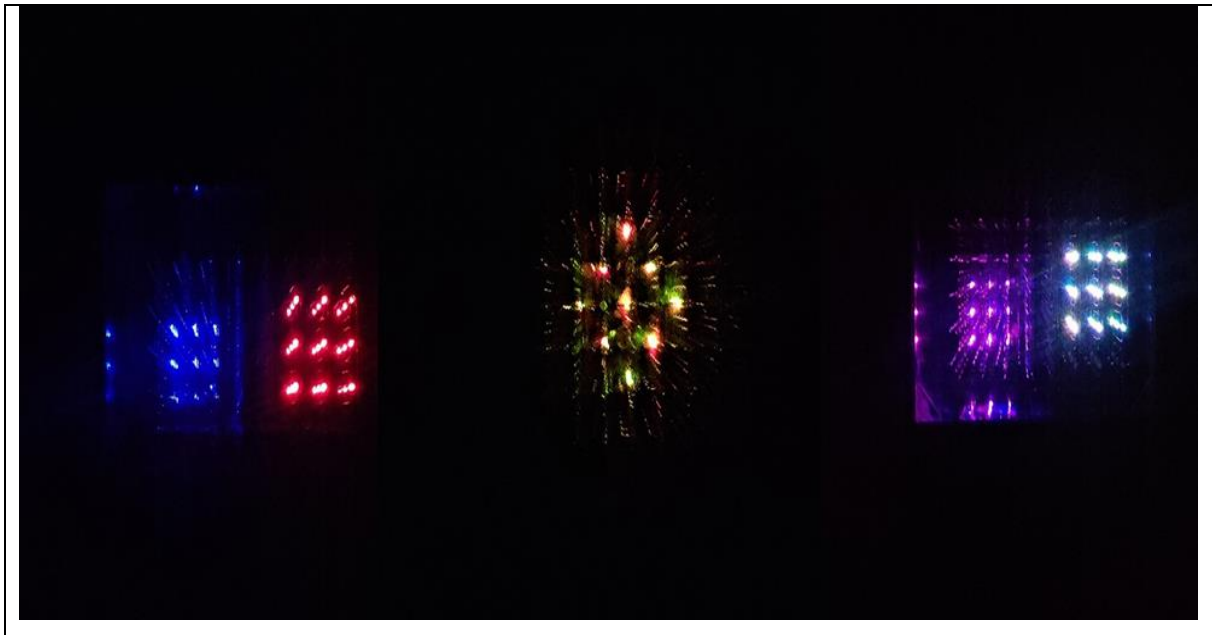


ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Τρισδιάστατη απεικόνιση έγχρωμων ειδώλων κινητών
ή σταθερών»



Του φοιτητή
Σταυρακίδη Απόστολου
Αρ. Μητρώου: 517129

Επιβλέπων
Παναγιώτης Α. Δημητριάδης

Ημερομηνία 22/05/2022

Τίτλος Π.Ε.: « Τρισδιάστατη απεικόνιση έγχρωμων ειδώλων κινητών ή σταθερών»

Κωδικός Δ.Ε.: 19174

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: Σταυρακίδης Απόστολος

Όνοματεπώνυμο εισηγητή: Δημητριάδης Παναγιώτης

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε.: 22/02/2021

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε.: 22/05/2022

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

*Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή **Σταυρακίδη Απόστολου** που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.*

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Αφιερωμένη στην οικογένεια και τους φίλους μου

Πρόλογος

Ο λόγος που έγινε επιλογή της συγκεκριμένης εργασίας είναι γιατί το αντικείμενο της τρισδιάστατης-έγχρωμης απεικόνισης είναι αρκετά ενδιαφέρον και αποτελεί ένα τεχνολογικό πεδίο με πληθώρα εφαρμογών στην τρισδιάστατη απεικόνιση με μελλοντικές αξιώσεις. Οι τρισδιάστατες οθόνες, στην οποία κατηγορία ανήκει και η παρούσα εργασία (3D Led Dot Matrix), προσδοκούν να προσφέρουν μία νέα οπτική εμπειρία στο θεατή. Βέβαια, είναι μία πρώιμη τεχνολογία, που καλείται να αντιμετωπίσει καθημερινά νέες δυσκολίες και προκλήσεις, όπως είναι η περιορισμένη επεξεργαστική ισχύς, η ανάλυση της τρισδιάστατης εικόνας και του μεγέθους κατασκευής. Η παρούσα εργασία προσέφερε εμπειρία, τόσο σε κατασκευαστικά θέματα, όσο και στη σχεδίαση ηλεκτρονικών ψηφιακών κυκλωμάτων (hardware) και προγραμματισμού (software).

Τα οφέλη από την παρούσα εργασία είναι αρκετά και περιλαμβάνουν τη γραφή κώδικα για μικροελεγκτή, τη σχεδίαση ψηφιακών ηλεκτρονικών συστημάτων, την εκτύπωσή των συστημάτων αυτών (σε μορφή πλακετών).

Η χρήση του κατάλληλου εξοπλισμού καθώς και η μέθοδος της όλης κατασκευής του συστήματος, (συμπεριλαμβανομένων των κολλήσεων και συναρμολογήσεων των υλικών και του τρισδιάστατου display), απετέλεσαν μία πρόκληση για απόκτηση επαγγελματικής εμπειρίας.

Η τριβή με τη συγκεκριμένη εργασία αποτέλεσε έναν ωραίο τρόπο επαφής με μία τεχνολογία, πολλά υποσχόμενη για το μέλλον.

Περίληψη

Η τρισδιάστατη απεικόνιση είναι μία τεχνολογία, η οποία αποσκοπεί στην καλύτερη επαφή του θεατή με το οπτικοακουστικό περιεχόμενο. Υπάρχουν πολλές τεχνολογίες τρισδιάστατης απεικόνισης, αλλά για τη συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκε η χρήση της τεχνολογίας ογκομετρικής τρισδιάστατης απεικόνισης. Αυτή η τεχνολογία απεικόνισης αφορά τη χρήση οθόνης, που καταλαμβάνει χώρο τριών διαστάσεων και η μορφή του είναι όπως το γεωμετρικό σχήμα του κύβου. Για την κάλυψη των αναγκών της εργασίας, κατασκευάστηκε τρισδιάστατη ογκομετρική οθόνη, βασισμένη στην τεχνολογία δυσδιάστατου display LED Dot Matrix. Για την απεικόνιση έγχρωμων σχεδίων χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της οθόνης RGB LED. Για να απεικονίσει το display κινούμενα είδωλα, ήταν αναγκαίο να σχεδιαστεί ένα κατάλληλο ηλεκτρονικό ψηφιακό κύκλωμα της οθόνης. Το κύκλωμα αυτό είναι υπεύθυνο για τη σάρωση της οθόνης και για την προβολή των σχημάτων. Το ηλεκτρονικό κύκλωμα σχεδιάστηκε σε λογισμικό κατασκευής τέτοιων συστημάτων και αφού πρώτα δοκιμάστηκε σε πρώιμο στάδιο σε δοκιμαστική πλακέτα, έπειτα εκτυπώθηκε σε πλήθος πλακετών. Το κύκλωμα οδήγησης για να λειτουργήσει σωστά, περιλαμβάνει έναν μικροελεγκτή, ο οποίος είναι υπεύθυνος για όλα τα επιμέρους συστήματα του κυκλώματος και διασφαλίζει την ορθή λειτουργία τους. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλου προγράμματος, το οποίο συντάχθηκε προσαρμοσμένο στη δομή του κυκλώματος και τη συνδεσμολογία της οθόνης. Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή έγινε μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, από όπου σχεδιάστηκαν τα είδωλα προς απεικόνιση. Αυτά, με τη σειρά τους, είναι αποθηκευμένα στη μνήμη του μικροελεγκτή και η επιλογή του επιθυμητού σχήματος για απεικόνιση δύναται να πραγματοποιείται από τον χρήστη, μέσω ενσύρματης συριακής επικοινωνίας, ή μέσω ασύρματης με τη χρήση π.χ. κινητού τηλεφώνου.

«Three-dimensional display of moving or stationary colour figures.»

«Stavrakidis Apostolos»

Abstract

Three dimensional imaging is a technology that aims to improve the viewer's experience of audiovisual content. There are many 3D imaging technologies, but for this project the use of volumetric 3D imaging technology was chosen. This imaging technology involves the use of a screen that occupies space in all three dimensions and its shape is like the geometric shape of a cube. To meet the needs of the project, a 3D volumetric display based on the two-dimensional LED Dot Matrix display technology was constructed. For the display of colorful designs, RGB LEDs were used for the construction of the display. In order to display animated images, it was necessary to design a suitable electronic digital circuit. This circuit is responsible for scanning the display and for displaying the shapes. The electronic circuit was designed in software suitable for designing of such systems and after being tested at an early stage on a test board, it was then printed on a number of circuit boards. In order for the driver circuit to work properly, it includes a microcontroller which is responsible for all the individual systems in the circuit and ensures that they function correctly. This is achieved by using an appropriate program which is written tailored to the structure of the circuit and the wiring of the display. The programming of the microcontroller was carried out via a computer from which the images to be displayed were drawn. These, in turn, are stored in the memory of the microcontroller and selection of the desired shape for display is done by the user through wired serial communication or wireless serial communication using a mobile phone.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	v
Περίληψη	vi
Abstract.....	vii
Περιεχόμενα	viii
Πίνακας σχημάτων	x
Κεφάλαιο 1ο: Η τεχνολογία της απεικόνισης.....	1
1.1 Ορισμός και ιστορία της απεικόνισης	1
1.2 Αναλογικά-ψηφιακά συστήματα και ψηφιακή απεικόνιση	2
1.3 Διαφορές μεταξύ ψηφιακών και αναλογικών οθονών	3
1.4 Είδη ενδεικτών (Displays)	3
1.4.1 Cathode Ray Tube display (CRT)	4
1.4.2 Liquid Crystal Display (LCD) και Light Emitting Diode display (LED) οθόνες.....	4
1.4.3 Οθόνες Plasma.....	5
1.4.4 Organic LED Display (OLED) οθόνες	6
1.4.5 Seven Segment Indicator (Ενδείκτης Επτά Τομέων).....	6
1.4.6 LED Dot Matrix display.....	7
Κεφάλαιο 2ο: Απεικόνιση σε τρεις διαστάσεις.....	9
2.1 Τι είναι η τρισδιάστατη απεικόνιση	9
2.2 Τα τρισδιάστατα στοιχεία Voxels/Hogels	11
2.3 Στερεοσκοπική απεικόνιση (Stereoscopic display)	11
2.3.1 Ανάγλυφο χρωματικής σύμπλεξης (Color interlaced anaglyph)	11
2.3.2 Απεικόνιση με σύμπλεξη πόλωσης (Polarization interlaced display).....	12
2.3.3 Απεικόνιση με σύμπλεξη χρόνου (Time multiplexed display).....	13
2.3.4 Απεικόνιση με κράνος κεφαλής (Head mount display HMD)	14
2.4 Αυτοστερεοσκοπική τρισδιάστατη απεικόνιση.....	15
2.4.1 Ογκομετρική τρισδιάστατη απεικόνιση (Volumetric 3D display).....	15
2.4.1.1 Στατικές και ενεργητικές ογκομετρικές τρισδιάστατες οθόνες (Static and active volumetric 3D displays).....	15
2.4.1.2 Στατικές και παθητικές ογκομετρικές τρισδιάστατες οθόνες (Static and passive volumetric 3D displays).....	16
2.4.2 Ψηφιακή ολογραφική απεικόνιση (Holographic digital display)	17
Κεφάλαιο 3ο: Ογκομετρική τρισδιάστατη ψηφιακή έγχρωμη απεικόνιση με LED Dot Matrix.	18

3.1	Τα LED(Light Emitting Diode).....	18
3.1.1	Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των LED	19
3.1.2	RGB LED.....	20
3.2	Η χρήση του LED Dot Matrix για κατασκευή 3D display	21
3.3	Σάρωση της τρισδιάστατης οθόνης	21
3.4	Σάρωση της τρισδιάστατης οθόνης	22
Κεφάλαιο 4ο: Κατασκευή		24
4.1	Υλικά	24
4.1.1	RGB LED.....	24
4.1.2	Τρανζίστορ	24
4.1.3	Arduino Uno.....	25
4.1.4	Αποπολυπλέκτες.....	26
4.1.5	Bluetooth Module HC-05.....	27
4.2	Συνδεσμολογία της τρισδιάστατης οθόνης	28
4.3	Συνδεσμολογία του κυκλώματος οδήγησης.....	29
4.4	Πορεία σχεδίασης και δοκιμών της τρισδιάστατης οθόνης και του κυκλώματος οδήγησης.....	32
4.5	Σχεδίαση και κατασκευή πλακετών και τελική μορφή της οθόνης.....	35
Κεφάλαιο 5ο: Κώδικας και πρωτόκολλο επικοινωνίας.....		40
5.1	Κώδικας	40
5.1.1	Δομή του κώδικα	40
5.2	Σειριακή επικοινωνία.....	42
5.2.1	Πρωτόκολλο	43
Κεφάλαιο 6ο: Ολοκλήρωση της εργασίας.....		45
6.1	Αποτελέσματα	45
6.2	Συμπεράσματα	49
6.3	Μελλοντικές βελτιώσεις	49
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		51
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΚΩΔΙΚΑΣ		52

Πίνακας σχημάτων

Σχήμα 1.1: Παλιά συσκευή απεικόνισης. Πηγή: www.dreamstime.com	1
Σχήμα 1.1: Παλιά συσκευή απεικόνισης. Πηγή: www.dreamstime.com	2
Σχήμα 1.3: Αναλογική και ψηφιακή συσκευή. Πηγή: www.shutterstock.com	3
Σχήμα 1.4: Κύριο σύστημα CRT Monitor. Πηγή: Brian A. Wandell, Louis D. Silverstein, in The Science of Color (Second Edition), 2003.....	4
Σχήμα 1.5: Συστατικά επίπεδα μίας LCD οθόνης. Πηγή: www.shutterstock.com	5
Σχήμα 1.6: Τα επίπεδα μίας οθόνης Plasma. Πηγή: www.shutterstock.com	5
Σχήμα 1.7: Συστατικά επίπεδα ενός OLED Pixel. Πηγή: www.shutterstock.com	6
Σχήμα 1.8: Ενδείκτης επτά τομέων. Πηγή: www.shutterstock.com	7
Σχήμα 1.9: LED Dot Matrix Display. Πηγή www.shutterstock.com	8
Σχήμα 2.1: Σενάριο τρισδιάστατης απεικόνισης. Πηγή: www.shutterstock.com	9
Σχήμα 2.2: Οι τέσσερεις βασικοί μηχανισμοί του ανθρώπινου ματιού για φυσικό βάθος. Πηγή:[9].....	10
Σχήμα 2.3: Χρήση χρωματικής σύμπλεξης για τρισδιάστατη απεικόνιση. Πηγή: Jonghyun Kim, Younghoon Kim, Jisoo Hong , Gilbae Park , Keehoon Hong , Sung-Wook Min & ByoungHo Lee (2011) A full-color anaglyph three-dimensional display system using active color filter glasses, Journal of Information Display.....	12
Σχήμα 2.4: Απεικόνιση τρισδιάστατης εικόνας με χρήση γυαλιών με αντίθετη πόλωση. Πηγή: www.gamedeveloper.com	13
Σχήμα 2.5: Χρήση γυαλιών με κλείστρο για απεικόνιση τρισδιάστατης εικόνας με σύμπλεξη χρόνου. Πηγή: [9].....	14
Σχήμα 2.6: Τρισδιάστατη εικόνα με προβολή δύο διαφορετικών εικόνα σε κάθε μάτι με χρήση κράνους κεφαλής. Πηγή: [9].....	14
Σχήμα 2.7: Παράδειγμα ογκομετρικής απεικόνισης με χρήση πολλαπλών οθονών LCD. Πηγή: Gregg E. Favalora(2005), Volumetric 3D Displays and Application Infrastructure, www.macs.hw.ac.uk	16
Σχήμα 2.8: Τρισδιάστατη ογκομετρική απεικόνιση με Dot Matrix Cube. Πηγή: [9].....	16
Σχήμα 2.9: Ολογραφική αναπαράσταση καρδιάς. Πηγή: Πηγή: www.shutterstock.com	18
Σχήμα 3.1: Αριστερά απεικόνιση πολικότητας ενός LED και δεξιά το σύμβολο του. Πηγή: www.atlearner.com	19
Σχήμα 3.2: Σχηματικό της διόδου σε ορθή πόλωση, όπου απεικονίζεται η κίνηση των ηλεκτρονίων στους ημιαγωγούς που αποτελούν τη δίοδο p-n και το αποτέλεσμα της παραγωγής φωτονίων όταν ενωθούν στην ενεργό περιοχή τα ηλεκτρόνια και οι οπές. Πηγή: Nafarizal Nayan, Soon Chin Fhong, Khairul Anuar Mohamad (2019), Current Advances In Microdevices and Nanotechnology.....	20
Σχήμα 3.3: Σχηματικό RGB Led κοινής ανόδου. Πηγή: www.circuitbread.com	21
Σχήμα 3.4 : Τρισδιάστατη έγχρωμη οθόνη με τα επίπεδά της.....	23

