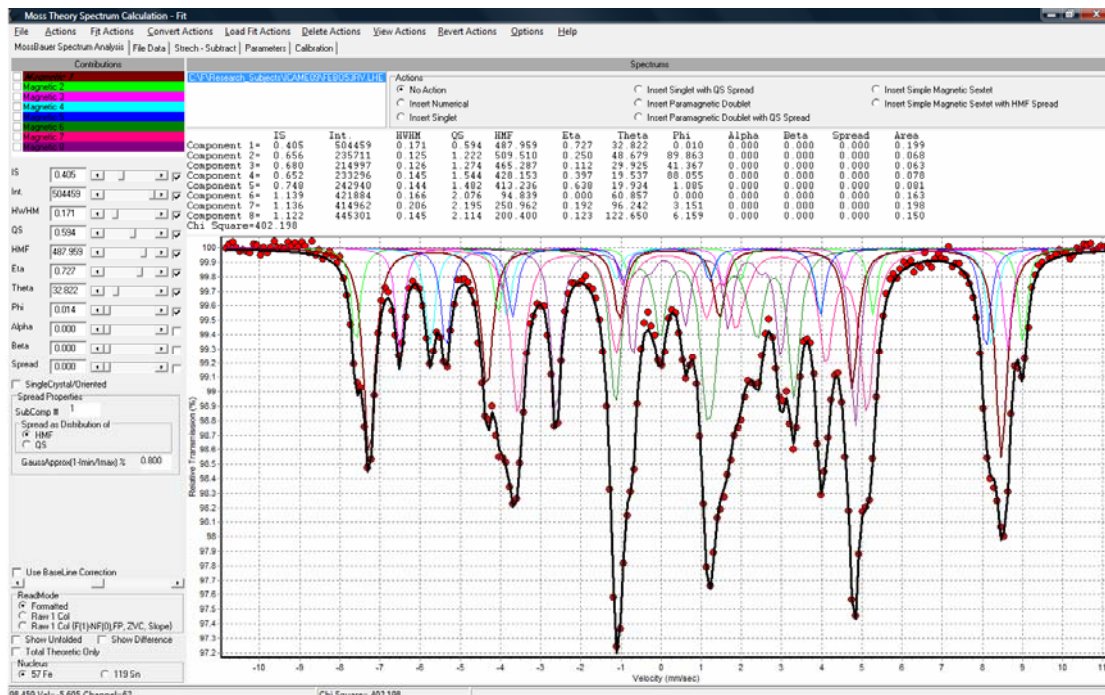
Το μοντέλα που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν όπως για παράδειγμα μια Gaussian κατανομή (distribution) υπολογίζονται μέσω δειγματοληψίας οποιασδήποτε ακρίβειας επιθυμεί ο χρήστης και περιορίζονται **μόνο** από τη διαθέσιμη RAM του συστήματος.

Στο σχήμα 57 που ακολουθεί 8 συνιστώσες με κατανομή Gauss και δειγματοληψίας 60 συνιστωσών για κάθε μία από αυτές, σύνολο 480 συνιστώσες, έχει καθεμία τη δικιά της Χαμιλτονιανή που επιλύεται και βελτιστοποιούνται στο σύνολό τους.

Η λογική του προγράμματος επιτρέπει να ορίσουμε οποιαδήποτε αναλυτική έκφραση, που μπορεί να περιγράψει κανονικοποιημένες κατανομές, ώστε να υποστεί δειγματοληψία οποιασδήποτε ακρίβειας.

Δέχεται επίσης σύνθετες κατανομές όπως για παράδειγμα της ασύμμετρης Gaussian και η οποία ορίζεται ως εξής:

$$G(z^i; \mu_i^z, \sigma_i^2, r_i) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sqrt{\sigma_i^2(r_i + 1)}} \begin{cases} \exp\left(-\frac{(z_i - \mu_i^z)^2}{2\sigma_i^2}\right) & \text{if } z_i > \mu_i^z \\ \exp\left(-\frac{(z_i - \mu_i^z)^2}{2r_i^2 2\sigma_i^2}\right) & \text{if } z_i \leq \mu_i^z \end{cases}$$



Σχήμα 57

Είναι στους μελλοντικούς σκοπούς μας, η υλοποίηση της πιο πάνω υπολογιστικής διαδικασίας σε GPU (CUDA) επιφέροντας θεαματική αύξηση της ταχύτητας σε περιπτώσεις υψηλής δειγματοληψίας των μοντέλων.

Περιγραφή της λειτουργίας του προγράμματος

Το πρόγραμμα δέχεται ως είσοδο το πειραματικό φάσμα σε μορφή αλληλουχίας αριθμών μιας στήλης. Οι οποίοι αριθμοί αντιπροσωπεύουν το συνολικό αριθμό των παλμών ανά κανάλι όπως συλλέχθηκαν από την κάρτα δειγματοληψίας Mössbauer, συνοδευόμενο από αριθμητικές σταθερές που έχουν υπολογιστεί με ειδική διαδικασία βαθμονόμησης φάσματος σιδήρου (calibration).

Ο χρήστης καλείται να εισάγει μια αρχική εκτίμηση των συνιστωσών του φάσματος επιλέγοντας διαδραστικά μορφολογίες συνιστωσών τύπου singlets, doublets και sextets. Με τη χρήση ειδικών slider είναι δυνατόν να διαμορφώσει το σύνολο των παραμέτρων αυτών των συνιστωσών.

Στην περίπτωση που η συνιστώσα έχει μορφή κατανομής ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου μπορεί να επιλέξει το εύρος δειγματοληψίας αυτής της κατανομής.