Σχήμα 3.5: Έλεγχος έντασης ρεύματος με τη χρήση διαμόρφωσης εύρους παλμών.....	23
Σχήμα 3.6: Παράδειγμα ελέγχου της απόχρωσης ενός RGB LED με χρήση διαμόρφωσης εύρους παλμών σε κάθε μία από τις τρεις χρωματικές συνιστώσες.....	24
Σχήμα 4.1: Εξάρτημα RGB LED. Πηγή: www.aliexpress.com	25
Σχήμα 4.2: Συσκευασία τρανζίστορ BD139 και το σύμβολο του διπολικού τρανζίστορ NPN, κατηγορία στη οποία ανήκει το συγκεκριμένο εξάρτημα. Πηγή: www.envirementalb.com	26
Σχήμα 4.3: Συσκευασία τρανζίστορ 2N3904 και το σύμβολο του διπολικού τρανζίστορ NPN, κατηγορία στη οποία ανήκει το συγκεκριμένο εξάρτημα. Πηγή: www.anasounds.com	26
Σχήμα 4.4: Ο μικροελεγκτής Arduino Uno. Πηγή: www.dreamstime.com	27
Σχήμα 4.5: Συσκευασία του αποπολυπλέκτη 3 προς 8 CD74HC238E. Πηγή: www.ecomposant.com	27
Σχήμα 4.6: Πίνακας αληθείας του ολοκληρωμένου CD74HC238E. Πηγή: [5].....	28
Σχήμα 4.7: Το Bluetooth Module HC-05. Πηγή: www.grobotronics.com	28
Σχήμα 4.8: Συνδεσμολογία των pin του Bluetooth Module HC-05. Πηγή: www.grobotronics.com	29
Σχήμα 4.9: Σχηματικό πρόσοψης της οθόνης με τις συνδέσεις μεταξύ των καθόδων κάθε χρωματικής συνιστώσας και στα οκτώ επίπεδα.....	29
Σχήμα 4.10: Σχηματικό κάτοψης της οθόνης με ενωμένες τις ανόδων των LED σε ένα επίπεδο.....	30
Σχήμα 4.11: Σχηματικό συνολικού κυκλώματος οδήγησης.....	30
Σχήμα 4.12: Σχηματικό μέρος του κυκλώματος που αφορά την οδήγηση των ανόδων της οθόνης και ο μικροελεγκτής.....	31
Σχήμα 4.13: Σχηματικό μέρος του κυκλώματος που αφορά την οδήγηση των καθόδων ενός επιπέδου για μία χρωματική συνιστώσα.....	32
Σχήμα 4.14: Σχηματικό μέρος του κυκλώματος που απεικονίζει τον μικροελεγκτή και τον έλεγχο δύο επιπέδων αποπολυπλεκτών.....	32
Σχήμα 4.15: Κατασκευή πρόσοψης της οθόνης.....	33
Σχήμα 4.16: Κατασκευή επιπέδων οθόνης.....	34
Σχήμα 4.17: Ολοκλήρωση συνδεσμολογίας οθόνης.....	34
Σχήμα 4.18: Πειραματική κατασκευή και δοκιμές της λειτουργίας της οθόνης.....	35
Σχήμα 4.19: Πειραματική δοκιμή σάρωσης και απεικόνισης της μωβ απόχρωσης.....	35
Σχήμα 4.20: Σχηματικό προς εκτύπωση της πλακέτας που αφορά την οδήγηση των καθόδων ενός επιπέδου για μία χρωματική συνιστώσα.....	36
Σχήμα 4.21: Σχηματικό προς εκτύπωση της κεντρικής πλακέτας(motherboard).....	37
Σχήμα 4.22: Τρισδιάστατη απεικόνιση της πλακέτας που αφορά την οδήγηση των καθόδων ενός επιπέδου για μία χρωματική συνιστώσα.....	37
Σχήμα 4.23: Τρισδιάστατη απεικόνιση της κεντρικής πλακέτας(motherboard).....	38
Σχήμα 4.24: Εκτυπωμένη πλακέτα που αφορά την οδήγηση των καθόδων χωρίς υλικά.....	38
Σχήμα 4.25: Εκτυπωμένη κεντρική πλακέτα χωρίς υλικά.....	39

Σχήμα 4.26: Εκτυπωμένη πλακέτα που αφορά την οδήγηση των καθόδων με υλικά.....	39
Σχήμα 4.27: Εκτυπωμένη κεντρική πλακέτα με υλικά.....	40
Σχήμα 4.28: Ολοκληρωμένο κύκλωμα οδήγησης αποτελούμενο από την κεντρική πλακέτα και είκοσι τέσσερις πλακέτες οδήγησης καθόδων.....	40
Σχήμα 5.1: Block Diagram της ροής του κώδικα.....	41
Σχήμα 5.2: Block Diagram της διαδικασίας σάρωσης.....	42
Σχήμα 5.3: Χρονοδιάγραμμα της σάρωσης των στοιχείων της οθόνης.....	43
Σχήμα 5.4: Παραλλαγή του λογότυπο του Bluetooth. Πηγή: www.dreamstime.com	44
Σχήμα 6.1: Τελική μορφή του τρισδιάστατου display.....	46
Σχήμα 6.2: Κινούμενη(κυματιστή) τρισδιάστατη αναπαράσταση της ελληνικής σημαίας με το σταυρό στο κέντρο(1822-1969).....	47
Σχήμα 6.3: Τρισδιάστατος έγχρωμος κύβος που μεγαλώνει και μικραίνει κατά τη διάρκεια μίας αλλαγής κατάστασης.....	47
Σχήμα 6.4: Κύβος τριών διαστάσεων που κινείται μέσα στο τρισδιάστατο display και σε κάθε διαφορετική θέση μέσα στο χώρο αλλάζει και ο χρωματισμός του(μπλε, κόκκινο, άσπρο, μωβ, κίτρινο, κλπ.).....	48
Σχήμα 6.5: Κινητές σημαίες της Ουκρανίας και της Ρωσίας.....	48
Σχήμα 6.6: Τρισδιάστατη αναπαράσταση των αριθμών 3, 2, 1 που προβάλλονται σαν αντίστροφη μέτρηση.....	49
Σχήμα 6.7: Τρισδιάστατη απεικόνιση έγχρωμου ανθρωπόμορφου ειδώλου.....	49
Σχήμα 6.8: Τρισδιάστατο κινούμενο display με δύο αποχρώσεις που αναγράφει τη φράση «I LOVE YOU» με τρία σύμβολα που μετακινούνται στον χώρο.....	50

Κεφάλαιο 1ο: Η τεχνολογία της απεικόνισης

1.1 Ορισμός και ιστορία της απεικόνισης

Ο όρος απεικόνιση αναφέρεται συνήθως σε ένα μέσο ή μία συσκευή εξόδου η οποία προσφέρει πληροφορίες σε οπτική μορφή. Ο άνθρωπος από τα πρώτα χρόνια της ιστορίας του ένιωθε την ανάγκη να καταγράφει το καθετί συμβαίνει γύρω του και να το παρουσιάζει σε οπτική μορφή(τοιχογραφίες, είδωλα, εικόνες, video). Οι συσκευές απεικόνισης έχουν εξελιχθεί με το πέρασμα του χρόνου από απλά ηλεκτρομηχανικά συστήματα για την απλή εμφάνιση γραπτού κειμένου σε αμιγώς ηλεκτρονικές συσκευές που διαθέτουν τη δυνατότητα παρουσίασης τρισδιάστατων έγχρωμων οθονών γραφικών πλήρους κίνησης. Η πρώτη προσπάθεια ηλεκτρικής απεικόνισης έγινε το 1987 με την δημιουργία της cathode ray tube(CRT) τηλεόρασης η οποία βγήκε για πρώτη φοράς την αγορά το 1922. Χαρακτηριστικό των πρώτων CRT τηλεοράσεων είναι η ασπρόμαυρη μορφή κάτι το οποίο διατηρήθηκε για πάνω από τρεις δεκαετίες.[8]



Σχήμα 1.1: Παλιά συσκευή απεικόνισης. Πηγή: www.dreamstime.com

Συγκεκριμένα το 1954 κυκλοφόρησαν τα έγχρωμα CRT displays που βρήκαν εφαρμογή στις έγχρωμες τηλεοράσεις. Το 1961 εφευρέθηκε ο λαμπτήρας LED και κατοχυρώθηκε το πρώτο υπέρυθρο LED από τους Robert Biard και Gary Pittman, ενώ το 1962 δημιουργήθηκε το πρώτο ορατό φως LED από τον Nick Holonyak. Σπουδαία στιγμή στην ιστορία της τεχνολογίας της απεικόνισης είναι η εφεύρεση των οθονών Plasma και LCD από τον James Fergason το 1964 οι οποίες ακόμα δεν είχαν την αρκετή αναγνώριση. Επίσης, αυτή την εποχή κυκλοφορούσαν αρκετά και οι οθόνες LED. Από το 1970 και έπειτα οι LCD άρχισαν κυριαρχούν όλο και περισσότερο. Μερικά παραδείγματα είναι η Twisted Nematic Field Effect LCD(1971), η Super-Twisted Nematic LCD(1984) και η Thin Film Transistor(TFT) LCD(1986). Η TFT LCD αντικατέστησε τις CRT οθόνες και από το 1995 οι έγχρωμες οθόνες Plasma προσφέρουν όλο και περισσότερο στη ποιότητας της απεικόνισης. Από στις αρχές του 21ου αιώνα αρχίζει να γίνεται χρήση των Organic Light Emitting Diode(OLED) οθονών και

δημιουργούνται πλέον και οι τρισδιάστατες απεικονίσεις, τις οποίες είναι δυνατόν να αντιληφθεί ο άνθρωπος σε οθόνες LCD με τη βοήθεια γυαλιών και κρανών υψηλής τεχνολογίας.[8]

1.2 Αναλογικά-ψηφιακά συστήματα και ψηφιακή απεικόνιση

Ένα σύστημα ορίζεται ως αναλογικό όταν αυτό μετράει και αποκρίνεται σε συνεχόμενες μεταβολές σε ηλεκτρικά και φυσικά μεγέθη. Από την άλλη μεριά, ένα ψηφιακό σύστημα διαχειρίζεται διακριτά ψηφία τα οποία αναπαριστούν αριθμούς σύμβολα και γράμματα. Συνδέονται αποκλειστικά με καταστάσεις λειτουργίας ON και OFF, οι οποίες μπορούν να αναπαρασταθούν με μονάδες (1) ή μηδενικά (0). Πλέον έχοντας μπει για τα καλά στον 21ο αιώνα παρατηρούμε ότι βρισκόμαστε στην εποχή της τεχνολογίας στην οποία σχεδόν όλες οι συσκευές είναι ψηφιακές. Αυτό οφείλεται, στο ότι ο άνθρωπος ήθελε συσκευές που θα μπορούν να μεταφράζουν, να επικοινωνούν, να επεξεργάζονται και να αποθηκεύουν αναλογικές πληροφορίες με εύκολο τρόπο. Αυτός ο τρόπος, είναι η μετατροπή των φυσικών αναλογικών πληροφοριών σε ψηφιακή μορφή και σε ψηφιακή αναπαράσταση.[2]



Σχήμα 1.2: Αναλογικό ή ψηφιακό; Πηγή: www.shutterstock.com

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω μια ψηφιακή τιμή μπορεί να έχει δυο καταστάσεις(ON και OFF) οι οποίες συμβολίζονται με τους αριθμούς 0 και 1. Μια απεικόνιση σε ψηφιακή μορφή σε μία οθόνη αποτελείται από πολλούς συνδυασμούς μηδενικών και άσσων και αυτό συμβαίνει για να δώσει ως τελικό αποτέλεσμα ένα ενιαίο οπτικό σύνολο που θα είναι οικείο στο ανθρώπινο μάτι. Αυτά τα μηδενικά και οι άσσοι είναι ευρέως γνωστά ως pixel(picture element). Η λογική του σχηματισμού μιας ψηφιακής εικόνας είναι παρόμοια με τη λογική ενός ψηφιδωτού μωσαϊκού. Στις οθόνες ο συνδυασμός των ψηφίων σε δυαδικό σύστημα(αλληλουχία μόνο 0 και 1) δημιουργούν λέξεις σε δυαδικό κώδικα- στη γλώσσα των ψηφιακών και πιο συγκεκριμένα στο δυαδικό σύστημα οι αριθμοί 0 και 1 λέγονται bits ενώ οι οκτάδες που αποτελούνται από μηδενικά και άσσους λέγονται bytes- οι οποίες μεταφράζονται σε χρώματα και σχέδια. Πρόσθετα ο έλεγχος των ηλεκτρονικών συστημάτων των οθονών γίνεται μέσω ψηφιακών σημάτων, δηλαδή μέσω ενεργοποίησης ενός ή παραπάνω bits. Συνήθως για ενεργοποίηση ενός σήματος χρησιμοποιείται το bit 1(5 volts) και για απενεργοποίηση του το bit 0(0 volts). Σε αυτή τη λογική είναι βασισμένες και οι οθόνες LED. Είναι γνωστό πως η ψηφιακή εποχή στις απεικονίσεις

είναι κάτι πρόσφατο και σίγουρα τα επόμενα χρόνια βρίσκεται σε πολύ υψηλό επίπεδο σε σχέση με το σήμερα. Προκάτοχος της ψηφιακής απεικόνισης ήταν η αναλογική που είχε σαν χαρακτηριστικό τη συνέχεια στον χρόνο και στη τάση των σημάτων. Στην επόμενη παράγραφο θα δούμε κάποιες διαφορές μεταξύ των ψηφιακών και αναλογικών οθονών.[2]



Σχήμα 1.3: Αναλογική και ψηφιακή συσκευή. Πηγή: www.shutterstock.com

1.3 Διαφορές μεταξύ ψηφιακών και αναλογικών οθονών

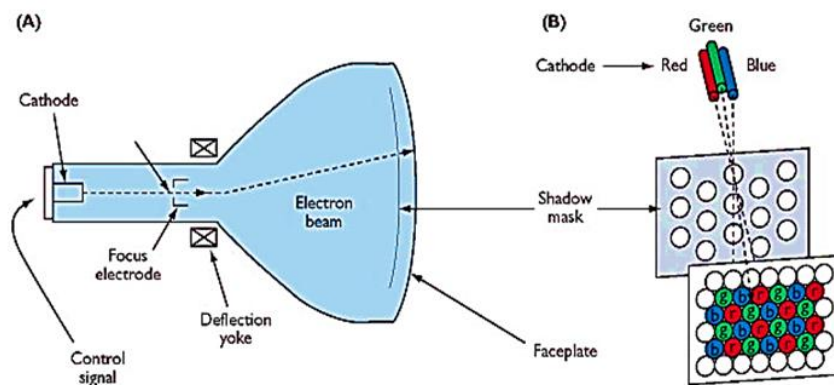
- Οι ψηφιακές οθόνες χρησιμοποιούν ψηφιακά σήματα σε όλη την επεξεργασία της εικόνας χωρίς να υπάρξει παραμόρφωση και χρησιμοποιούνται σε λειτουργία υψηλής ακρίβειας. Ωστόσο, οι αναλογικές οθόνες χρησιμοποιούν αναλογικά σήματα σε ορισμένα κυκλώματα οδήγησης και είναι δυνατόν να υπάρξουν σημαντικές απώλειες στη διαδικασία μετάδοσης και μετατροπής σήματος. Ακόμα, υπάρχει πρόβλημα στην αναλογία του σήματος προς τον θόρυβο, για αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται γενικά μόνο όταν το εφέ και η σταθερότητα της εικόνας δεν είναι υψηλά.
- Η ψηφιακή οθόνη είναι ένα σήμα προοδευτικής σάρωσης υψηλής ευκρίνειας, ενώ η αναλογική οθόνη είναι ένα τυπικό σήμα διασυνδεδεμένου βίντεο.
- Οι ψηφιακές οθόνες είναι ιδανικές για την προβολή κινητών και ακίνητων εικόνων. Στις πρώτες αναλογικές οθόνες υπήρχαν τρεμοπαίγματα όταν χρησιμοποιούνταν για την εμφάνιση στατικών εικόνων. Στην πραγματικότητα, είναι κατάλληλα μόνο για την προβολή κινούμενων εικόνων, όπως ακριβώς είναι οι τηλεοράσεις. Παρ' όλα αυτά, χάρη στην εξέλιξη της τεχνολογίας, μεγάλος αριθμός αναλογικών οθονών είναι πλέον σε θέση να παρουσιάζουν στατικές εικόνες σχεδόν στο ίδιο επίπεδο με τις ψηφιακές.
- Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, μία ψηφιακή οθόνη είναι πιο ακριβή αλλά έχει καλύτερη ποιότητα εικόνα σε σχέση με μία αναλογική οθόνη.[10]

1.4 Είδη ενδεικτών (Displays)

Παρακάτω θα αναφερθούν οι σημαντικότεροι τύποι ενδεικτών που έχουν κυκλοφορήσει στην ιστορία της τεχνολογίας της απεικόνισης.

1.4.1 Cathode Ray Tube display (CRT)

- a. **Μάσκα σκίασης (Shadow mask):** Χρωματιστοί φωσφόροι χωρίζονται στο πίσω στρώμα από το εμπρόσθιο γυαλί της οθόνης από τις μικρές οπές μιας μεταλλικής πλάκας. Αυτές τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να διασφαλίζουν ότι τα ηλεκτρόνια από τις τρεις πηγές (electron guns) καθόδου του αγωγού φτάνουν αποκλειστικά στους κατάλληλους χρωματισμένα φωσφόρους της οθόνης. Η γωνία προσέγγισης είναι διαφορετική για κάθε όπλο ηλεκτρονίων παρόλο που και οι τρεις δοκοί περνούν από τις ίδιες οπές στη μάσκα. Η απόσταση των τρυπών, η τοποθέτηση των πιστολιών και η απόσταση των φωσφώρων είναι παρατεταμένα προκειμένου παραδείγματος χάριν, το μπλε πιστόλι να μην έχει παρά μόνο μια εύκολη πορεία προς τους μπλε φωσφόρους. Οι πρώτες έγχρωμες τηλεοράσεις και ο μεγαλύτερος αριθμός των οθονών υπολογιστών CRT χρησιμοποιούσαν και χρησιμοποιούν ακόμα την τεχνολογία μάσκας σκιών.[8]



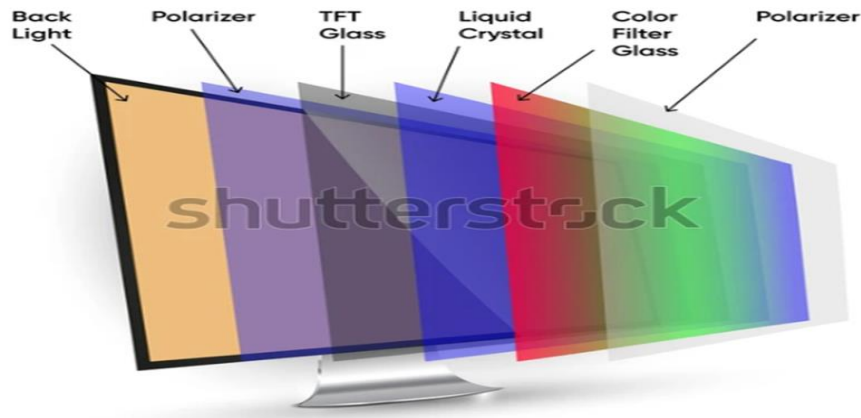
Σχήμα 1.4: Κύριο σύστημα CRT Monitor. Πηγή: Brian A. Wandell, Louis D. Silverstein, in The Science of Color (Second Edition), 2003

- b. **Διάφραγμα σγάρας (Aperture grille):** Τα χρώματα των φωσφώρων χωρίζονται σε λωρίδες πίσω από το εμπρόσθιο τζάμι της οθόνης από τα λεπτά και κάθετα καλώδια. Αυτά είναι διατεταγμένα με τέτοιο τρόπο που μια δέσμη ηλεκτρονίων που προέρχεται από ένα από τα τρία πιστόλια στο πίσω μέρος του αγωγού να έχει την ικανότητα να χτυπήσει μόνο τους φωσφόρους συγκεκριμένου χρώματος. Για παράδειγμα το πράσινο όπλο ηλεκτρονίων θα συγκρουστεί με τους πράσινους φωσφόρους και θα βρει ένα σύρμα που θα αποτρέπει την πορεία με κατεύθυνση στους μπλε και κόκκινους. Τα σύρματα, που τα χαρακτηρίζει η λεπτότητά τους, επιτρέπουν ένα ακόμα λεπτότερο βήμα κουκίδων αφού έχουν την δυνατότητα να διαταχθούν πολύ κοντά μεταξύ τους κάτι που δεν επιτυγχάνεται από τις διατρήσεις μιας μάσκας σκιάς και δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει μεγάλο χάσμα μεταξύ κοντινών οριζόντιων εικονοστοιχείων.[8]

1.4.2 Liquid Crystal Display (LCD) και Light Emitting Diode display (LED) οθόνες

Οι οθόνες LCD αποτελούν τον αντικαταστάτη των CRT displays και των Plasma. Μαζί με τις Led και τις OLED που θα αναφέρουμε παρακάτω αποτελούν τις πιο διαδεδομένες οθόνες στην αγορά στη σύγχρονη εποχή. Οι LCD βασίζονται στην τεχνολογία υγρών κρυστάλλων από την οποία έχουν πάρει το όνομα τους (liquid crystal) και στην τεχνολογία TFT (thin film transistor). Όσον αφορά την αρχή λειτουργία των LCD, έχουμε ένα φωτεινό στοιχείο που προέρχεται πίσω από την οθόνη και κατευθύνεται απευθείας στους κρυστάλλους. Οι φωτεινές πηγές είναι λάμπες φθορισμού. Επίσης οι κρύσταλλοι λειτουργούν ως φράκτες της έντασης του φωτός το οποίο θα περάσει στο μπροστά μέρος της οθόνης δηλαδή αυτό που θα αντικρίσει ο θεατής. Εκτός αυτού υπάρχουν κατάλληλα φίλτρα που είναι υπεύθυνα για τον συνδυασμό των τριών βασικών χρωμάτων (κόκκινο, μπλε, πράσινο) ώστε να

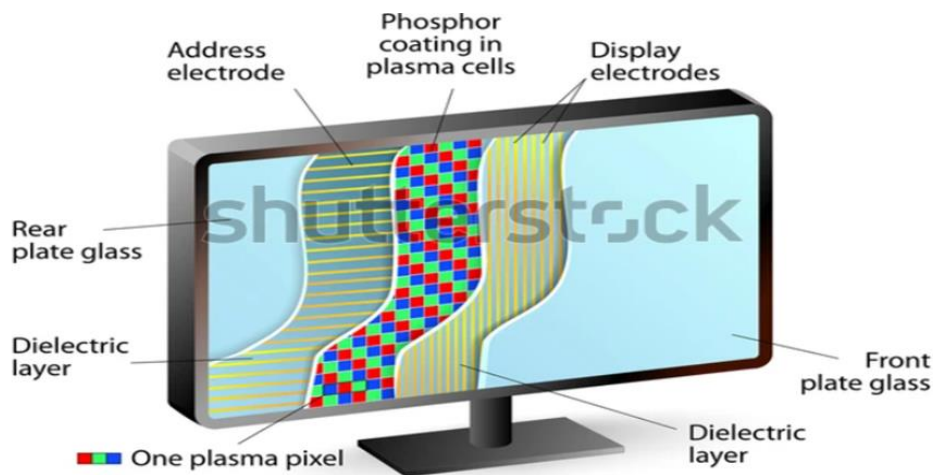
παραχθεί το τελικό αποτέλεσμα που θα είναι οικείο στο ανθρώπινο μάτι. Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί πως οι λάμπες φθορισμού αντικαθίστανται από λαμπτήρες LED και έτσι δημιουργούνται οι LED οθόνες. Αυτή η αλλαγή γίνεται διότι η οθόνη αποκτάει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και καλύτερη φωτεινότητα με περισσότερα χρώματα όμως υστερούν ελάχιστα στη γωνία θέασης.[8]



Σχήμα 1.5: Συστατικά επίπεδα μίας LCD οθόνης. Πηγή: www.shutterstock.com

1.4.3 Οθόνες Plasma

Οι οθόνες Plasma συνήθως ταυτίζονται με τις LCD. Όμως, αυτό είναι δεν ισχύει καθώς έχουν διαφορετικές τεχνολογίες. Οι οθόνες πλάσματος αποτελούνται από έναν μεγάλο αριθμό μικροσκοπικών κυψελών που εντοπίζονται ανάμεσα σε δύο γυάλινες πλάκες και εμπεριέχουν ένα ανενεργό μείγμα ευγενών αερίων(ξένο, νέο, αργό, ήλιο) σε χαμηλές πιέσεις. Επίσης μέσα στις πλάκες υπάρχουν μακριά και διαφανή ηλεκτρόδια. Όταν τα ηλεκτρόδια αποκτήσουν τάση και έρθουν σε επαφή με το αέριο, αυτό ανασχηματίζεται ηλεκτρικά σε πλάσμα(ιοντισμός) που μετέπειτα διεγείρει φωσφόρους προκειμένου να εκπεμφθεί φως. Οι οθόνες Plasma συνήθως χρησιμοποιούνται για μεγάλου μεγέθους οθόνες και αν και στην αρχική τους παρουσία δεν κατάφεραν να αντικαταστήσουν τις CRT εξαιτίας του κόστους τους, στη πορεία εδραιώθηκαν λόγω της φωτεινότητας και της μεγαλύτερης γκάμας χρωμάτων αλλά και για τις καλύτερες αποκρίσεις σε σχέση με τον χρόνο. Σταδιακά η ζήτηση τους άρχισε να μειώνεται και τη σκυτάλη την πήραν οι LCD και οι LED οθόνες που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.[8]



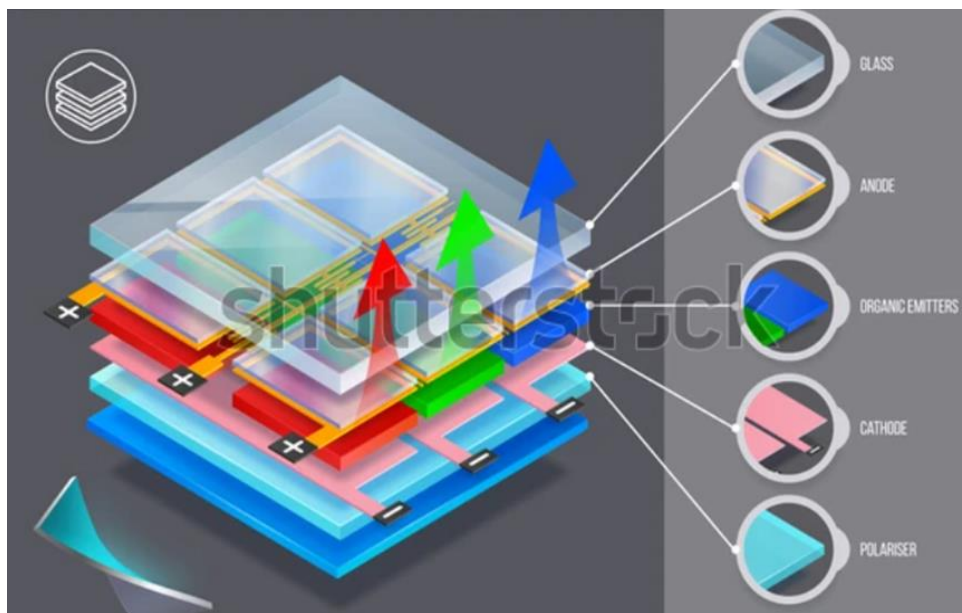
Σχήμα 1.6: Τα επίπεδα μίας οθόνης Plasma. Πηγή: www.shutterstock.com

1.4.4 Organic LED Display (OLED) οθόνες

Οι OLED είναι οθόνες που βασίζονται και αυτές στην τεχνολογία των LED. Σε αυτές το στρώμα ηλεκτρικού φωτός που εκπέμπεται είναι ένα φιλμ ενώσεων που διαδίδουν τον φωσ ως απόκριση στο ηλεκτρικό ρεύμα. Σε αντίθεση όμως με τις οθόνες LED και LCD οι OLED δεν χρησιμοποιούν συνολικό οπίσθιο φωτισμό(backlight) αλλά κάθε εικονοστοιχείο(pixel) έχει το δικό του LED. Ως ακόλουθο των παραπάνω, έχει την ικανότητα να εμφανίζει επίπεδα βαθύ μαύρου κάτι το οποίο σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού επιτυγχάνει καλύτερη αντίθεση των χρωμάτων. Επίσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το σύστημα ελέγχου στις:

- a. **AMOLED (active matrix OLED):** Χρησιμοποιεί ένα οπίσθιο επίπεδο TFT έτσι ώστε να επιτύχει ταχύτερη πρόσβαση και παράλληλα άμεση ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση κάθε ξεχωριστού pixel. Αυτό επιτρέπει στην οθόνη να έχει μεγαλύτερο μέγεθος και υψηλή ανάλυση.
- b. **PMOLED (passive matrix OLED):** Στη συγκεκριμένη περίπτωση η ανάγνωση και ο έλεγχος κάθε σειράς και κάθε γραμμής γίνεται με τη λογική του ένας προς ένας.

Τέλος οι OLED είναι πιο λεπτές και πιο ελαφριές σε σχέση με τις LCD και τις LED και πλέον κατέχουν την πρώτη θέση στην αγορά αυτή την εποχή.[8]

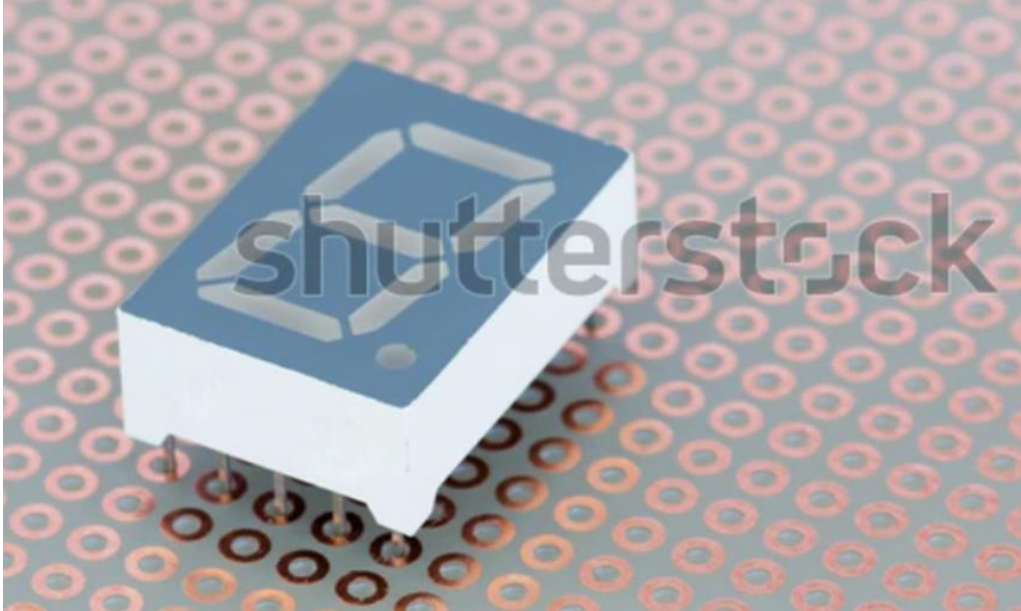


Σχήμα 1.7: Συστατικά επίπεδα ενός OLED Pixel. Πηγή: www.shutterstock.com

1.4.5 Seven Segment Indicator (Ενδείκτης Επτά Τομέων)

Η δημιουργία των ενδείκτων επτά τομέων έγινε αρχικά για την αναπαράσταση δεκαδικών αριθμών στις ηλεκτρονικές συσκευές. Αναλύοντας τον, είναι εμφανές ότι γίνεται αναφορά για μία οθόνη που αποτελείται από επτά τομείς που ο κάθε ένας από αυτούς περιλαμβάνει τη δική του δίοδο εκπομπής φωτός(LED). Τα LED είναι τοποθετημένα με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζουν τον αριθμό οκτώ. Συνήθως αυτές οι οθόνες αποτελούνται και από ένα όγδοο LED το οποίο χρησιμοποιείται για την ένδειξη της δεκαδικής υποδιαστολής. Ο ενδείκτης μπορεί να απεικονίσει αριθμούς από το ένα μέχρι το εννιά και γράμματα- πεζά ή κεφαλαία- από διάφορα αλφάβητα. Κάθε δίοδος έχει δύο καταστάσεις, την ενεργοποιημένη και την απενεργοποιημένη. Ο έλεγχος των καταστάσεων των LED γίνεται από ένα

συνδυασμό από μονάδες και μηδενικά. Αυτός ο συνδυασμός αποτελείται από οκτώ ψηφία. Για παράδειγμα για να εμφανιστεί το γράμμα «Α» ο οκταψήφιος συνδυασμός θα είναι «01110111». Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ο αριθμός ένα αντιπροσωπεύει την κατάσταση «HIGH-ON» και ο αριθμός μηδέν την κατάσταση «LOW-OFF». Τέλος, υπάρχουν δύο είδη ενδείκτων επτά τομέων, της κοινής ανόδου στην οποία όλες οι άνοδοι των LED είναι συνδεδεμένες μαζί ταυτόχρονα και της κοινής καθόδου όπου είναι ταυτόχρονα ενωμένες οι κάθοδοι των LED.[2][13]



Σχήμα 1.8: Ενδείκτης επτά τομέων. Πηγή: www.shutterstock.com

1.4.6 LED Dot Matrix display

Παρόλο που η τεχνολογία Dot Matrix συναντάται και στις οθόνες LCD και OLED αποτελεί μία ξεχωριστή κατηγορία από μόνη της. Η λογική της είναι παρόμοια με τη λογική του ενδείκτη επτά τομέων καθώς σχεδιάστηκε για να απεικονίζει κυρίως αριθμούς, γράμματα, σχέδια και όχι ολόκληρες εικόνες όπως οι τηλεοράσεις. Όπως γίνεται εμφανές από το όνομα, το display αποτελείται από στοιχεία LED ταξινομημένα συνήθως σε ένα συμμετρικό πλαίσιο όπως είναι για παράδειγμα ένα τετράγωνο ή ένα ορθογώνιο. Μέσα σε αυτά τα πλαίσια τα LEDs είναι διατεταγμένα σε σειρές και στήλες. Τις περισσότερες φορές τα LEDs έχουν κοινή άνοδο ή κάθοδο και ο έλεγχος τους γίνεται μέσω ενός κυκλώματος οδήγησης το οποίο δεν είναι περίπλοκο καθώς για να ενεργοποιηθεί το κάθε pixel που αντιστοιχεί σε ένα LED χρειάζεται να δεχτεί τάση η ανάλογη γραμμή και στήλη στην οποία βρίσκεται. Τις περισσότερες φορές το κύκλωμα οδήγησης είναι ξεχωριστά από το display. Υπάρχουν δύο είδη LED Dot Matrix Displays, τα μονόχρωμα που αποτελούνται από LEDs μίας απόχρωσης και τα μεταβαλλόμενα που έχουν RGB LEDs στην κατασκευή τους. Τα πρώτα είναι αρκετά πιο εύκολα στην κατασκευή του κυκλώματος οδήγηση σε σχέση με RGB. Η παρούσα εργασία βασίζεται στην τεχνολογία Dot Matrix σε συνδυασμό με την τρισδιάστατη απεικόνιση.[11][12]