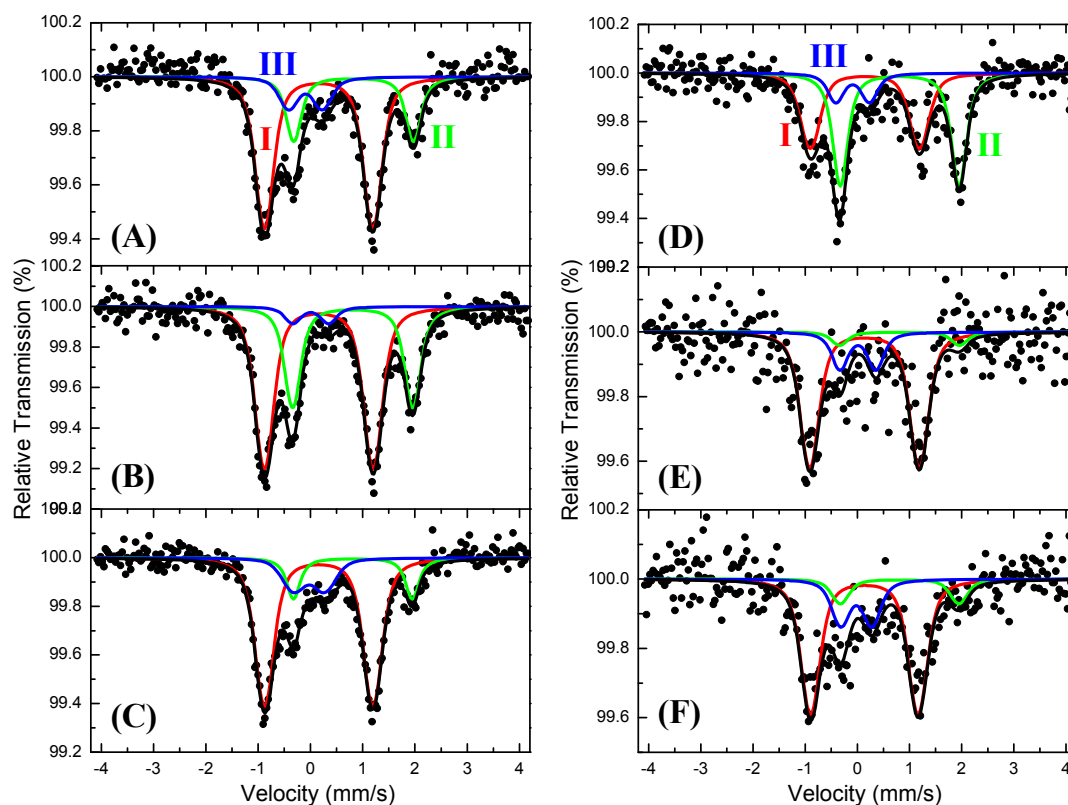
Το πρόγραμμα παρουσιάζει υπό μορφή γραφήματος τη θεωρητική επίλυση της συνιστώσας με τις παραμέτρους που έχει επιλέξει ο χρήστης σε πραγματικό χρόνο.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τυπική εφαρμογή της φασματοσκοπίας Mössbauer στη φυσιολογία

Στο παρακάτω σχήμα παρατίθενται τα φάσματα Mössbauer δειγμάτων φλεβικού ανθρώπινου αίματος από τρεις εθελοντές-δότες. Τα φάσματα (A) (B) και (C) αφορούν φυγοκεντρημένα δείγματα αίματος στα οποία έχει αφαιρεθεί ο ορός, ενώ τα (D), (E) και (F) αφορούν δείγματα ολικού αίματος. Τα φάσματα (A), (D) και (B), (E) αφορούν δείγματα που ελήφθησαν αντίστοιχα από δύο φυσιολογικούς δότες, ενώ τα φάσματα (C), (F) αφορούν δείγματα που ελήφθησαν από έναν δότη με μεσογειακή αναιμία. Κατά την πειραματική διαδικασία ελήφθησαν και φάσματα Mössbauer ^{57}Fe των αντίστοιχων δειγμάτων ορών, τα οποία όμως δεν έδειξαν καθόλου σήματα απορρόφησης, γι' αυτό και παραλείπονται. Όλα τα φάσματα ελήφθησαν από τα παραπάνω δείγματα σε ποσότητες 0.5-1.0 ml και σε θερμοκρασία 77 K, ύστερα από διαδικασία ψύξης τους στη θερμοκρασία αυτή έτσι ώστε να στερεοποιηθούν.

Τα φάσματα προσαρμόστηκαν με ένα μοντέλο τριών συνιστωσών, οι οποίες διαθέτουν μόνο τετραπολική διάσπαση (δε διαθέτουν δηλαδή μαγνητική διάσπαση). Οι τρεις συνιστώσες διαθέτουν τιμές παραμέτρων Mössbauer (ισομερή μετατόπιση δ , και τετραπολική διάσπαση ΔE_Q , Πίνακας 1) οι οποίες αντιστοιχούν σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [53,54,55,56,57] σε ιόντα ^{57}Fe που βρίσκονται στα κέντρα τριών μεταλλο-πρωτεϊνών των ερυθροκυττάρων του αίματος: της Oxyhemoglobin (OHb-συνιστώσα I), της Deoxyhemoglobin (DHb-συνιστώσα II) και της Hemochrome (Hch-συνιστώσα III).



Σχήμα 58

Τα χαρακτηριστικά των παραπάνω φασμάτων δείχνουν ότι η κυρίαρχη μεταλλοπρωτεΐνη των ερυθροκυττάρων του αίματος όλων των δοτών είναι η OHb, εκτός από την περίπτωση του φάσματος (D) όπου τα επίπεδα των δύο βασικών μεταλλοπρωτεϊνών (DHb και OHb) είναι συγκρίσιμα. Το σχετικό εμβαδόν των συνιστωσών που αντιστοιχούν στην DHb δείχνει ότι η μεταλλοπρωτεΐνη αυτή είναι σχετικά δύσκολο να ανιχνευθεί στα δείγματα του ολικού αίματος [φάσματα (E) και (F)], αλλά είναι πιο εύκολα ανιχνεύσιμη σε όλα τα δείγματα φυγοκεντρισμένου αίματος.