Σχήμα 1.9: LED Dot Matrix Display. Πηγή www.shutterstock.com

Κεφάλαιο 2ο: Απεικόνιση σε τρεις διαστάσεις

2.1 Τι είναι η τρισδιάστατη απεικόνιση

Ο κόσμος στον οποίο ζούμε αποτελείται από τρεις διαστάσεις, αλλά οι συνηθισμένες συσκευές προβολής δεν μπορούν να προβάλλουν πέρα από επίπεδες απεικονίσεις του χώρου που δεν υπάρχουν οι πληροφορίες του βάθους, είναι δηλαδή δισδιάστατες. Έτσι ο άνθρωπος αδυνατεί να αντιληφθεί την πολύπλοκη σύνθεση των αντικειμένων του σύγχρονου κόσμου καθώς του το καθιστά δύσκολο αυτός ο θεμελιώδης περιορισμός. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος χρησιμοποιεί περίπου το μισό των δυνατοτήτων του προκειμένου να επεξεργαστεί οπτικές πληροφορίες. Η ικανότητα που μας επιτρέπει να ξεχωρίζουμε τα δεδομένα υψηλής διάστασης από τις επίπεδες εικόνες θέτεται σε κίνδυνο από τη στέρηση της τρισδιάστατης απεικόνισης. Αυτή αποτελεί το πολυτιμότερο στοιχείο της τεχνολογίας της οπτικοποίησης που έχει τη δυνατότητα να παρέχει τελεσφόρα σύνεργα για την τεχνολογία αυτή και για την ευκολότερη αντίληψη πολύπλοκων πληροφοριών και αντικειμένων υψηλής διαστάσεως. «Μια τέλεια τρισδιάστατη απεικόνιση θα πρέπει να λειτουργεί ως "παράθυρο στον κόσμο" μέσω του οποίου οι θεατές μπορούν να αντιληφθούν την ίδια τρισδιάστατη σκηνή, σαν η οθόνη τρισδιάστατης απεικόνισης να ήταν ένα διαφανές "παράθυρο" στα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου». Μια σωστή συσκευή τρισδιάστατης απεικόνισης είναι απαραίτητο να έχει την δυνατότητα να αναπαράγει ολοκληρωμένα ακέραια την οπτική αίσθηση που δέχεται ο θεατής. Συνοπτικά, μια άψογη τρισδιάστατη οθόνη θα πρέπει να έχει την ικανότητα να παρέχει όλες τις ενδείξεις βάθους στους θεατές της. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος σε συνδυασμό με τον ανθρώπινο μάτι, χρησιμοποιεί του τέσσερις παρακάτω βασικούς τρόπους/ μηχανισμούς για φυσικό βάθος για να μπορεί να αντιληφθεί σε υψηλό βαθμό ένα τρισδιάστατο ερέθισμα. [9]

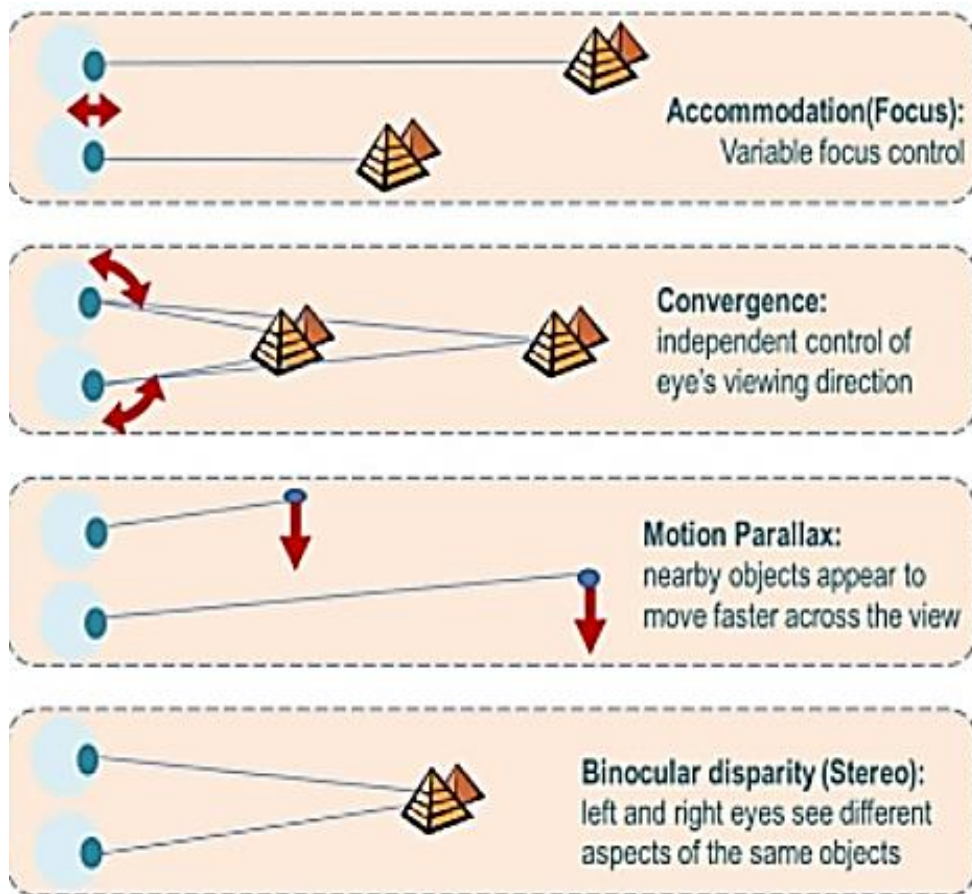


Σχήμα 2.1: Σενάριο τρισδιάστατης απεικόνισης. Πηγή: www.shutterstock.com

- a. **Εστίαση(focus- accommodation):** Αποτελεί την τάση του μυός που μεταβάλλει ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε περίπτωσης, την εστιακή απόσταση του φακού του ανθρώπινου ματιού. Με απλά λόγια, γίνεται λόγος για την συστολή και τη διαστολή του φακού εξαιτίας της πίεσης από τον μυ του ματιού, έτσι ώστε να είναι ικανό να εστιάσει σε ένα τρισδιάστατο

αντικείμενο και να γίνει αντιληπτό το τρισδιάστατο βάθος. Με αυτόν τον τρόπο αντικείμενα κυρίως σε αποστάσεις μέχρι δύο μέτρα έρχονται στο επίκεντρο.

- b. **Σύγκλιση (convergence):** Όταν γίνεται ταυτόχρονη παρακολούθηση σε ένα σταθερό σημείο ενός τρισδιάστατου αντικειμένου κοντά στους ανθρώπινους οφθαλμούς, αυτοί αυτόματα στρέφονται προς το εσωτερικό. Αυτή η ελάχιστη διαφορά στις κατευθύνσεις των δύο ματιών ονομάζεται σύγκλιση και είναι γνωστό πως είναι αποτελεσματική σε μικρές αποστάσεις.
- c. **Διόφθαλμη ανισότητα (binocular disparity):** Τα μάτια του ανθρώπου λαμβάνουν συνεχώς διαφορετικές εικόνες το ένα από το άλλο. Το οπτικό σύστημα είναι πού ευαίσθητο σε αυτές τις διαφορές. Για παράδειγμα αν ένα αντικείμενο είναι αρκετά μακριά, οι εικόνες που δέχονται τα δύο μάτια ξεχωριστά είναι εξίσου μακριά. Η αίσθηση του βάθους μπορεί να επιτευχθεί αποκλειστικά με την διόφθαλμη ανισότητα ακόμα και αν αφαιρεθούν όλοι οι υπόλοιποι μηχανισμοί βάθους.
- d. **Παράλλαξη κίνησης (motion parallax):** Στη συγκεκριμένη περίπτωση το ανθρώπινο οπτικό σύστημα κάνει ταχύτατη σύγκριση της σχετικής κινήσεις διαφορετικών εικονοστοιχείων σε ένα τρισδιάστατο αντικείμενο. Για παράδειγμα, όταν το κεφάλι του ανθρώπου βρίσκεται εν κίνηση τα σημεία μακριά του τα αντιλαμβάνεται να κινούνται με χαμηλή ταχύτητα σε σχέση με αυτά που βρίσκονται κοντά του. Με αυτό τον τρόπο η παράλλαξη προσφέρει σημεία βάθους.[9]



Σχήμα 2.2: Οι τέσσερις βασικοί μηχανισμοί του ανθρώπινου ματιού για φυσικό βάθος. Πηγή:[9]

Υπάρχουν τρισδιάστατες συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούν και τους τρεις μηχανισμούς φυσικού βάθους, αλλά και συσκευές που κάνουν χρήση μόνο της μία ή κάποιων από αυτών ανάλογα με την κάθε απαίτηση. Τέλος, ο ανθρώπινος εγκέφαλος έχει την δυνατότητα να αποκτήσει τρισδιάστατες εικόνες

εξάγοντας ενδείξεις ψυχολογικού βάθους από εικόνες δύο διαστάσεων. Μερικά παραδείγματα ονομαστικά είναι:

- Γραμμική προοπτική,
- Απόφραξη,
- Σκίαση,
- Υφή,
- Προηγούμενη γνώση.

2.2 Τα τρισδιάστατα στοιχεία Voxels/Hogels

Η πλειονότητα των οθονών διςδιάστατης απεικόνισης δημιουργεί εικονοστοιχεία, pixels δηλαδή που διαχέουν φως καθορισμένου χρώματος και φωτεινότητας. Ανεξάρτητα του τρόπου και του σημείου θέασης τους είναι αδύνατο να αλλάξουν χρωματισμό ή την ένταση της φωτεινότητάς τους. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται αδύνατο για τις οθόνες διςδιάστατης απεικόνισης να παράγουν μια γνήσια τρισδιάστατη αίσθηση. Τρισδιάστατες απεικονίσεις σχηματίζουν στοιχεία τα οποία ονομάζονται ογκομετρικά στοιχεία εικόνας (voxels) ή ολογραφικά στοιχεία εικόνας (hogels) που είναι κατευθυντικοί εκπομποί, είναι λοιπόν φανερή η εκπομπή του φωτός που μεταβάλλεται ανά κατεύθυνση. Οι πομποί αυτοί εμπεριέχουν αυτόφωτες κατευθυντικές πηγές φωτός και επιπλέον σημεία σε επιφάνειες που αντικαθρεπτίζουν, διαθλούν ή μεταδίδουν φως από διαφορετικές πηγές και η εκπομπή των σημείων είναι άμεσα εξαρτώμενη από το περιβάλλον τους. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται αντιληπτή η αίσθηση του βάθους. Η τρισδιάστατη απεικόνιση χρησιμοποιεί σαν πρότυπο την πλειονοπτική λειτουργία του φωτός από ένα φυσικό αντικείμενο. Η οθόνη τείνει να μοιάζει περισσότερο με φυσικό αντικείμενο όταν είναι μεγαλύτερη η ποσότητα και η ακρίβεια των πληροφοριών προβολής που εμφανίζονται στον θεατή. Παρόλα αυτά, όσο μεγαλύτερες ποσότητες πληροφοριών παρουσιάζονται τόσο πιο πολύπλοκες γίνονται οι οθόνες και τα κυκλώματα οδήγησης και αυτό συντελεί σε υψηλότερη αξία μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων. Στην επόμενη παράγραφο θα αναλυθούν κάποιες από τις τεχνικές που υπάρχουν στην τρισδιάστατη τεχνολογία της απεικόνισης οι οποίες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, την στερεοσκοπική και την αυτοστερεοσκοπική απεικόνιση.[9]

2.3 Στερεοσκοπική απεικόνιση (Stereoscopic display)

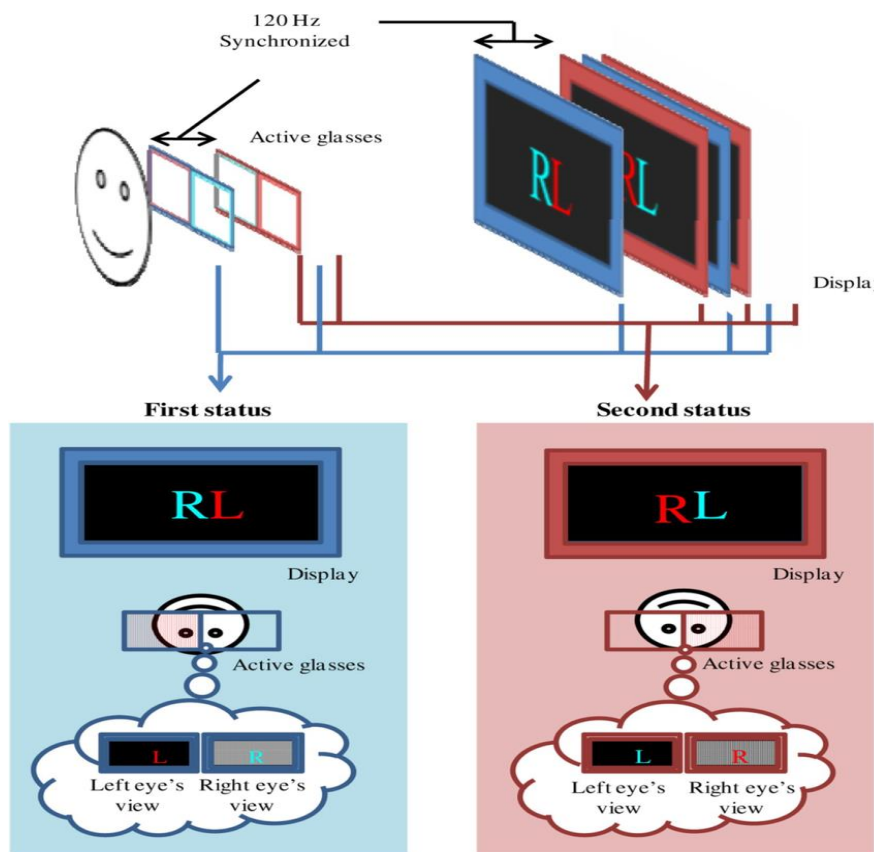
Κύριο χαρακτηριστικό της στερεοσκοπικής απεικόνισης είναι ότι οι τεχνικές που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία επιβάλουν την χρήση ειδικών γυαλιών η οποία αντιμετωπίζει ένα σημαντικό πρόβλημα, αυτό της σύγκρουσης μεταξύ των δύο φυσικών τροπών με τους οποίους ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται μία τρισδιάστατη εικόνα, της εστίασης και της σύγκλισης. Όμως, σε αυτές τις τεχνικές, αυτό το εμπόδιο μπορεί να περιοριστεί, αυξάνοντας τη φωτεινότητα από τις διαφορετικές πηγές έτσι ώστε να γίνονται αντιληπτές από το οπτικό σύστημα του θεατή και έχει παρατηρηθεί ότι μπορεί να εξαλειφθεί σε τρισδιάστατες απεικονίσεις μέσω ολογράμματος. Στη κατηγορία της στερεοσκοπικής απεικόνισης ανήκουν οι τεχνολογίες:[9]

- Ανάγλυφο χρωματικής σύμπλεξης (Color interlaced anaglyph),
- Απεικόνιση με σύμπλεξη πόλωσης (Polarization interlaced display),
- Απεικόνιση με σύμπλεξη χρόνου (Time multiplexed display),
- Απεικόνιση με κράνος κεφαλής (Head mount display HMD).

2.3.1 Ανάγλυφο χρωματικής σύμπλεξης (Color interlaced anaglyph)

Οι οθόνες που χρησιμοποιούν την συγκεκριμένη τεχνική ονομάζονται αναγλυφικές. Οι εικόνες που προβάλλονται μέσω αυτών είναι διαφορετικές για το κάθε μάτι αλλά γίνονται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε

να φιλτραριστούν με συμπληρωματικά χρώματα. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος και ως επέκταση αυτού το ανθρώπινο οπτικό σύστημα έχουν αδυναμία σε μία τριάδα χρωμάτων το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε (tristimulus theory). Με βάση αυτή τη θεωρία τα συμπληρωματικά χρώματα είναι το κόκκινο με το πράσινο, το κυανό με το κόκκινο και το πράσινο με το ματζέντα. Έτσι ο θεατής κάνει χρήση ειδικών γυαλιών με το κατάλληλο συνδυαστικό χρωματικό φίλτρο. Για παράδειγμα αν ο θεατής φορέσει γυαλιά που έχουν τον συνδυασμό πράσινο- ματζέντα, το πράσινο φίλτρο θα επιτρέψει να περάσουν από εκεί μόνο το πράσινο και αποχρώσεις που είναι πολύ κοντά σε αυτό ενώ θα αποτρέψει να το διαπεράσουν το ματζέντα που είναι στο δίπλα φίλτρο και άλλα χρώματα. Το ίδιο ισχύει και για το ματζέντα φίλτρο. Ως αποτέλεσμα αυτού, ο συνδυασμός των εικόνων που δέχεται ο εγκέφαλος από το δεξί και από το αριστερό καταλήγει σε μία ενιαία εικόνα η οποία δίνει την αίσθηση του βάθους. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιήθηκε στις πρώτες τρισδιάστατες προβολές ταινιών στους κινηματογράφους αλλά πλέον δεν χρησιμοποιείται καθώς παρατηρήθηκε ελλιπής χρωματική απόδοση και αντικαταστάθηκε από την στερεοτυπική απεικόνιση με σύμπλεξη πόλωσης που θα δούμε παρακάτω.[9]

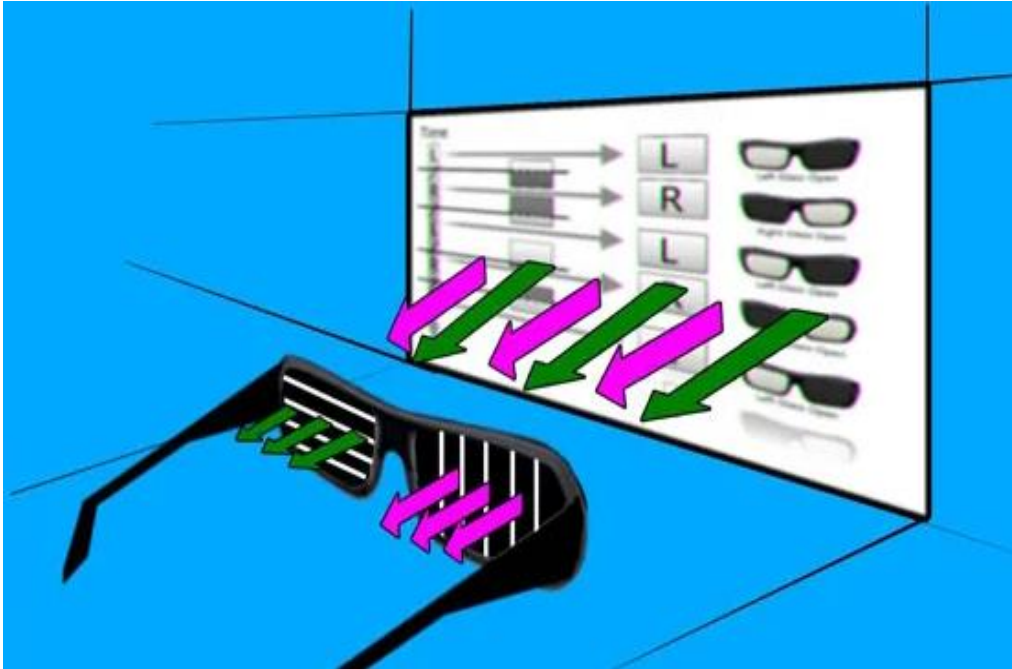


Σχήμα 2.3: Χρήση χρωματικής σύμπλεξης για τρισδιάστατη απεικόνιση. Πηγή: Jonghyun Kim, Younghoon Kim, Jisoo Hong, Gilbae Park, Keehoon Hong, Sung-Wook Min & ByoungHo Lee (2011) A full-color anaglyph three-dimensional display system using active color filter glasses, Journal of Information Display.

2.3.2 Απεικόνιση με σύμπλεξη πόλωσης (Polarization interlaced display)

Η συγκεκριμένη τεχνική έχει παρόμοια λογική με το ανάγλυφο την χρωματικής απεικόνισης. Χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο από του κινηματογράφους όπου υπάρχουν οι λεγόμενοι τρισδιάστατοι προτζέκτορες. Αυτοί οι προβολείς ταινιών αποτελούνται από δύο διαφορετικά συστήματα τα οποία εκπέμπουν φως για τα τρία βασικά χρώματα, ένα στα δεξιά και ένα στα αριστερά του προτζέκτορα. Οι δέσμες φωτός είναι διατεταγμένες σε κάθε πλευρά με την ίδια σειρά έτσι ώστε να

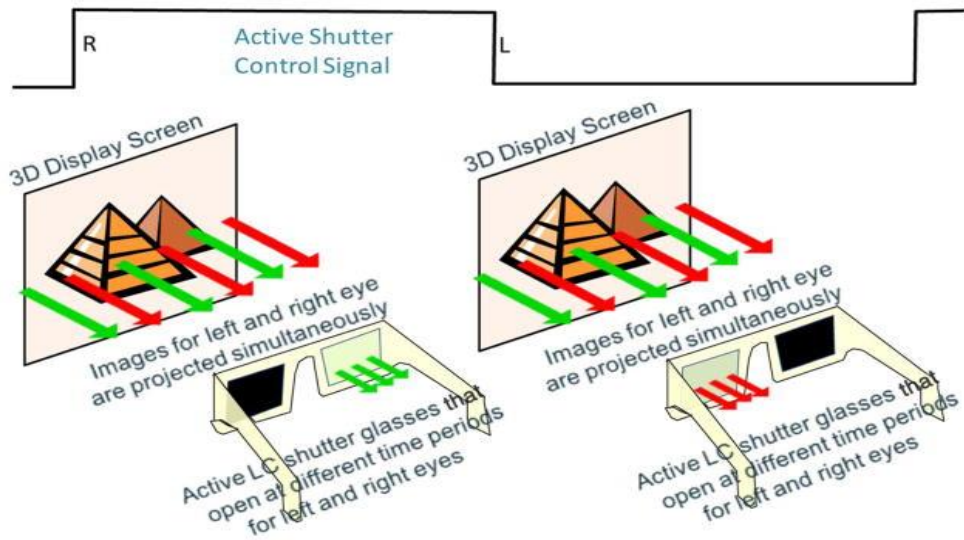
μη γίνει καμία ανεπιθύμητη μίξη των χρωμάτων. Η πόλωση του εκπεμπόμενου φωτός στους υγρούς κρυστάλλους που διαθέτει η οθόνη γίνεται μέσω βαλβίδων φωτός. Σε αυτή τη τεχνική όπως και στην προηγούμενη γίνεται χρήση ειδικών γυαλιών τα οποία φιλτράρουν και διαχωρίζουν την εικόνα που προβάλλεται σε δύο διαφορετικές σκηνές για κάθε μάτι έτσι ώστε να δώσει την αίσθηση του βάθους.[9]



Σχήμα 2.4: Απεικόνιση τρισδιάστατης εικόνας με χρήση γυαλιών με αντίθετη πόλωση. Πηγή: www.gamedeveloper.com

2.3.3 Απεικόνιση με σύμπλεξη χρόνου (Time multiplexed display)

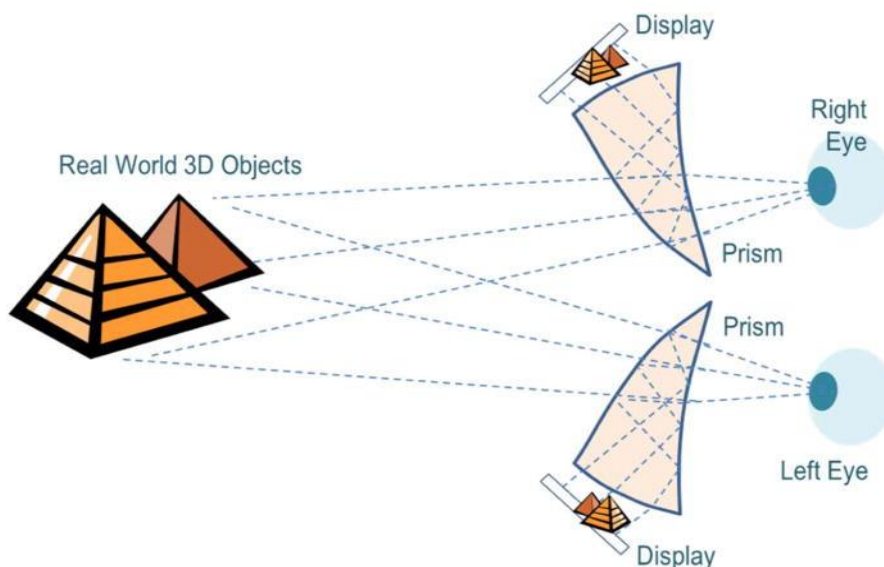
Η συγκεκριμένη τεχνική εκμεταλλεύεται την ικανότητα του οπτικού συστήματος του ανθρώπου να αποθηκεύει και να συγκρατεί ένα οπτικό δεδομένο για περίπου 50ms. Όπως και στην προηγούμενη παράγραφο, έτσι και εδώ ο θεατής δέχεται δύο εικόνες στο ίδιο χρονικό διάστημα, μία για το δεξί μάτι και μία για το αριστερό μάτι. Όμως, στη συγκεκριμένη περίπτωση πάνω στα ειδικά γυαλιά υπάρχει ένας μηχανισμός με ένα κλείστρο από υγρό κρύσταλλο LC, το οποίο επιτρέπει την προβολή της μίας εικόνας στο ένα μάτι και κλείνει το δεύτερο και μέσα σε διάστημα μικρότερο των 50ms γίνεται η ίδια διαδικασία με τη δεύτερη εικόνα στο μάτι που ήταν αρχικώς κλειστό. Αυτή η διαδικασία γίνεται συνεχόμενα, έτσι ώστε ο παρατηρητής να βλέπει μία μόνιμη και σταθερή τρισδιάστατη εικόνα. Οι δύο εικόνες που προβάλλονται στα δύο μάτια του ανθρώπου προβάλλονται μόνο από μία πηγή και αυτό γιατί θα αποφευχθούν πιθανόν γεωμετρικά και χρωματικά λάθη στο τελικό αποτέλεσμα. Τέλος, οι οθόνες σύμπλεξης χρόνου είναι κατάλληλες και για διςδιάστατη παρουσίαση. [9]



Σχήμα 2.5: Χρήση γυαλιών με κλείστρο για απεικόνιση τρισδιάστατης εικόνας με σύμπλεξη χρόνου. Πηγή: [9].

2.3.4 Απεικόνιση με κράνος κεφαλής (Head mount display HMD)

Η παρούσα τεχνική είναι γνωστή στο ευρύ κοινό ως ψηφιακή πραγματικότητα (Virtual Reality VR) που χρησιμοποιείται σε μεγάλο ποσοστό στον στρατό, την ιατρική αλλά και την ψυχαγωγία.. Ο θεατής εδώ κάνει χρήση κράνους ή γυαλιών τα οποία του αποτρέπουν την οπτική επαφή με το φυσικό περιβάλλον. Μέσα σε αυτές τις συσκευές είναι ενσωματωμένα δύο μικρές οθόνες με κατάλληλους φακούς και καθρέφτες. Οι οθόνες αυτές είναι κατά κύριο λόγο LCD ή OLED και μέσω αυτών προβάλλονται σε κάθε οφθαλμό από μία εικόνα που ο εγκέφαλος τις συνδυάζει σαν μία τρισδιάστατη. Πρόσθετα στη τεχνική αυτή ο θεατής μπορεί εύκολα να γίνει κομμάτι της, καθώς τα ειδικά αυτά κράνη διαθέτουν αισθητήρα κίνησης που δίνουν τη δυνατότητα σε αυτόν που τα χρησιμοποιεί να νιώθει ότι βρίσκεται σε έναν ψηφιακό αλλά ταυτόχρονα πολύ ρεαλιστικό χώρο.[9]



Σχήμα 2.6: Τρισδιάστατη εικόνα με προβολή δύο διαφορετικών εικόνων σε κάθε μάτι με χρήση κράνους κεφαλής. Πηγή: [9]

2.4 Αυτοστερεοσκοπική τρισδιάστατη απεικόνιση

Σε αυτή τη μεγάλη κατηγορία τρισδιάστατης απεικόνισης η χρήση ειδικών γυαλιών ή κράνους δεν είναι αναγκαία όπως στις τεχνικές της στερεοσκοπικής απεικόνισης. Εδώ συναντάμε δύο πολύ σημαντικές υποκατηγορίες:

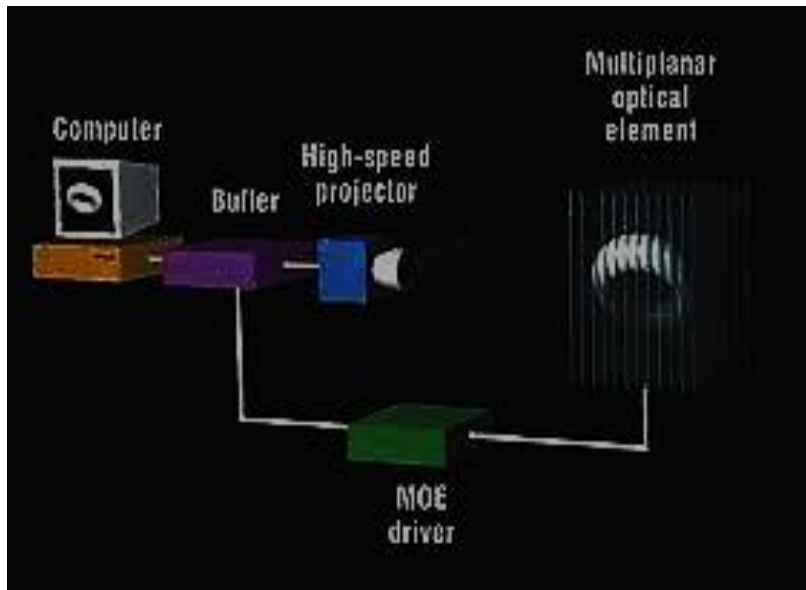
- a) Ογκομετρική τρισδιάστατη οθόνη(Volumetric 3D display),
- b) Ψηφιακή οθόνη ολογράμματος(Digital hologram display) και

2.4.1 Ογκομετρική τρισδιάστατη απεικόνιση (Volumetric 3D display)

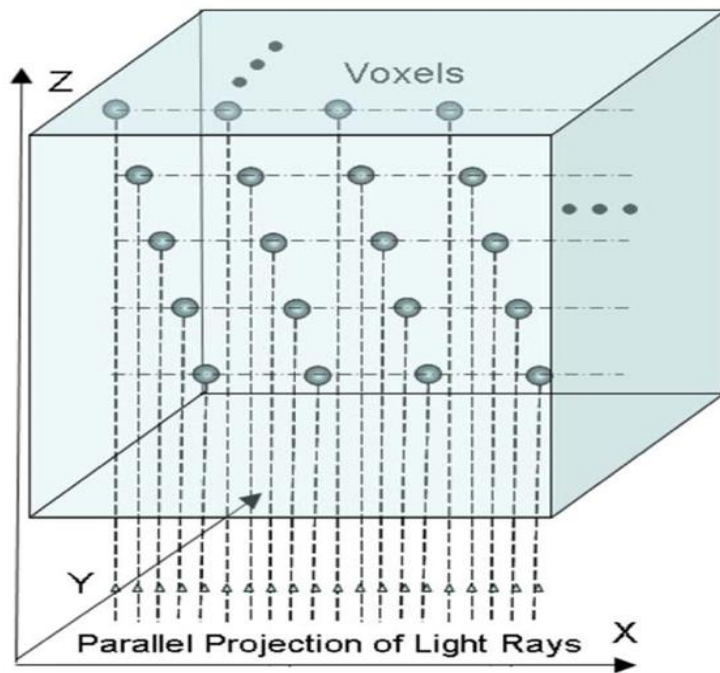
Σε αυτήν τη παράγραφο θα γίνει αναφορά στις τεχνικές ογκομετρικής τρισδιάστατης απεικόνισης που έχουν τη δυνατότητα να εμφανίσουν τέτοιου είδους εικόνες εντός ενός συγκεκριμένου και προδιαγραμμένου τρισδιάστατου χώρου. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα τρισδιάστατα στοιχεία, τα Voxels που αναφέρθηκαν παραπάνω έχουν μία προκαθορισμένη φυσική θέση, από την οποία αντανακλά το φως προς όλες τις υπόλοιπες κατευθύνσεις εντός του χώρου που βρίσκονται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να δημιουργεί στον παρατηρητή την αίσθηση μίας πραγματικής τρισδιάστατης εικόνας, καθώς προσφέρει ενδείξεις βάθους τόσο ψυχολογικές όσο και φυσικές στο ανθρώπινο μάτι. Στη συνέχεια θα αναφερθούν εν συντομία δυο από τις κατηγορίες ογκομετρικών οθονών, στατικές και ενεργητικές οθόνες (static and active volumetric 3D displays) και οι στατικές και παθητικές οθόνες (static and passive volumetric 3D displays).[9]

2.4.1.1 Στατικές και ενεργητικές ογκομετρικές τρισδιάστατες οθόνες (Static and active volumetric 3D displays).

Στην ενότητα αυτή θα γίνει μία σύντομη αναφορά σε δύο τρόπους με τους οποίους μπορεί να δημιουργηθεί μια στατική και ενεργητική τρισδιάστατη απεικόνιση. Ο πρώτος είναι ο LED Matrix κύβος και με αυτόν ασχολείται η παρούσα εργασία. Μπορεί η ιδέα αυτής της τρισδιάστατης οθόνης να είναι φαινομενικά εύκολη αλλά είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί μία εικόνα υψηλής ανάλυσης. Ένα παρόμοιο πρόβλημα παρατηρείται και στη συγκεκριμένη εργασία, στην οποία έχει κατασκευαστεί ένας τρισδιάστατος κύβος $8*8*8$, δηλαδή έχουν χρησιμοποιηθεί 512 LED το κάθε ένα από τα οποία αναπαριστά και ένα Voxel. Επίσης, ακόμα ένας προβληματισμός που αφορά αυτές τις οθόνες είναι η ανεπιθύμητη διασταύρωση μεταξύ των φωτισμών των LED. Ο δεύτερος τρόπος που ανήκει σε αυτή την κατηγορία είναι η δημιουργία οθόνης βασισμένη σε οθόνες υγρών κρυστάλλων LCD στοιχισμένες σε πολλαπλά επίπεδα. Εδώ είναι αναγκαία και η χρήση ενός εξωτερικού προβολέα που θα προβάλλει τα διαδοχικά κομμάτια μίας τρισδιάστατης εικόνας και θα ελέγχει τον χρόνο που θα προβάλλεται κάθε τμήμα της εικόνας, έτσι ώστε να είναι συγχρονισμένη με την ενεργοποίηση της οθόνης. Εν τέλει, η τρισδιάστατη εικόνα που δημιουργείται είναι αποτέλεσμα πολλών συνεχόμενων εικόνων από διαφορετικά ύψη με διαφορά μικρότερη από 0.1ms. Έτσι δημιουργείτε σε αυτήν την περίπτωση η αίσθηση του βάθους. Τέλος στις ενεργητικές οθόνες είναι και οι περιστρεφόμενες για τις οποίες γίνεται αντιληπτό ότι δεν είναι στατικές.[9]



Σχήμα 2.7: Παράδειγμα ογκομετρικής απεικόνισης με χρήση πολλαπλών οθονών LCD. Πηγή: Gregg E. Favalora(2005), Volumetric 3D Displays and Application Infrastructure, www.macs.hw.ac.uk



Σχήμα 2.8: Τρισδιάστατη ογκομετρική απεικόνιση με Dot Matrix Cube. Πηγή: [9].