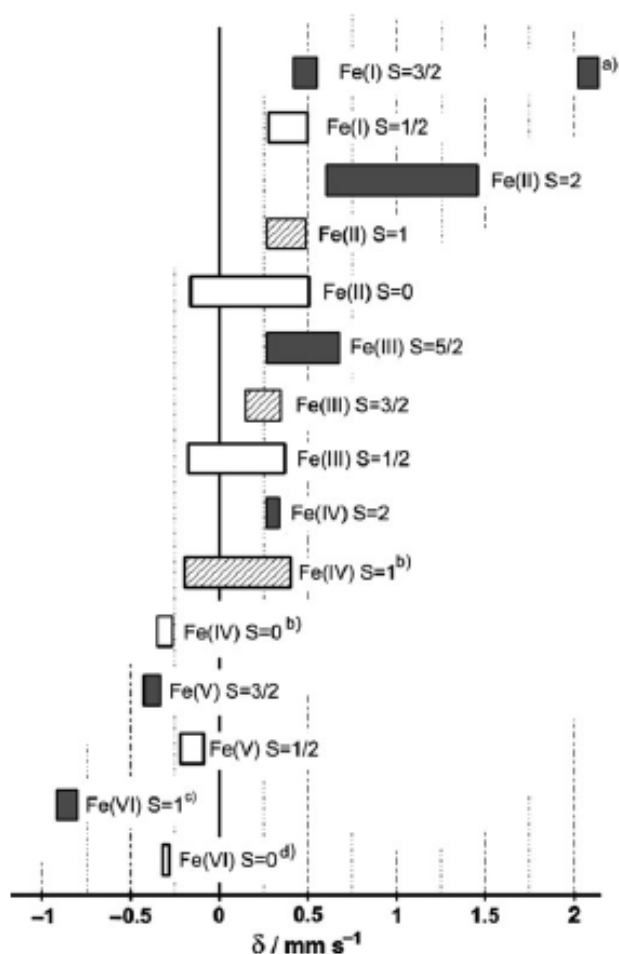
Mössbauer Parameters							
Δείγμα	T	δ	$\Gamma/2$	ΔE_Q	Διασπορά ΔE_Q	Εμβαδόν	Αντιστοίχιση
	K	mm/s	mm/s	mm/s	(mm/s)	%	
Φυγοκεντρισμένα δείγματα							
(A)	77	0.26	0.13	2.07	0.22	63	Oxyhemoglobin (I)
		0.93	0.13	2.29	0.15	24	Deoxyhemoglobin (II)
		0.01	0.13	0.65	0.24	13	Hemochrome (III)
(B)	77	0.27	0.13	2.08	0.23	61	Oxyhemoglobin (I)
		0.92	0.13	2.30	0.18	34	Deoxyhemoglobin (II)
		0.11	0.13	0.69	0.17	6	Hemochrome (III)
(C)	77	0.26	0.13	2.07	0.24	68	Oxyhemoglobin (I)
		0.92	0.13	2.27	0.10	15	Deoxyhemoglobin (II)
		0.08	0.13	0.60	0.32	17	Hemochrome (III)
Δείγματα ολικού αίματος							
(D)	77	0.25	0.13	2.09	0.25	39	Oxyhemoglobin (I)
		0.92	0.13	2.28	0.15	48	Deoxyhemoglobin (II)
		0.02	0.13	0.65	0.17	13	Hemochrome (III)
(E)	77	0.24	0.13	2.10	0.23	75	Oxyhemoglobin (I)
		0.92	0.13	2.30	0.18	7	Deoxyhemoglobin (II)
		0.12	0.13	0.69	0.17	18	Hemochrome (III)
(F)	77	0.24	0.13	2.06	0.24	67	Oxyhemoglobin (I)
		0.92	0.13	2.27	0.20	11	Deoxyhemoglobin (II)
		0.09	0.13	0.60	0.22	22	Hemochrome (III)

Πίνακας 1. Παράμετροι Mössbauer που προέκυψαν από την καλύτερη προσαρμογή (best fit) των φασμάτων του σχήματος 58 με το πρόγραμμα προσαρμογής φασμάτων που παρουσιάστηκε παραπάνω.

Τα ανωτέρω αποτελέσματα σε δείγματα φλεβικού αίματος καταδεικνύουν την ύπαρξη της οξυαιμοσφαιρίνης (OHb) σε ποσοστό της τάξης του 70 - 80% και της δεοξυαιμοσφαιρίνης (DHb) στο υπόλοιπο, όπως είναι και αναμενόμενο. Έχει ιδιαίτερη σημασία η ακριβής άμεση ταυτοποίηση του σθένους του σιδήρου, 3 στην

περίπτωση της οξυαιμοσφαιρίνης και 2 για την δεοξυαιμοσφαιρίνη, λόγω των τιμών της ισομερούς μετατόπισης των φασμάτων (Isomer Shift). Αυτό έως σήμερα μόνο έμμεσα έχει προσδιορισθεί πειραματικά με χρήση άλλων μεθόδων [58], ενώ με τη φασματογραφία Mössbauer προσδιορίζεται και ταυτοποιείται άμεσα. Τα αποτελέσματά μας επιβεβαιώνουν τα βιβλιογραφικά δεδομένα, ενώ μπορεί να ελεγχθούν και αιμοσφαιρινοπάθειες ή οισεδήποτε υποθέσεις που να αφορούν ακριβή ταυτοποίηση φυσικοχημικών ιδιοτήτων στη φυσιολογία και τη βιοχημεία και για άλλα στοιχεία πέραν του σιδήρου, όπως για παράδειγμα του κασσίτερου.

Ο αλγοριθμικός προσδιορισμός των παραμέτρων των φασμάτων Mossbauer (isomer shift, Quadrupole Interaction, Magnetic Interaction) στο πρόγραμμα που κατασκευάσαμε γίνεται από πρώτες αρχές καθιστώντας επιστημονικά εφικτή την παραπάνω ταυτοποίηση. Πέραν αυτού η χρήση της κάρτας που παρουσιάσαμε πιο πάνω καθιστά οικονομική τη διαδικασία συλλογής των φασμάτων.