2.4.1.2 Στατικές και παθητικές ογκομετρικές τρισδιάστατες οθόνες (Static and passive volumetric 3D displays)

Όπως στην προηγούμενη παράγραφο έτσι και εδώ θα γίνει μια μικρή αναφορά σε έναν τρόπο που μπορεί να δημιουργήσει μία σταθερή και παθητική τρισδιάστατη απεικόνιση. Αρχικά, είναι γνωστό πως μία από τις βασικές απαιτήσεις ενός ογκομετρικού συστήματος τρισδιάστατης απεικόνισης είναι να μπορέσει να καλύψει ολόκληρο τον όγκο της οθόνης με Voxels που μπορούν να διεγείρονται επιλεκτικά σε οποιαδήποτε επιθυμητή θέση. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να γίνει χρήση δύο ανεξάρτητων και

ελεγχόμενων δεσμών που θα είναι ικανά να ενεργοποιούν ένα τρισδιάστατο στοιχείο μόνο όταν θα τέμνονται. Οι δέσμες ηλεκτρονίων δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό εξαιτίας της μικρής τους ισχύς, για αυτό χρησιμοποιούνται οι ακτίνες λέιζερ, με την προϋπόθεση ότι μπορεί να βρεθεί κατάλληλο υλικό για το μέσο απεικόνισης. Με λίγα λόγια, για να ενεργοποιηθεί το κάθε στοιχείο πρέπει να απορροφήσει ενέργεια από ένα διεγερμένο επίπεδο στο οποίο δύο πηγές διαφορετικές έχουν διασταυρωθεί. Οι συγκεκριμένες τρισδιάστατες ογκομετρικές οθόνες έχουν πολύ καλά χαρακτηριστικά, όπως είναι ένα από τα πιο σημαντικά ότι δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη στο σύνολο της οθόνης, όμως ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν είναι η μη δυνατότητα εμφάνισης πληθώρας χρωμάτων.[9]

2.4.2 Ψηφιακή ολογραφική απεικόνιση (Holographic digital display)

Το 1947 εφευρέθηκε από τον φυσικό Garbor η ολογραφία η οποία του πρόσφερε και το Νόμπελ Φυσικής το 1971. Σύμφωνα με τον Garbor η ολογραφία « είναι μια τεχνική τρισδιάστατης απεικόνισης που επιτρέπει στα φωτεινά μέτωπα κύματος που είναι διάσπαρτα από ένα αντικείμενο να καταγραφούν και αργότερα να ανακατασκευαστούν έτσι ώστε ένα οπτικό σύστημα (κάμερα ή μάτι) να μπορεί να δει μια τρισδιάστατη εικόνα του αντικειμένου ακόμα και όταν το αντικείμενο δεν υπάρχει πλέον». Πλέον, βάση του ορισμού τα ολογράμματα έχουν την ικανότητα να καταγράφουν, να μεταφέρουν αλλά και να αναπαράγουν επακριβώς όλα τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν ένα φωτεινό κύμα που έχει την προέλευση του στο μέσο εγγραφής. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η φάση, το πλάτος και το μήκος κύματος. Οι τρισδιάστατες απεικονίσεις αποτελούν τη «Μέκκα» της τεχνολογίας της απεικόνισης και πιο συγκεκριμένα της τρισδιάστατης απεικόνισης, γιατί θα έχει επιτευχθεί να μην υπάρχει καμία διαφορά μεταξύ της παρακολούθησης ενός αντικειμένου σε φυσική μορφή και στην ολογραφική του μορφή. Πρόσθετα, η τέλεια ολογραφική απεικόνιση θα μπορεί να μεταφέρει στον θεατή ένα πιστό τρισδιάστατο κινούμενο πορτρέτο του πραγματικού κόσμου με όλα τα φυσικά του χαρακτηριστικά. Όμως, παρόλες τις προσπάθειες που έχουν γίνει για την επίτευξη αυτού του στόχου από κορυφαία πανεπιστήμια και εργαστήρια στον κόσμο, έχουν παρατηρηθεί πληθώρα προβλημάτων ή πιο ορθά προκλήσεων. Ένα από τα εμπόδια που υπάρχουν είναι, ότι, απαιτούνται ολογραφικά Pixels τα λεγόμενα Hogels, τα οποία πρέπει να είναι μικρότερα από 1μm, έτσι ώστε να υπάρξουν καθαρά ολογράμματα. Αυτό, οδηγεί στην ανάγκη ύπαρξης πολλών τρισεκατομμυρίων Hogels(Holographic pixels) για μία αναπαράσταση φυσικού μεγέθους, κάτι το οποίο απαιτεί υψηλές τεχνολογικές γνώσεις και ανεξιχνίαστες τεχνικές που ο σύγχρονος άνθρωπος έχει βάλει ως στόχο να ανακαλύψει, καθώς νιώθει την ανάγκη να παρουσιάσει και να περιβάλλεται από ρεαλιστικές τρισδιάστατες εικόνες μιας και ο κόσμος που ζει, όπως αναφέραμε είναι τρισδιάστατος. Κλείνοντας αυτό το κεφάλαιο, έχουν παρατηρηθεί σπουδαία επιτεύγματα στο χώρο της απεικόνισης και παρατηρείται ότι ακόμα έχει πολύ μέλλον και πολλά ακόμα μονοπάτια άγνωστα προς ανακάλυψη και κυρίως στον τεχνολογικό τομέα της τρισδιάστατης απεικόνισης.[9]

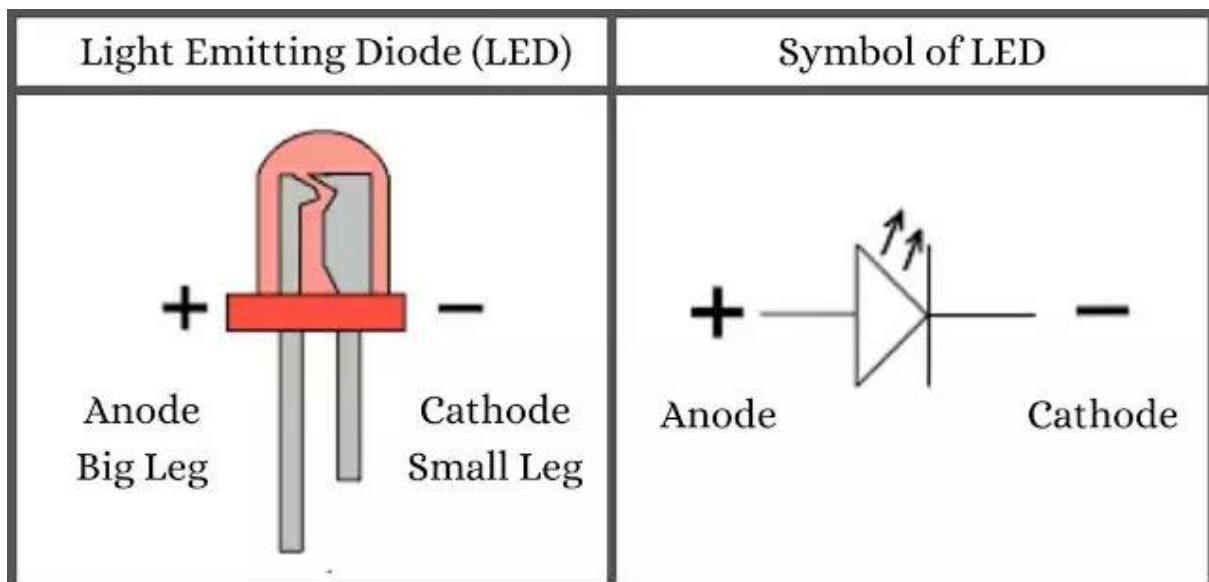


Σχήμα 2.9: Ολογραφική αναπαράσταση καρδιάς. Πηγή: Πηγή: www.shutterstock.com

Κεφάλαιο 3ο: Ογκομετρική τρισδιάστατη ψηφιακή έγχρωμη απεικόνιση με LED Dot Matrix.

3.1 Τα LED(Light Emitting Diode)

Η δίοδος εκπομπής φωτός (LED, Light Emitting Diode) αποτελεί ένα βασικό εξάρτημα της τεχνολογίας της οπτοηλεκτρονικής. Είναι ουσιαστικά, ένα ημιαγωγό στοιχείο, το οποίο εκπέμπει φωτεινή ακτινοβολία όταν του παρέχεται μία ηλεκτρική τάση κατά τη φορά ορθής πόλωσης (forward-biased). Το χρώμα του φωτός που εκπέμπεται εξαρτάται από την χημική σύσταση του ημιαγωγικού υλικού που χρησιμοποιείται, και μπορεί να είναι υπεριώδες, ορατό ή υπέρυθρο. Το φασματικό εύρος μιας LED τεχνολογίας έχει μεγάλη διασπορά μήκους κύματος. Παρόλο που η χρωματική διασπορά που προέρχεται από μία φωτεινή πηγή LED, στο ανθρώπινο οπτικό σύστημα το παραγόμενο φως διακρίνεται ως μονοχρωματικό, για τον λόγο αυτό οι LED δίοδοι είναι κατάλληλοι για χρήση σε έγχρωμες οθόνες απεικόνισης, όπως για παράδειγμα στη συγκεκριμένη εργασία. Στις εφαρμογές όπου χρειάζεται αυστηρά μονοχρωματική πηγή φωτός απαιτείται χρήση LASER έναντι των LED γιατί έχει πολύ μικρό εύρος φάσματος και το εκπεμπόμενο φως είναι σχεδόν πλήρως μονοχρωματικό.[1]



Σχήμα 3.1: Αριστερά απεικόνιση πολικότητας ενός LED και δεξιά το σύμβολο του. Πηγή: www.atlearner.com

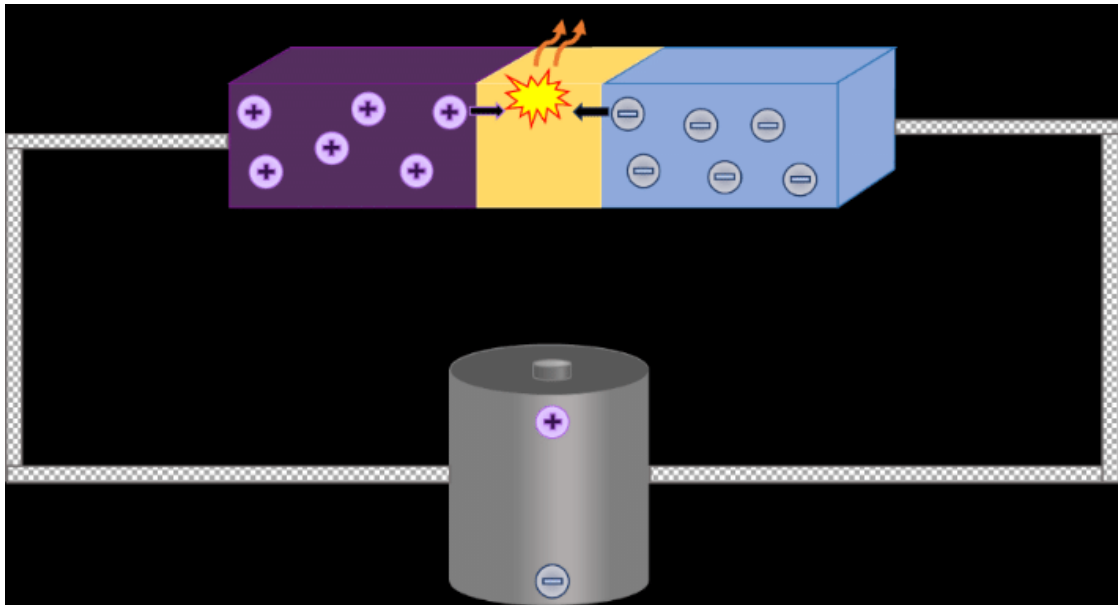
Το μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπεται, και, κατά συνέπεια, το χρώμα του, εξαρτάται από το χάσμα ενέργειας των υλικών, τα οποία χρησιμοποιούνται για την δημιουργία του περάσματος p-n, όπου:

p = Υλικό νοθευμένο με αποδέκτες.

n = Υλικό νοθευμένο με δότες.

Το υλικό n το οποίο είναι νοθευμένο με δότες έχει πλειονότητα αρνητικά φορτισμένων φορέων, δηλαδή ηλεκτρονίων, στις εξωτερικές ενεργειακές ζώνες των ατόμων με αποτέλεσμα να υπάρχουν περισσότερα ηλεκτρόνια. Το υλικό p από την άλλη είναι νοθευμένο με αποδέκτες δηλαδή έχει πλειονότητα θετικά φορτισμένων φορέων όπου είναι οι οπές, δηλαδή από τις εξωτερικές στοιβάδες ηλεκτρονίων υπάρχει έλλειμμα ηλεκτρονίων. Έτσι δημιουργείται μία δίοδος και επιτρέπει τη φορά του ρεύματος μόνο προς μία κατεύθυνση. Η δίοδος LED είναι το ίδιο με τη διαφορά ότι εκπέμπει και φως. Η πιο απλή μορφή δίοδου LED είναι μία p-n επαφή η οποία πολώνεται ορθά για να εγχεί ηλεκτρόνια και οπές μέσα στις

p- και n- πλευρές αντίστοιχα. Έτσι επιτυγχάνεται η ακτινοβολία φωτονίων, δηλαδή εκπομπή φωτός. Τα LED χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε εφαρμογές ως οπτικός ενδείκτης και ως σαν γεννήτρια οπτικού σήματος στις οπτικές επικοινωνίες. Επίσης εμπορικές εφαρμογές των LED αφορούν προβολείς οχημάτων, φωτεινοί σηματοδότες, γιγαντοοθόνες διαφήμισης και ανακοινώσεων, φωτισμός χώρων και σε διάφορους τύπους οθονών. [1]



Σχήμα 3.2: Σχηματικό της διόδου σε ορθή πόλωση, όπου απεικονίζεται η κίνηση των ηλεκτρονίων στους ημιαγωγούς που αποτελούν τη δίοδο p-n και το αποτέλεσμα της παραγωγής φωτονίων όταν ενωθούν στην ενεργό περιοχή τα ηλεκτρόνια και οι οπές. Πηγή: Nafarizal Nayan, Soon Chin Fhong, Khairul Anuar Mohamad (2019), Current Advances In Microdevices and Nanotechnology

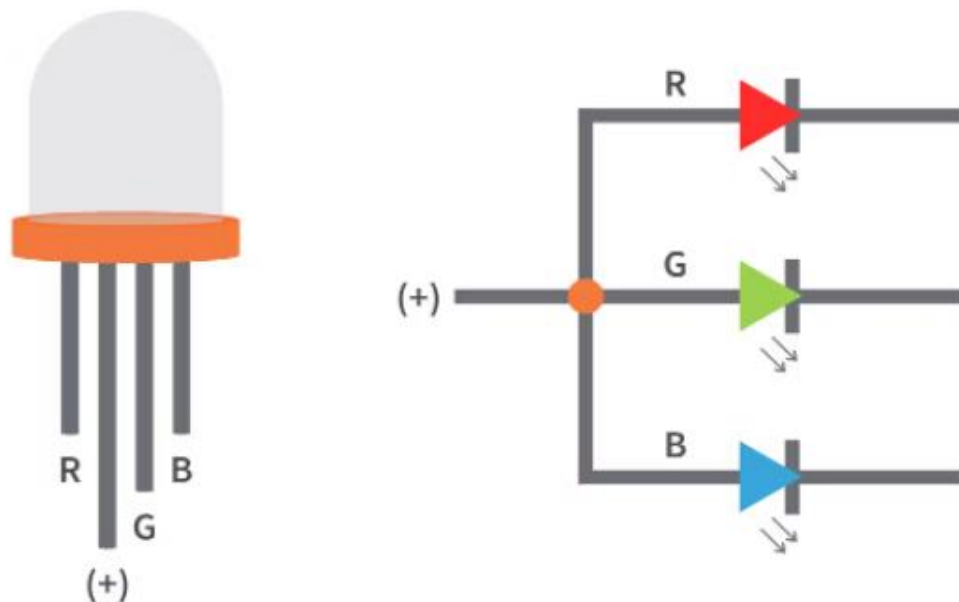
3.1.1 Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των LED

- Πλεονεκτήματα των LED
 - a. Το φως που εκπέμπεται από τα LED είναι συγκεκριμένου χρώματος και δεν απαιτείται η χρήση ειδικών φίλτρων σε αντίθεση με τους παραδοσιακούς τρόπους φωτισμού.
 - b. Είναι αποδοτική η λειτουργίας τους, όσον αφορά το ρεύμα που καταναλώνουν σε σχέση με την εκπεμπόμενη ποσότητα φωτός.
 - c. Τα LED είναι σχετικά μικρά σε μέγεθος και για αυτό το λόγο η χρήση τους σε πληθώρα εφαρμογών καθίσταται αρκετά εύκολη.
 - d. Τα LED έχουν μικρό χρόνο απόκρισης. Μια τυπική LED μπορεί να έρθει σε κατάσταση πλήρους φωτεινότητας(ON) και αντίστοιχα σε κατάσταση απενεργοποίηση(OFF) σε μικρό χρονικό διάστημα χρόνο της τάξης microsecond(μ s). Για τον λόγο αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε συσκευές επικοινωνίας που απαιτούν πολύ μικρούς χρόνους απόκρισης.
 - e. Τα LED μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι ώρες λειτουργίας τους κυμαίνονται από 35.000 έως 50.000 ώρες.

- f. Τα LED είναι υλικά στερεάς κατάστασης και για αυτόν τον λόγο είναι ανθεκτικότερα σε κραδασμούς και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και σε εγκαταστάσεις βαριάς βιομηχανίας.
 - g. Ανάλογα την εφαρμογή τους, τα LED μπορούν να σχεδιαστούν με μεγάλη κατευθυντικότητα φωτός ή με μεγάλη διασπορά εκπεμπόμενου φωτός.
- Μειονεκτήματα των LED
 - a. Τα LED έχουν μικρή ανοχή στην ένταση του ρεύματος και απαιτείται πάντοτε ένα σύστημα ελέγχου και περιορισμού του ρεύματος που το διαρρέει.
 - b. Τα LED ενώ έχουν μικρό χρωματικό φάσμα εκπομπής φωτός δεν είναι ικανά για χρήση σε πολύ απαιτητικά συστήματα τηλεπικοινωνιών.

3.1.2 RGB LED

Ενώ τα περισσότερα LED είναι μονοχρωματικά υπάρχουν και LED με ρύθμιση χρώματος RGB. Τα RGB LED έχουν τρία χρώματα, το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε από τα οποία προέρχεται η ονομασία τους (red, green, blue). Ο τρόπος λειτουργίας τους βασίζεται στην προσθετική μείξη χρωμάτων. Προσθετική μείξη των χρωμάτων ορίζεται η ικανότητα παραγωγής οποιουδήποτε χρώματος με τον συνδυασμό τριών φασματικών χρωμάτων. Αυτά τα χρώματα είναι το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε και χαρακτηρίζονται ως κύρια χρώματα. Με τη μείξη αυτών των τριών χρωμάτων σε διάφορες αναλογίες είναι εφικτό να παραχθεί ένα μεγάλο εύρος χρωμάτων συμπεριλαμβανομένου και του λευκού.[3][4]



Σχήμα 3.3: Σχηματικό RGB Led κοινής ανόδου. Πηγή: www.circuitbread.com

Στη παρούσα εργασία έγινε χρήση των RGB LED. Σε σχέση με τα μονοχρωματικά LED τρεις διόδους p-n, μία για κάθε ένα από τα τρία χρώματα. Ο τρόπος με τον οποίο καθορίζεται το εκπεμπόμενο φως προκύπτει από την εκπεμπόμενη ένταση φωτός που προέρχεται από τις τρεις διόδους. Το φως που εκπέμπεται από κάθε επαφή p-n, ρυθμίζεται από την ένταση ρεύματος που το διαρρέει. Έτσι,

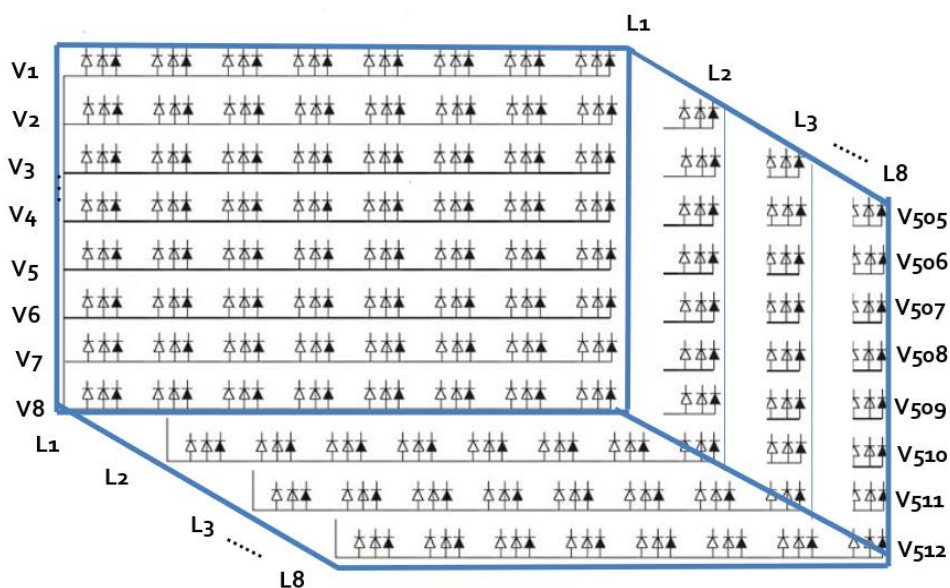
ρυθμίζοντας την ένταση του ρεύματος στις τρεις επαφές είναι εφικτό να δημιουργηθεί το επιθυμητό χρώμα. Ο τρόπος με τον οποίο ρυθμίζεται η ένταση του ρεύματος στις επαφές αι κατ' επέκταση στο εκπεμπόμενο φως, γίνεται με τη χρήση με τη διαμόρφωση εύρους παλμών(Pulse Width Modulation PWM).[3][4]

3.2 Η χρήση του LED Dot Matrix για κατασκευή 3D display

Για την απεικόνιση ογκομετρικής τρισδιάστατης εικόνας, απαιτείται η κατασκευή ενός ογκομετρικού τρισδιάστατου display. Για την ανάγκη αυτή της παρούσας εργασίας, κατασκευάστηκε ένα 3D display βασιζόμενο στη τεχνολογία LED Dot Matrix, στην οποία έγινε αναφορά σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ουσιαστικά, πρόκειται για ένα LED Dot Matrix, που επαναλαμβάνεται πολλές φορές στον χώρο, προκειμένου να αποκτήσει και τρίτη διάσταση. Για να είναι ορατό και το βάθος του 3D display, θα πρέπει τα επίπεδα του LED Dot Matrix, να μην εμποδίζεται η διέλευση του φωτός από τα επίπεδα προς τον θεατή. Η οθόνη, η οποία κατασκευάστηκε για την εργασία αυτή, αποτελείται από οκτώ επίπεδα των 8*8 LED Dot Matrix, δηλαδή έγινε χρήση 512 LED. Η συνδεσμολογίες των LED και των επιπέδων, πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση λεπτού χάλκινου καλωδίου, για να είναι όσο το περισσότερο ορατά όλα τα Voxels της τρισδιάστατης οθόνης. Τα LED που χρησιμοποιήθηκαν, είναι RGB LED, για να υπάρχει δυνατότητα απεικόνισης πολλών χρωμάτων. Η τρισδιάστατη οθόνη έχει τοποθετηθεί πάνω σε ξύλινη κατασκευή μέσα στην οποία είναι εγκατεστημένο το κύκλωμα οδήγησης. Περιμετρικά, έχει καλυφθεί με plexiglass κυρίως για την προστασία της οθόνης.

3.3 Σάρωση της τρισδιάστατης οθόνης

Η σάρωση της τρισδιάστατης οθόνης εκτελείται με τον ίδιο τρόπο, που γίνεται και στις συμβατικές ψηφιακές οθόνες, δηλαδή φωτίζεται κάθε χρονική στιγμή ένα Pixel(στη συγκεκριμένη εργασία Voxel), με κατάλληλο ρυθμό, έτσι ώστε να φωτιστούν όλα τους, το ένα μετά το άλλο. Δηλαδή, ξεκινώντας από το πρώτο Pixel, φωτίζονται διαδοχικά και για μικρή χρονική διάρκεια το καθένα μέχρι το τελευταίο στοιχείο της οθόνης. Αυτή η διαδικασία, ονομάζεται σάρωση και πραγματοποιείται πολλές φορές σε ένα δευτερόλεπτο, ώστε να φαίνεται στο ανθρώπινο μάτι μία σταθερή εικόνα. Στις συμβατικές οθόνες, ο ρυθμός ανανέωσης της εικόνας, δηλαδή μία σάρωση, γίνεται πενήντα φορές το δευτερόλεπτο.

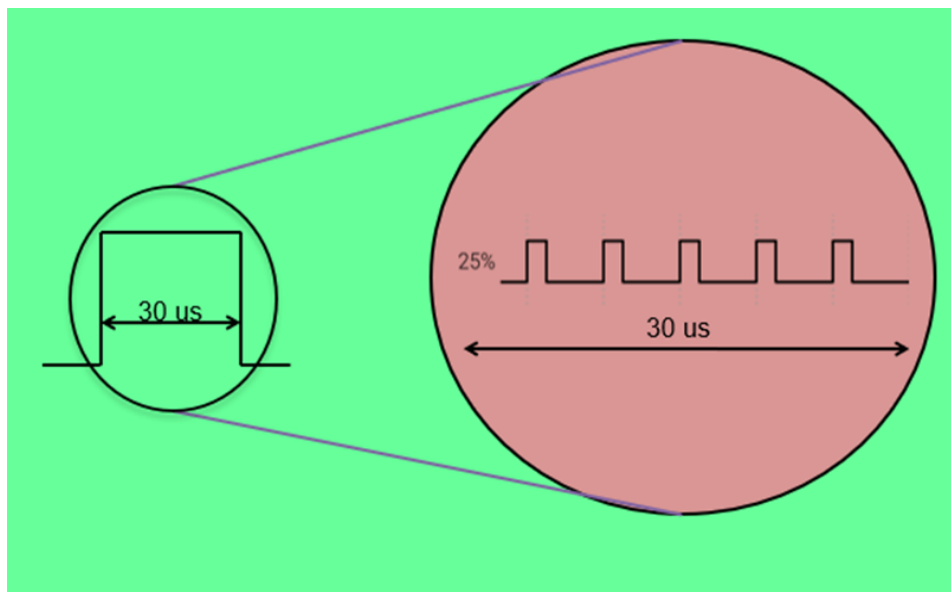


Σχήμα 3.4 : Τρισδιάστατη έγχρωμη οθόνη με τα επίπεδά της.

Επειδή τον ανθρώπινο οπτικό σύστημα, δεν είναι ικανό να αντιληφθεί τόσο γρήγορες αλλαγές στην εικόνα, το λαμβάνει σαν μία σταθερή εικόνα. Στη συγκεκριμένη εργασία, όπου η οθόνη είναι τρισδιάστατη, η διαδικασία της σάρωσης γίνεται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο, περιλαμβάνοντας και όλα τα επίπεδα. Αρχικά, σαρώνεται το πρώτο επίπεδο και έπειτα όλα τα υπόλοιπα μέχρι το τελευταίο επίπεδο, στο οποίο ολοκληρώνεται η σάρωση της τρισδιάστατης οθόνης. Για παράδειγμα, ξεκινάει η σάρωση στο πρώτο Voxel του πρώτου επιπέδου και αφού σαρωθεί το τελευταίο Voxel του ίδιου επιπέδου, συνεχίζει η σάρωση του πρώτου Voxel του δεύτερου επιπέδου και συνεχίζεται η ίδια διαδικασία, ωστόσο ολοκληρωθεί στο τελευταίο Voxel του τελευταίου επιπέδου.

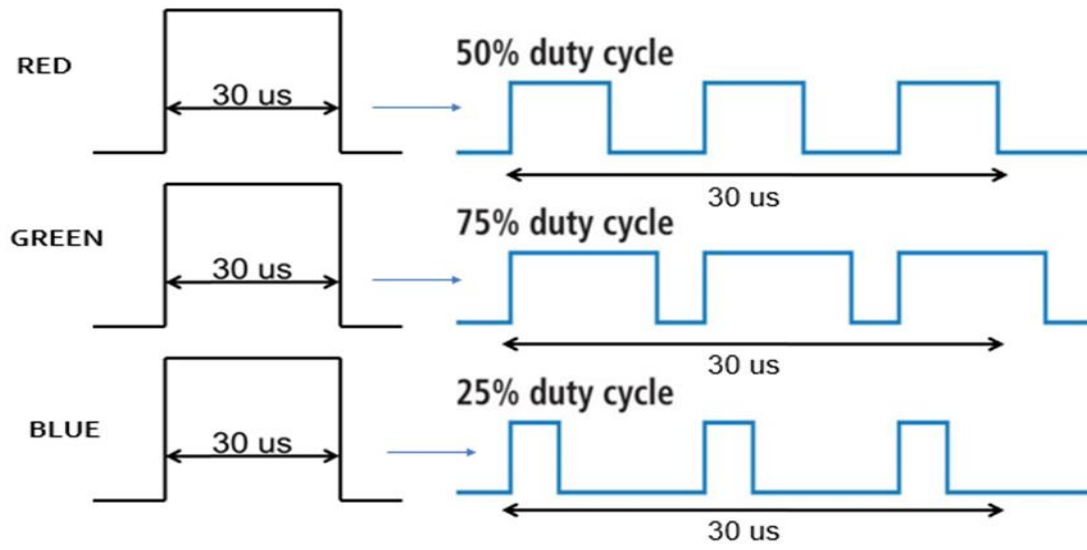
3.4 Σάρωση της τρισδιάστατης οθόνης

Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν RGB LED για να υπάρχει δυνατότητα έγχρωμης απεικόνισης. Ο τρόπος με τον οποίο καθορίζεται η χρωματική απόχρωση του κάθε RGB LED είναι με τη χρήση PWM(Pulse Width Modulation). Το PWM είναι μία σειρά ρυθμιζόμενου εύρους παλμών συγκεκριμένης συχνότητας. Στο PWM, η συχνότητα των παλμών είναι σταθερή, όμως αλλάζει το εύρος του κάθε παλμού, δηλαδή, για κάθε παλμό ρυθμίζεται η χρονική διάρκεια του. Για παράδειγμα, όταν η χρονική διάρκεια του παλμού είναι ίση με τη περίοδο του τότε λαμβάνουμε τη μέγιστη δυνατή ένταση ρεύματος, ενώ όταν η χρονική διάρκεια του παλμού είναι ίση με το μισό της περιόδου του τότε η ένταση του ρεύματος είναι μισή για τη συγκεκριμένο χρονικό διάστημα της περιόδου. Με αυτόν τον τρόπο, μεταβάλλοντας το εύρος των παλμών, μεταβάλλεται και η ένταση του ρεύματος της παλμοσειράς.



Σχήμα 3.5: Έλεγχος έντασης ρεύματος με τη χρήση διαμόρφωσης εύρους παλμών

Η απόδοση των χρωμάτων σε κάθε Voxel και σε κάθε εικόνα, λαμβάνει χώρα στο χρονικό παράθυρο, όπου το τρισδιάστατο στοιχείο είναι ενεργοποιημένο κατά τη διάρκεια της σάρωσης. Όταν το LED ενεργοποιείται για σάρωση, λαμβάνει και το κατάλληλο PWM σήμα για την απόδοση του επιθυμητού χρώματος. Ουσιαστικά, για την αναπαράσταση ενός συγκεκριμένου χρώματος δίνεται τετραγωνικός παλμός κατάλληλης συχνότητας σε κάθε μία από τις τρεις συνιστώσες του LED. Ανάλογα με τη συχνότητα της παλμοσειράς, ρυθμίζεται και η ένταση της κάθε συνιστώσας, προσδίδοντας το κατάλληλο επιθυμητό χρωματικό αποτέλεσμα



Σχήμα 3.6: Παράδειγμα ελέγχου της απόχρωσης ενός RGB LED με χρήση διαμόρφωσης εύρους παλμών σε κάθε μία από τις τρεις χρωματικές συνιστώσες.

Κεφάλαιο 4ο: Κατασκευή

4.1 Υλικά

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τη κατασκευή ολόκληρου του τρισδιάστατου display είναι οι αντιστάσεις διαφόρων τιμών, τα τρανζίστορ BD139 και 2N3904, οι αποπολυπλέκτες CD74HC238E, το Bluetooth HC-05, το Arduino Uno και τα RGB LED.

4.1.1 RGB LED

Στη κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν 512 RGB LED κατασκευής OEM με κύρια χαρακτηριστικά το ρεύμα λειτουργίας για κάθε χρωματική συνιστώσα είναι $I_F = 20mA$. Το μέγιστο στιγμιαίο επιτρεπόμενο ρεύμα είναι $I_{PF} = 30mA$ ενώ οι ονομαστικές τιμές των διόδων είναι $V_{FR} = 1.8V$ για το κόκκινο χρώμα, $V_{FG} = 3V$ για το πράσινο, $V_{FR} = 3.2V$ για το μπλε χρώμα.



Σχήμα 4.1: Εξάρτημα RGB LED. Πηγή: www.aliexpress.com

4.1.2 Τρανζίστορ

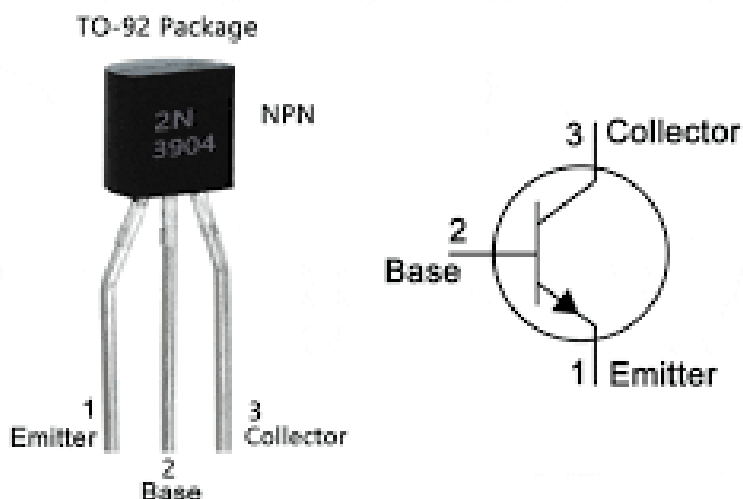
Τα τρανζίστορ που χρησιμοποιήθηκαν είναι οκτώ BD139 της STMicroelectronics και εκατόν ενενήντα δύο 2N3904 κατασκευής OEM, και χρησιμοποιούνται σαν διακόπτες. Το BD139 είναι NPN BJT τρανζίστορ και τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι το ρεύμα συλλέκτη $I_C = 1.5A$ και μέγιστη επιτρεπόμενη τάση συλλέκτη εκπομπού είναι $V_{CEO} = 80V$. Ο λόγος που επιλέχθηκε το συγκεκριμένο τρανζίστορ είναι τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά καθώς χρησιμοποιούνται σε σημείο που το διαρρέει μεγάλη ένταση ρεύματος. Τα 2N3904 είναι και αυτά NPN BJT και έχουν ρεύμα συλλέκτη $I_C = 200mA$ και μέγιστη επιτρεπόμενη τάση συλλέκτη εκπομπού είναι $V_{CEO} = 40V$. Τα συγκεκριμένα τρανζίστορ επιλέχθηκαν καθώς είναι ικανοποιητικά για γενική χρήση. [6][7]

BD139 Transistor Pinout



Σχήμα 4.2: Συσκευασία τρανζίστορ BD139 και το σύμβολο του διπολικού τρανζίστορ NPN, κατηγορία στη οποία ανήκει το συγκεκριμένο εξάρτημα. Πηγή: www.envirementalb.com

2N3904 Transistor Pinout



Σχήμα 4.3: Συσκευασία τρανζίστορ 2N3904 και το σύμβολο του διπολικού τρανζίστορ NPN, κατηγορία στη οποία ανήκει το συγκεκριμένο εξάρτημα. Πηγή: www.anasounds.com