Τυπικές τιμές ισομερούς μετατόπισης σε σχέση με το σθένος του σιδήρου [41]

Εφαρμογή αντίληψης χώρου σε εικονικό περιβάλλον

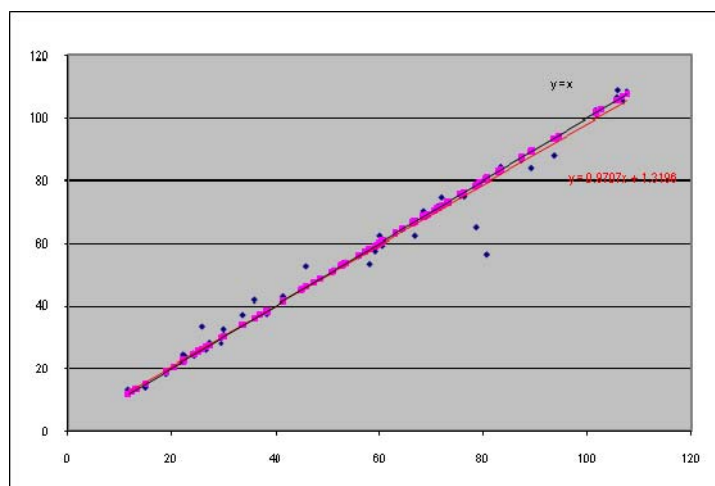
Τα ακόλουθα δεδομένα έχουν ανακληθεί από μεταπτυχιακή εργασία [59] στην οποία περιλαμβάνονται και τα γραφήματα (Α,Β,Γ,Δ).

Αφορά την επεξεργασία δεδομένων που συλλέχθηκαν με χρήση του προγράμματος αξιολόγησης αντίληψης σε τρισδιάστατο εικονικό χώρο και η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο ομάδων έγινε με χρήση του στατιστικού τεστ T Student.

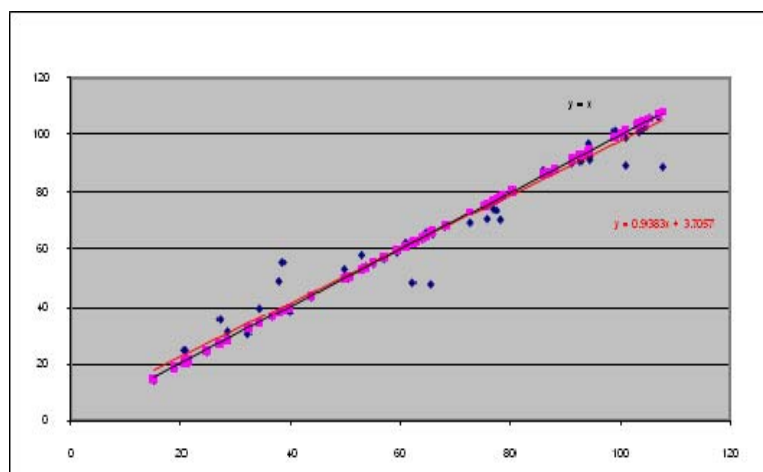
Η εφαρμογή του t Test κατέδειξε **στατιστικά σημαντική διαφορά** για την περίπτωση του συγκριτικού τεστ έναντι **καμίας στατιστικά σημαντικής διαφοράς** για το μνημονικό τεστ.

Έλεγχος t δύο δειγμάτων με υποτιθέμενες άνισες διακυμάνσεις

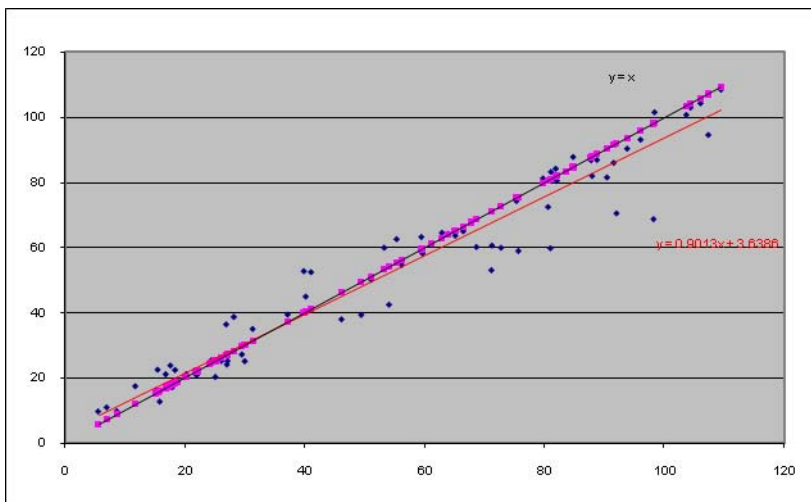
	Μη δυσλεκτικοί	Δυσλεκτικοί
Μέσος	0.031218153	0.052662879
Διακύμανση	0.003133529	0.00780121
Μέγεθος δείγματος	81	63
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων βαθμοί ελευθερίας	0	99
	-	
T	1.682188851	
P(T<=t) μονόπλευρη	0.047841966	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	1.660391157	
P(T<=t) δίπλευρη	0.095683932	
t κρίσιμο, δίπλευρο	1.9842169	



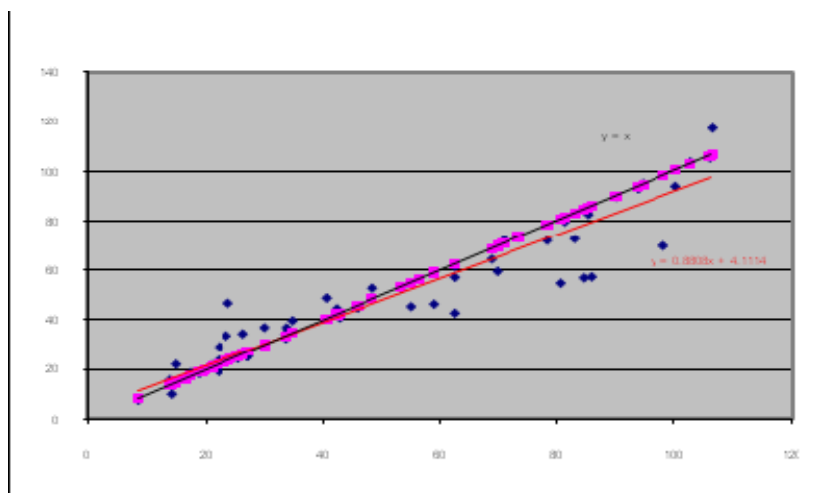
(Α) Γραφική απεικόνιση των αποκλίσεων του **συγκριτικού test** για την ομάδα των *μη δυσλεκτικών*



(Β) Γραφική απεικόνιση των αποκλίσεων του **συγκριτικού test** για την ομάδα των *δυσλεκτικών*



(Γ) Γραφική απεικόνιση των απολκίσεων του **μνημονικού test** για την ομάδα των *μη* δυσλεκτικών



(Δ) Γραφική απεικόνιση των απολκίσεων του **μνημονικού test** για την ομάδα των **δυσλεκτικών**

Εφαρμογή αντίληψης ήχου

Τα ακόλουθα δεδομένα αφορούν την εφαρμογή ηχητικής αντίληψης και οι ακουστικές συχνότητες κάλυπταν δειγματοληπτικά χαμηλές μεσαίες και υψηλές συχνότητες. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται ακολούθως υπό μορφή πίνακα ξεχωριστά για γυναίκες και άνδρες.

Χαμηλές συχνότητες (Γυναικείο δείγμα)				
<i>A / A</i>	<i>125 Hz</i>	<i>250 Hz</i>	<i>500 Hz</i>	<i>550 Hz</i>
1	131	244	515	545
2	128	250	468	534
3	146	233	356	500
4	133	198	490	539
5	170	275	439	542
6	141	269	504	541
7	126	249	489	555
8	137	233	500	496
9	131	255	499	550
10	132	250	500	519
11	128	239	486	542
12	131	259	506	479
13	134	320	460	484
14	128	254	513	542
15	136	234	503	550
16	126	238	494	541
17	125	248	507	558
18	125	274	455	522
19	131	280	500	584
20	135	331	397	462
21	131	255	499	550
M.O	129.7727	256.5714	480	530.2381
Διακύμανση	20.253	29.16088	40.17088	30.08472

Μεσαίες συχνότητες (Γυναικείο δείγμα)				
<i>A / A</i>	<i>1000 Hz</i>	<i>2000 Hz</i>	<i>3000 Hz</i>	<i>3050 Hz</i>
1	1029	1970	3073	3055
2	1886	1897	2547	1681
3	957	2033	2243	2668
4	916	2016	2884	3228
5	1145	1870	3003	3303
6	935	1908	2960	3064
7	988	2010	3003	3109
8	1046	2000	3275	3182
9	999	2004	3003	3050
10	1011	2022	2892	2826
11	1005	2087	3091	3029
12	993	2000	3055	3073
13	1131	1656	2123	2622
14	1002	1998	3163	3055

15	985	1953	3012	3064
16	957	1958	2859	2969
17	924	2010	3000	3055
18	943	1725	2453	2629
19	1000	2224	2986	3284
20	1220	1964	2951	2683
21	999	2004	3003	3050
M.O	1051	1967.1	2884.71	2937.1
Διακόμανση	205.4863	116.8708	294.5926	351.9254

Υψηλές συχνότητες (Γυναικείο δείγμα)				
<i>A / A</i>	<i>4000 Hz</i>	<i>6000 Hz</i>	<i>6500 Hz</i>	<i>8000 Hz</i>
1	3895	6147	6900	7812
2	4618	5768	6309	7352
3	4260	5752	5989	6094
4	4284	5920	5869	7481
5	5124	6419	5702	7289
6	3795	5768	6494	7972
7	3861	5972	6588	8205
8	3676	6024	6401	7972
9	3997	6000	6494	7995
10	4032	6000	6494	7926
11	4879	5989	6531	7857
12	3929	5835	6494	7926
13	4384	7789	7416	8064
14	3986	6041	6512	7995
15	4020	5903	6684	7972
16	3997	6000	6494	4618
17	4032	5937	6512	8041
18	3963	6041	6494	8000
19	4539	5572	6076	7926
20	4740	5886	6364	8064
21	3997	6000	6494	7995
M.O	4190.857	6036.333	6443.381	7645.524
Διακόμανση	385.5675	435.1521	354.6461	829.2578

Χαμηλές συχνότητες (Ανδρικό δείγμα)				
<i>A / A</i>	<i>125 Hz</i>	<i>250 Hz</i>	<i>500 Hz</i>	<i>550 Hz</i>
1	142	251	497	547
2	129	240	490	547
3	131	228	490	476
4	128	254	484	589
5	125	251	499	548
6	126	244	501	548
7	126	250	503	547
8	133	251	500	552
9	132	257	504	544

10	125	256	500	539
11	126	262	486	555
12	130	255	503	548
13	125	249	507	552
14	127	248	499	548
15	136	231	457	550
16	131	246	499	550
17	125	248	501	545
18	125	254	501	548
19	127	249	500	552
20	138	239	493	553
21	126	249	499	556
M.O	129.1905	248.1905	495.8571	547.3333
Διακόμευση	4.781412	8.21352	10.69713	18.91913

<i>A / A</i>	Μεσαιές συχνότητες (Ανδρικό δείγμα)			
	<i>1000 Hz</i>	<i>2000 Hz</i>	<i>3000 Hz</i>	<i>3050 Hz</i>
1	1011	2022	2943	3055
2	1002	1987	2943	3055
3	1059	1493	2390	2746
4	1008	2016	3012	3055
5	0991	1998	3003	3055
6	1002	2004	3003	3047
7	1000	2016	2876	3064
8	1000	1998	2994	3047
9	0999	2004	3038	3055
10	0999	2010	3012	3047
11	0938	1998	2892	3209
12	1059	2033	3047	3127
13	1002	2010	3003	3055
14	1002	2004	3003	3055
15	1141	1976	2994	3038
16	0993	1998	2918	3064
17	0999	2033	2994	3029
18	1248	1993	3003	3055
19	1002	1998	3003	3050
20	1029	1998	3012	3029
21	999	1998	3000	3064
M.O	1023	1980.333	2956.333	3047.667
Διακόμευση	64.13345	112.5101	137.2164	79.16839



Υψηλές συχνότητες (Ανδρικό δείγμα)				
<i>A / A</i>	<i>125 Hz</i>	<i>250 Hz</i>	<i>500 Hz</i>	<i>550 Hz</i>
1	3997	5937	6419	7972
2	4020	6024	6475	7949
3	4284	5802	5719	6645
4	3997	5955	6494	7995
5	3986	5972	6494	7995
6	3997	6006	6494	8041
7	4055	5886	6665	8205
8	3997	6006	6512	7995
9	3963	6111	6550	7972
10	3997	6024	6494	7310
11	3986	5937	6456	7268
12	4091	5886	6588	7081
13	3997	6024	6512	8018
14	3997	6006	6512	8018
15	4020	5989	6762	7745
16	3986	5972	6569	8064
17	3997	6006	6512	8064
18	4009	6006	6494	7972
19	3997	6006	6494	8000
20	4009	5989	6494	6345
21	4009	6024	6494	8018
M.O	4018.619	5979.429	6485.857	7746.286
Διακύμανση	66.24309	64.39066	190.607	510.0328

Εφαρμογή αντίληψης χρωμάτων

Τα ακόλουθα δεδομένα αφορούν τυπική εφαρμογή του προγράμματος χρωματικής αντίληψης για τους ακόλουθους χρωματικούς συνδυασμούς .



Οι αριθμητικές τιμές των πιο πάνω χρωμάτων έχουν ως εξής:

	Κόκκινο	Πράσινο	Μπλε
	255	128	0
	0	128	128
	0	255	64
	128	128	255
	128	0	128
	15	103	113
	78	50	72
	255	255	0

Οι απαντήσεις των υποκειμένων εμφανίζονται ακολούθως υπό μορφή πίνακα ξεχωριστά για την περίπτωση την μνημονικής και συγκριτικής διαδικασίας.

	Κόκκινο	Πράσινο	Μπλε
1	160	94	14
	61	193	182
	19	235	86
	104	150	193
	179	75	165
	131	194	236
	149	105	168
	255	253	0
2	241	37	25
	51	109	198
	72	243	12
	54	165	216
	162	45	149
	60	138	110
	114	100	152
	255	255	0
3	200	122	0
	93	161	189
	6	255	28
	104	143	172
	133	69	178
	104	133	168
	117	71	119
	255	255	0

4	197	118	18
	96	158	204
	14	247	6
	77	189	233
	194	63	187
	89	156	141
	162	78	215
	255	252	0

	Κόκκινο	Πράσινο	Μπλε
1	253	122	14
	3	135	132
	19	255	57
	126	132	212
	135	1	145
	19	103	109
	80	48	73
	255	255	0
2	255	120	0
	0	129	130
	18	249	52
	118	130	222
	125	0	131
	0	100	109
	78	51	73
	255	255	0
3	255	124	0
	33	143	138
	13	255	58
	126	128	238
	136	0	141
	0	99	105
	91	53	79
	255	255	14
4	255	131	11
	0	125	122
	0	255	56
	117	123	255
	129	0	132
	15	102	112
	76	47	72
	255	255	0

Εφαρμογή κιναισθητικής αντίληψης

Από τα υποκείμενα που συμμετείχαν στην μετρητική διαδικασία τους είχε ζητηθεί να σχηματίσουν καταρχήν με το δεξί και κατόπιν με το αριστερό χέρι μια ορθή γωνία, μια αμβλεία και μια οξεία. Στη συνέχεια τους ζητήθηκε, αφού απομνημονεύσουν αυτές τις γωνιακές θέσεις να επιχειρήσουν να τις ξαναβρούν με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια. Αποτελέσματα της πιο πάνω διαδικασίας σε επτά υποκείμενα εμφανίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

	Αρχική τιμή	Τυπική απόκλιση	Από μνήμης	Τυπική απόκλιση
1	98.003	1.452	93.040	1.270
	133.950	0.369	138.962	0.596
	47.829	0.776	49.102	0.534
	101.427	1.225	105.334	0.786
	147.407	1.003	153.844	1.284
	58.334	1.293	51.510	0.541
2	100.128	0.435	100.801	0.651
	145.604	0.741	143.722	1.112
	59.386	0.580	47.575	0.900
	106.778	0.914	109.716	3.325
	160.469	1.010	162.441	0.917
	55.475	1.456	56.912	0.654
3	102.616	0.642	99.335	0.636
	135.106	0.384	143.426	0.473
	53.380	0.209	44.716	0.282
	115.338	0.688	110.936	1.740
	144.090	1.003	150.051	1.050
	52.280	2.618	52.640	0.396
4	84.521	0.426	91.669	0.511
	132.773	0.354	137.510	0.415
	76.491	1.493	77.768	0.607
	94.795	0.548	91.788	1.789
	147.334	0.281	153.776	0.983
	63.292	0.370	62.878	1.061
5	88.093	1.264	91.027	1.417
	139.888	0.484	146.739	1.178
	56.855	0.775	56.104	0.634
	95.516	1.125	91.027	0.917
	147.958	0.792	138.842	0.572
	64.700	0.415	67.271	1.804
6	84.521	0.426	91.669	0.511
	132.773	0.354	137.510	0.415
	76.491	1.493	77.768	0.607
	94.795	2.087	91.788	1.789
	147.334	0.465	153.776	0.983
	63.292	0.370	62.878	1.061

7	94.760	0.494	99.222	0.916
	152.069	2.244	143.231	0.394
	70.296	0.575	66.474	0.500
	103.096	0.704	99.364	1.308
	134.853	0.183	135.364	1.237
	66.473	0.839	64.103	0.543

Συμπεράσματα Προτάσεις

Στην παρούσα ερευνητική εργασία καταδείχθηκε η υλοποίηση μίας νέας πειραματικής διαδικασίας για την αντικειμενικοποίηση και παραμετροποίηση διαφόρων ανθρώπινων αντιληπτικών ικανοτήτων, με ιδιαίτερο ενδιαφέρον από τον τομέα της φυσιολογίας. Πέραν της καινοτομίας, έχει σημασία ότι οι υλοποιήσεις αυτές έχουν πολύ μικρό οικονομικό κόστος, εφόσον χρησιμοποιούν την ήδη υπάρχουσα και ευρέως διαδεδομένη τεχνολογία των προσωπικών υπολογιστών, ώστε η χρήση τους να μπορεί να επεκταθεί σε κάθε χώρο. Συνεπώς, αφενός μπορεί εύκολα να διεξαχθούν διαγνωστικές ιατρικές έρευνες και να συγκεντρωθεί πλήθος δεδομένων με μηδενικό κόστος, αφετέρου μπορούν να καθορισθούν “φυσιολογικές” τιμές των παραμέτρων και να χρησιμοποιηθούν, με ελάχιστη εκπαίδευση και από μη-ειδικούς ως δοκιμασίες screening του πληθυσμού.

Επίσης, στην πορεία της έρευνας, η αναζήτηση υλοποίησης της φασματοσκοπίας Mössbauer με χρήση Microcontroller προσέφερε μία λύση που αποτελεί καινοτομία για τη φυσική επιστήμη. Επιπλέον, όμως, καινοτομία αποτελεί και η μεταφορά αυτής της προσβάσιμης υλοποίησης για χρήση στην ιατρική επιστήμη, αναδεικνύοντας τα σημαντικά οφέλη που προκύπτουν από τη διεπιστημονική συνεργασία, ακόμη και με σχεδόν μηδενικό οικονομικό προϋπολογισμό.

Η τεκμηρίωση που παρέχεται από την παρούσα εργασία, πιστεύουμε ότι ανοίγει ένα δρόμο για περαιτέρω εφαρμογές, ανάλογα με τις ανάγκες, τις αναζητήσεις και τη φαντασία των συνεργαζόμενων επιστημόνων.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια να κατασκευαστούν μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, μέθοδοι αντικειμενικής καταγραφής αισθητηριακών ερεθισμάτων και βιοχημικών παραμέτρων. Έτσι έγινε κατασκευή μεθόδων καταγραφής:

1. της ακουστικής αντίληψης (αντίληψη ακουστικών συχνοτήτων)
2. της αντίληψης του χώρου – βάθους σε εικονικό περιβάλλον.
3. της αντίληψης των χρωμάτων.
4. της κιναισθητικής αντίληψης.

Τα παραπάνω τεστ εκτίμησαν ποσοτικά τόσο τη μνημονική λειτουργία όσο και τη συγκριτική λειτουργία καταγραφών στον εικονικό χώρο. Παράλληλα περιγράφηκαν οι δυνατότητες των προγραμμάτων καταγραφής της αντίληψης των σωματοσπλαχνικών αισθήσεων πίεσης δόνησης και θερμότητας.

5. Τέλος κατασκευάστηκε:

A) πρόγραμμα που υπολογίζει από πρώτες αρχές (διαγωνοποίηση χαμιλτονιανών πινάκων) τις παραμέτρους φασμάτων Mossbauer και

B) ηλεκτρονική συσκευή εξαιρετικά χαμηλού κόστους συλλογής φασμάτων Mossbauer.

Πραγματοποιήθηκαν ενδεικτικές μετρήσεις ηχητικής αντίληψης, αντίληψης του χώρου, αντίληψης των χρωμάτων φυσιολογικών ατόμων και προσδιορίστηκε ο τύπος της αιμοσφαιρίνης του αίματος καθώς και το σθένος του σιδήρου σε δείγματα αίματος φυσιολογικών ατόμων.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι μέθοδοι που κατασκευάστηκαν καθώς και οι προοπτικές μεθόδων που μπορούν να προκύψουν στο μέλλον δίνουν για πρώτη φορά αντικειμενική – ποσοτική καταγραφή της αντίληψης αισθητικών - αισθητηριακών ερεθισμάτων και βιοχημικών παραμέτρων και είναι δυνατόν να συμβάλλουν στη διάγνωση διαταραχών της αντίληψης. Ακόμη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση των επιδράσεων ψυχοτρόπων φαρμάκων στην αντίληψη. Επίσης ορισμένες από αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση ατόμων με ειδικές ικανότητες στις τέχνες (μουσική, ζωγραφική).

Abstract

In the present study an attempt has been made for the development of methods that can objectively record sensory stimulus through the use of personal computers.

The following methods have been developed for the evaluation of:

1. Sound perception
2. Spatial perception in a virtual environment.
3. color perception.
4. kinesthetic perception.

The above tests have been used to quantitatively evaluate the mnemonic and comparative measurements made in a virtual environment. Also we have described the potential of the creation of similar applications for the perception of pressure, vibration and temperature.

5. finally have been developed
 - a. A program capable of calculating ab initio (diagonalization of Hamiltonian matrices) the effective parameters of Mossbauer spectrums.
 - b. A low cost electronic device capable of acquiring Mossbauer spectrums.

Indicative measurements for sound, color and spatial perception have been made and also have been directly determined the oxidation states of Oxyhemoglobin and Deoxyhemoglobin in blood samples of normal human volunteers.

The results shows that the methods that have been developed can give us for the first time objective – quantitative measurements of motional – sensory stimuli and biochemical parameters and are able to contribute in the diagnosis of perception disorders. These methods can also give informative results for the effects of psychoactive - psychotropic drugs on cognitive functions of human brain. Also some of the above methods can be used for the determination of people with dexterities in the art fields (music , painting)

Αναφορές

Γενικό Μέρος

1. Human Information Processing Lindsay – Norman Academic Press.
2. Speech Recognition Claudio Becchetti, Lucio Prina Ricotti Wiley, 1999.
3. Despopoulos A.& Silbernagl S.(2003) Color Atlas of Physiology, Thieme Verlag, Stuttgart.
4. Damasio, H. & Damasio, A. (1989). Lesion Analysis in Neuropsychology. New York: Oxford University.
5. Guyton A.C. & Hall J.E. (2006) Ιατρική Φυσιολογία,11η εκδοση, Παρισιάνου Α.Ε,Αθήνα.
6. Kupfer, J., Monk, J. & Barchas, J. (1988). Biological Rhythms and Mental Disorders. New York: Guilford.
7. Rhoades R. & Pflanzer R (1996) Human Physiology, 3rd ed., Saunders College Publ.
8. Καφετζόπουλος Ε. (1995). Εγκέφαλος, Συνείδηση και Συμπεριφορά. Αθήνα: Εξάντας.
9. Springer, S.P., & Deutsch, G. (1989). Left Brain, Right Brain (3η έκδ.). New York: W. H. Freeman & Company.
10. Baddeley, A. (1992). Implications of Neuropsychological Evidence for Theories of Normal Memory. In: Neuropsychology: The Neuronal Basis of Cognitive Function (Ed: International School of Neuroscience). New York: Thieme.
11. Frazer A., Molinoff, P., & Winokur, A. (Eds) (1994). Biological Bases of Brain Function and Disease. New York: Raven.
12. Kesner, R.P. (1990). Learning and memory in rats with an emphasis on the role of the hippocampal formation. In R.P. Kesner & D.S Olton (Eds.), Neurobiology of comparative cognition (pp. 179-204). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
13. O'Keefe, J. (1983). Spatial memory within and without the hippocampal system. In W. Seifert (Ed.), Neurobiology of the hippocampus (pp. 375-403). London: Academic Press.
14. Squire, L.R. (1992). Memory and the hippocampus: A synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. Psychological Review, 99, 195-231.
15. Hampson, Heyser, & Deadwyler, 1993• Sakurai, 1990

16. Fundamental Neuroscience M. J. Zigmond, F. E. Bloom, S. C. Landis, J. L. Roberts, L. R. Squire Academic Press 1999 p. 1411 - 1413.
17. Ελληνική Εταιρεία για τις Νευροεπιστήμες (Ε.Ε.Ν.). (1996). Τι Γνωρίζουμε για τον Εγκέφαλο, Αθήνα: Καστανιώτη.
18. Ahissar M., Protopapas A., Reid M., Merzenich M.M. (2000). Auditory processing reading abilities in adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 97 (12), 6832-6837.
19. King W.M., Lombardino L.J., Crandell C.C., Leonard C.M (2003). Comorbid auditory disorder in developmental dyslexia. *Ear and Hear*, 24, 448-456.
20. Nagarajan S., Mahncke H., Salz T. Et Al. (1999). Cortical auditory signal processing in poor readers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 96, 6483-6488.
21. Kalat, J.W., (1995). *Biological Psychology*, International Thomson Publishers.
22. Sherrington CS. (1918). Observations on the sensual role of the proprioceptive nerve-supply of the extrinsic ocular muscles. *Brain* 1918b; 41: 332–43.
23. Merton, P.A.(1972). How we control the contraction of our muscles. *Scientific American*, 226(5), 30-37.
24. Miles, F.A., & Evarts, E.V.(1979). Concepts of motor organization. *Annual Review of Psychology*, 30, 327-362.
25. Sacks, O. (1986). *The man who mistook his wife for a hat: And other clinical tales*. New York, NY: Summit Books.
26. Robles de la Torre G. (2006). The Importance of the Sense of Touch in Virtual and Real Environments. *IEEE Multimedia* 13(3), Special issue on Haptic User Interfaces for Multimedia Systems, pp. 24–30 (2006).
27. Ghez C., Gordon J., Ghilardi M. F. (1995). Impairments of reaching movements in patients without proprioception. II. Effects of visual information on accuracy. *Journal of Neurophysiology*, 73, (1) , 361-372.

Ειδικό Μέρος.

28. Visualizing Quaternions. Andrew J. Hanson Morgan Kaufmann 2005
29. Treatise on Electricity and Magnetism Vol 2 James Maxwell
30. Practical Algorithms for 3D Computer Graphics R. Stuart Ferguson. A K Peters, 2001
31. Color Theory and modelling for Computer Graphics Visualization. Haim Levkowitz Springer 1997
32. Auditory Perception 3rd Edition Richard M. Warren
33. Backus John, The Acoustical Foundations of Music, 2nd Ed, W W Norton, New York, 1977
34. MultiView Geometry Hartley Zisserman, Cambridge University Press
35. Geometric Transformations Vol 2. Projective Transformations P.S. Modenov, A.S. Parkhomenko. 1965
36. Learning OpenCV. Gary Bradski, Adrian Kaehler O'Reilly 2008
37. A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-shelf TV Cameras and Lenses Roger Y. Tsai
38. A Four-step Camera Calibration Procedure with Implicit Image Correction Janne Heikkila and Olli Silven
39. On Plane-Based Camera Calibration: A General Algorithm, Singularities, Applications Sturm, P.F. Maybank, S.J. 1999
40. <http://www.openni.org>
41. A New Autonomous Microcontroller Based Mössbauer Spectroscopy Data Acquisition System A. P. Douvalis, A. Polymeros, P. Triantafyllou, T. Bakas 7th Seeheim Workshop on Mossbauer Spectroscopy (Frankfurt, Germany, June 2011)
42. Mössbauer Spectroscopy and Transition Metal Chemistry. Philipp Gutlich, Eckhard Bill, Alfred X. Trautwein Springer 2011
43. Advanced FPGA Design, Steven Kilts Wiley 2007
44. The First Computers – History and Architectures Ulf Hashagen (The MIT Press)
45. The Art of Electronics Horowitz & Hill (Cambridge University Press) 1989
46. <http://www.tapr.org/pdf/DCC2010-simpleSDR-KF6SJ.pdf>
47. <http://www.funcubedongle.com/>

48. <http://www.qrz.lt/ly1gp/SDR/>
49. IMMSG09: A ^{57}Fe - ^{119}Sn Mossbauer spectra computer fitting program with novel interactive user interface A P Douvalis, A Polymeros and T Bakas, J. Phys.: Conf. Ser. 217
50. Evaluation of Mossbauer spectra for ^{57}Fe WALTER KUNDIG
51. Effective Field Parameters in Iron Mossbauer Spectroscopy Gilbert Hoy – Subhas Chandra
52. Numerical Recipes. William H. Press Cambridge University Press 1999
53. Comparison of Human Oxyhemoglobin Lyophilized Form, Red Blood Cells, and Concentrated Solution: The Features of Mossbauer Spectra and Heme Iron Stereochemistry M. I. Oshtrakh
54. Degradation of blood in the human digestive tract Steen Morup, Claus Johansen
55. Heme iron state in various oxyhemoglobins probed using Mossbauer spectroscopy with a high velocity resolution M. I. Oshtrakh , A. L. Berkovsky ,A. Kumar , S. Kundu , A. V. Vinogradov ,T. S. Konstantinova , V. A. Semionkin
56. Mossbauer spectroscopy of haemoglobins Study of the relationship of Fe $^{2+}$ electronic and molecular structure of the active site M.I. Oshtrakh and V.A. Semionkin.
57. Structural dynamic of human deoxyhemoglobin and hemochrome investigated by nuclear gamma resonance absorption (Mossbauer) spectroscopy K.H. Mayo, D. Kucheida, F. Parak and J.C.W. Chien.
58. <http://en.wikipedia.org/wiki/Hemoglobin#Oxyhemoglobin>
59. Δυσλεξία: Επικοινωνία σε πολυγλωσσικό περιβάλλον & χρήση νέας τεχνολογίας στην αντιμετώπισή της. Μπούφαλη Ευτυχία 2008