4.1.3 Arduino Uno

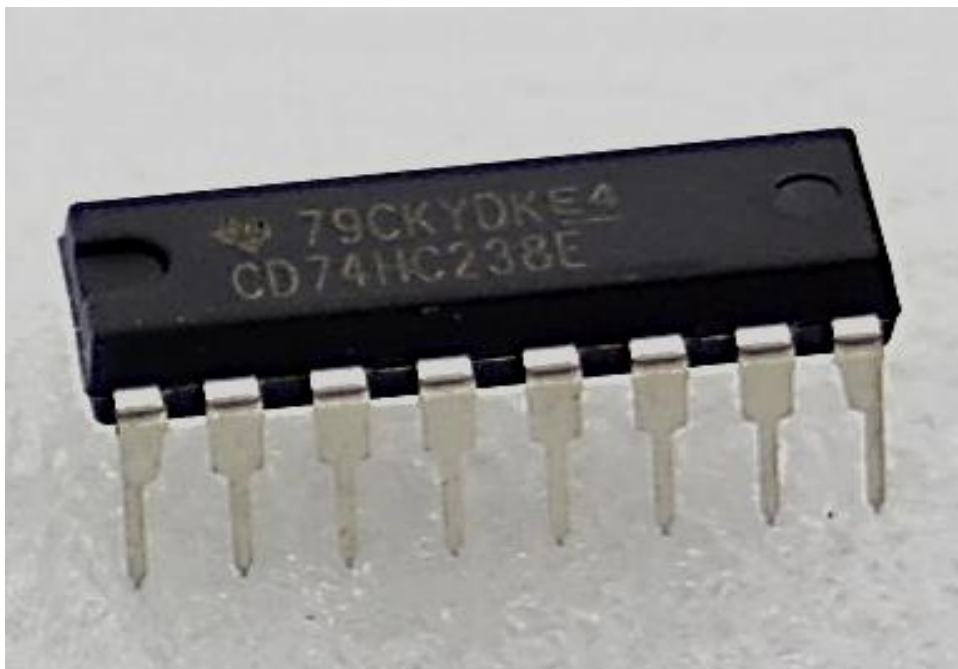
Ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιήθηκε είναι το ολοκληρωμένο σύστημα Arduino Uno. Το Arduino Uno είναι μία πλακέτα που βασίζεται στη τεχνολογία στον μικροελεγκτή ATmega328P. Διαθέτει δεκατέσσερις ψηφιακές εισόδους και δεκατέσσερις εξόδους, έξι αναλογικές εισόδους και συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω θύρας USB. Το Arduino Uno προγραμματίζεται στο περιβάλλον του Arduino IDE μέσω του υπολογιστή και φορτώνεται ο κώδικας στον μικροελεγκτή. Η τάση λειτουργίας είναι τα 5V, η συχνότητα λειτουργίας είναι 16MHz, η μνήμη προγράμματος είναι τα 32kb και μνήμη RAM είναι 2kb. Η λειτουργία του μικροελεγκτή είναι ο έλεγχος ολόκληρου του κυκλώματος μέσω αυτού και επιλέχθηκε, διότι είναι εύκολος στη χρήση του και κατάλληλος για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.



Σχήμα 4.4: Ο μικροελεγκτής Arduino Uno. Πηγή: www.dreamstime.com

4.1.4 Αποπολυπλέκτες

Οι αποπολυπλέκτες που χρησιμοποιήθηκαν είναι είκοσι επτά και είναι οι CD74HC238E της STMicroelectronics και της Texas Instruments και ο λόγος που χρησιμοποιήθηκαν είναι για την μείωση των φυσικών συνδέσεων στο κύκλωμα. Οι αποπολυπλέκτες έχουν ψηφιακή είσοδο τριών bit και καταλήγουν σε ψηφιακή έξοδο οκτώ bit. Τα βασικά τους χαρακτηριστικά είναι ότι έχουν τάση λειτουργίας 5V και η λογική τάση εισόδου είναι 4.5V-5.5V.[5]



Σχήμα 4.5: Συσκευασία του αποπολυπλέκτη 3 προς 8 CD74HC238E. Πηγή: www.ecomposant.com

TRUTH TABLE CD74HC238, CD74HCT238

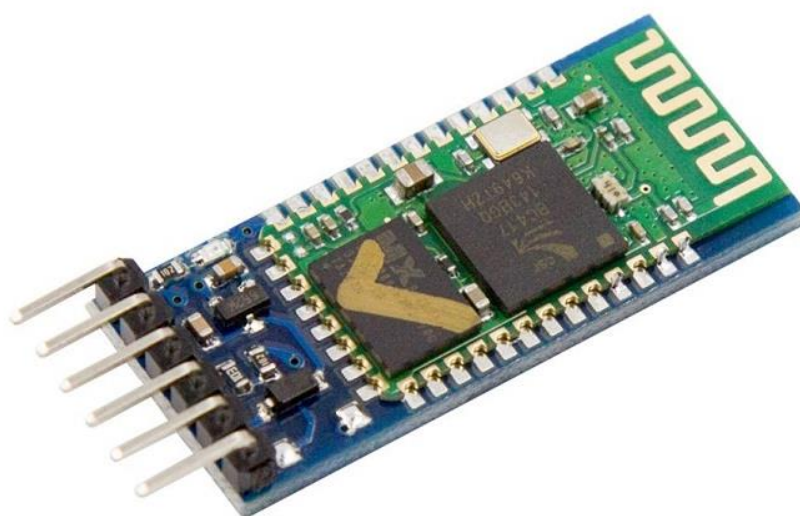
INPUTS						OUTPUTS							
ENABLE			ADDRESS										
E3	E2	E1	A2	A1	A0	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
X	X	H	X	X	X	L	L	L	L	L	L	L	L
L	X	X	X	X	X	L	L	L	L	L	L	L	L
X	H	X	X	X	X	L	L	L	L	L	L	L	L
H	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	L
H	L	L	L	L	H	L	H	L	L	L	L	L	L
H	L	L	L	H	L	L	L	H	L	L	L	L	L
H	L	L	L	H	H	L	L	L	H	L	L	L	L
H	L	L	H	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L
H	L	L	H	L	H	L	L	L	L	L	H	L	L
H	L	L	H	H	L	L	L	L	L	L	L	H	L
H	L	L	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	H

NOTE: H = High Voltage Level, L = Low Voltage Level, X = Don't Care

Σχήμα 4.6: Πίνακας αληθείας του ολοκληρωμένου CD74HC238E. Πηγή: [5]

4.1.5 Bluetooth Module HC-05

Το Bluetooth Module HC-05 είναι μία πλακέτα για ασύρματη συριακή επικοινωνία με το Bluetooth Protocol. Αποτελείται από έξι ακροδέκτες από τους οποίους χρησιμοποιούνται μόνο τα τέσσερα. Τα δύο από αυτά είναι για τροφοδοσία και γείωση και τα δύο είναι για την αποστολή και την λήψη των δεδομένων. Η τάσης λειτουργίας είναι 3.3V-5V. Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε για τον ασύρματο έλεγχο της θόνης μέσω κινητού τηλεφώνου με το πρωτόκολλο του Bluetooth και επιλέχθηκε το συγκεκριμένο μοντέλο το οποίο είναι κατασκευής OEM καθώς είναι εύκολο στη χρήση και στη συνδεσιμότητά του.



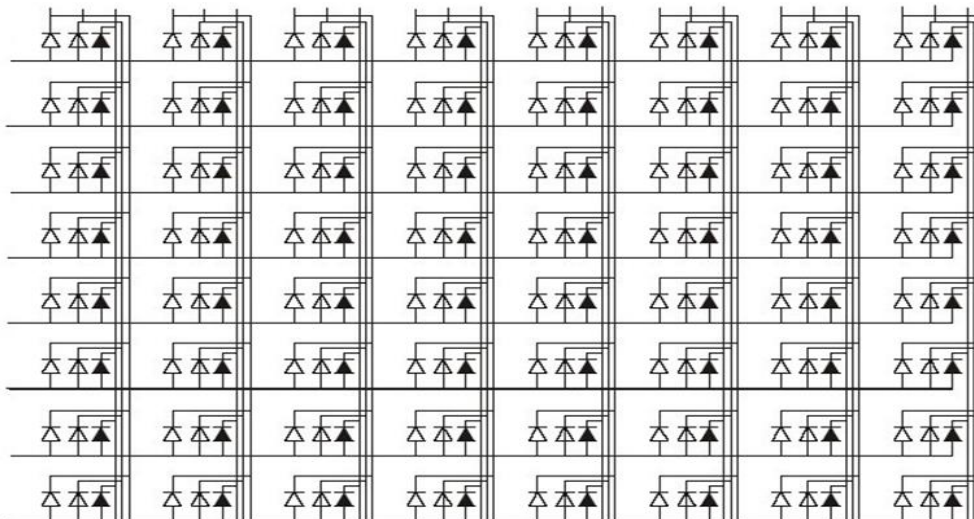
Σχήμα 4.7: Το Bluetooth Module HC-05. Πηγή: www.grobotronics.com



Σχήμα 4.8: Συνδεσμολογία των pin του Bluetooth Module HC-05. Πηγή: www.grobotronics.com

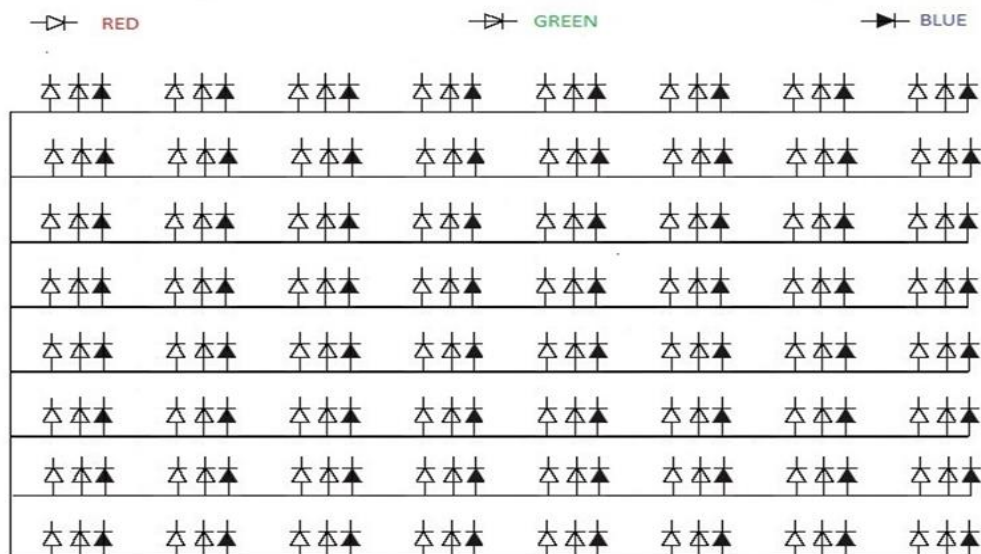
4.2 Συνδεσμολογία της τρισδιάστατης οθόνης

Η τρισδιάστατη οθόνη της παρούσας εργασίας αποτελείται από οκτώ επίπεδα RGB LED Dot Matrix συνδεδεμένα μεταξύ τους. Η συνδεσμολογία φαίνεται στα σχήματα Στο επίπεδο 8*8 όλες οι άνοδοι όλων των LED είναι ενωμένες μεταξύ τους και σε γραμμές και σε στήλες. Μεταξύ επιπέδων οι άνοδοι δεν συνδέονται.



Σχήμα 4.9: Σχηματικό πρόσοψης της οθόνης με τις συνδέσεις μεταξύ των καθόδων κάθε χρωματικής συνιστώσας και στα οκτώ επίπεδα.

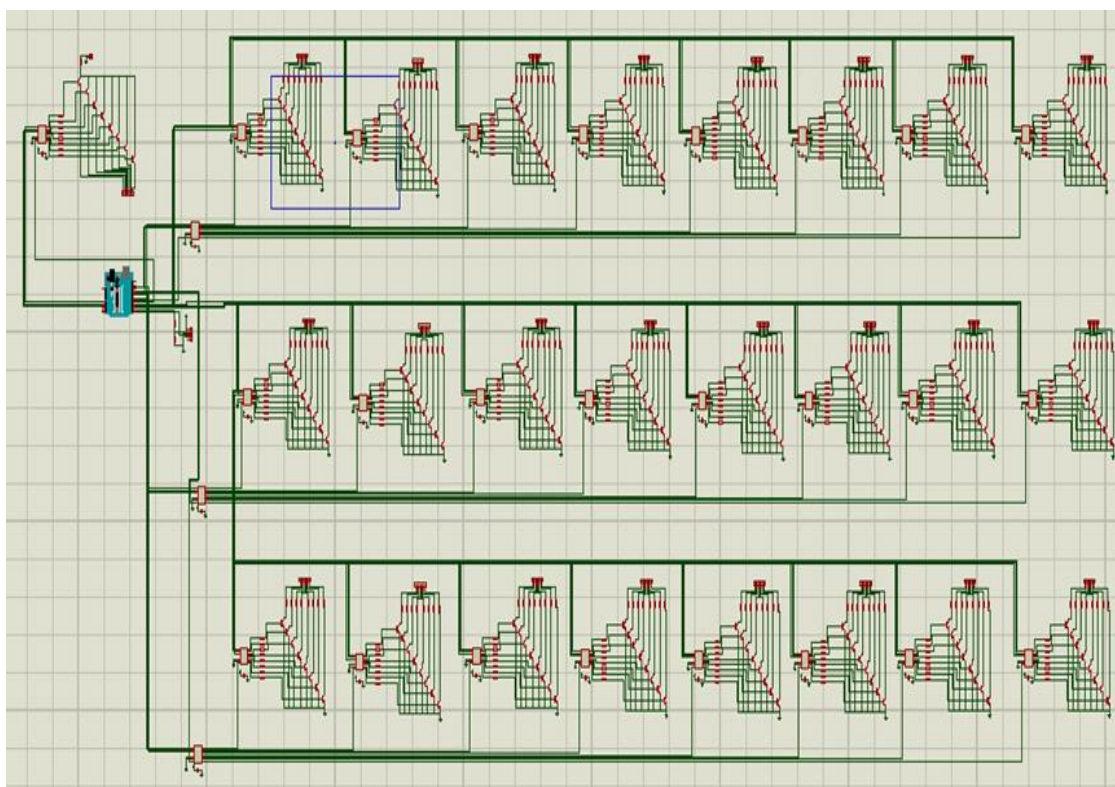
Οι κάθοδοι και των τριών χρωματικών συνιστωσών όλων των LED σε ένα επίπεδο δεν ενώνονται μεταξύ τους. Οπότε σε ένα επίπεδο ενώνονται μόνο οι άνοδοι. Μεταξύ επιπέδων οι ενώνονται οι κάθοδοι των LED που βρίσκονται στο ίδιο σημείο αλλά σε διαφορετικό επίπεδο. Δηλαδή, οι κάθοδοι των τριών συνιστωσών του πρώτου στοιχείου του πρώτου επιπέδου συνδέονται με τις αντίστοιχες σε θέση χρωματικές συνιστώσες των επόμενων επιπέδων.



Σχήμα 4.10: Σχηματικό κάτοψης της οθόνης με ενωμένες τις ανόδων των LED σε ένα επίπεδο

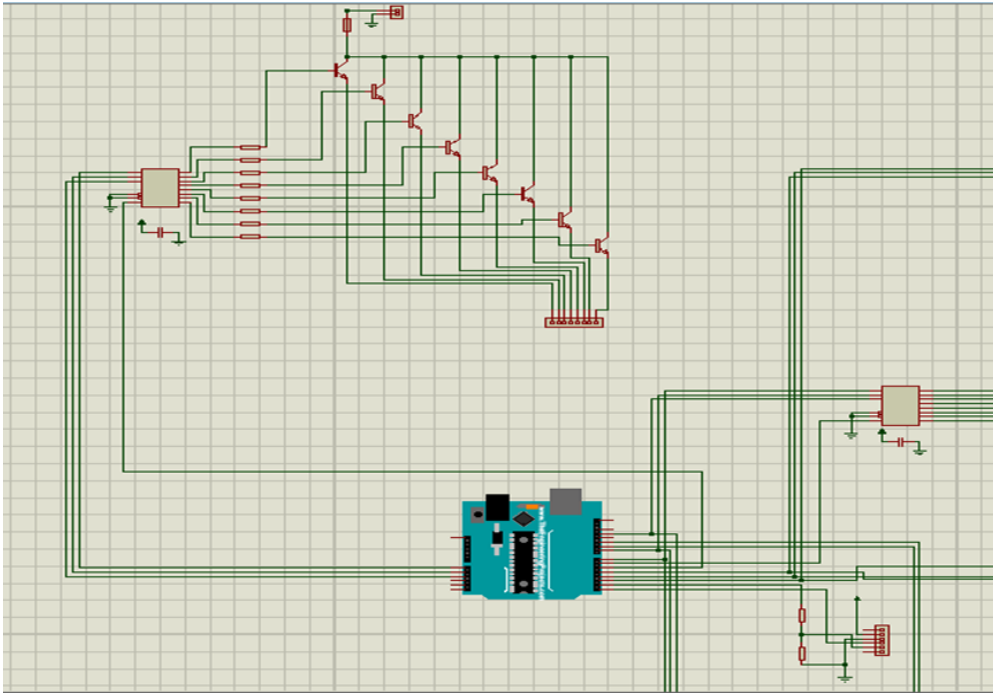
4.3 Συνδεσμολογία του κυκλώματος οδήγησης

Το κύκλωμα οδήγησης που απεικονίζεται στην εικόνα ... αποτελείται από τον μικροελεγκτή Arduino Uno ως κεντρικό ελεγκτή του συστήματος και τα επιμέρους κυκλώματα για την οδήγηση της τρισδιάστατης οθόνης. Η πλατφόρμα Arduino Uno, περιέχει τον κώδικα και τις απαραίτητες εντολές για την ορθή λειτουργία του συστήματος. Το Arduino Uno τροφοδοτείται από πηγή τάσης 5Volt και συνδέεται μέσω καλωδίου με συριακή επικοινωνία σε υπολογιστή. Επίσης, συνδέεται και ασύρματα με συριακή επικοινωνία, μέσω του Bluetooth module που αναφέρθηκε παραπάνω.



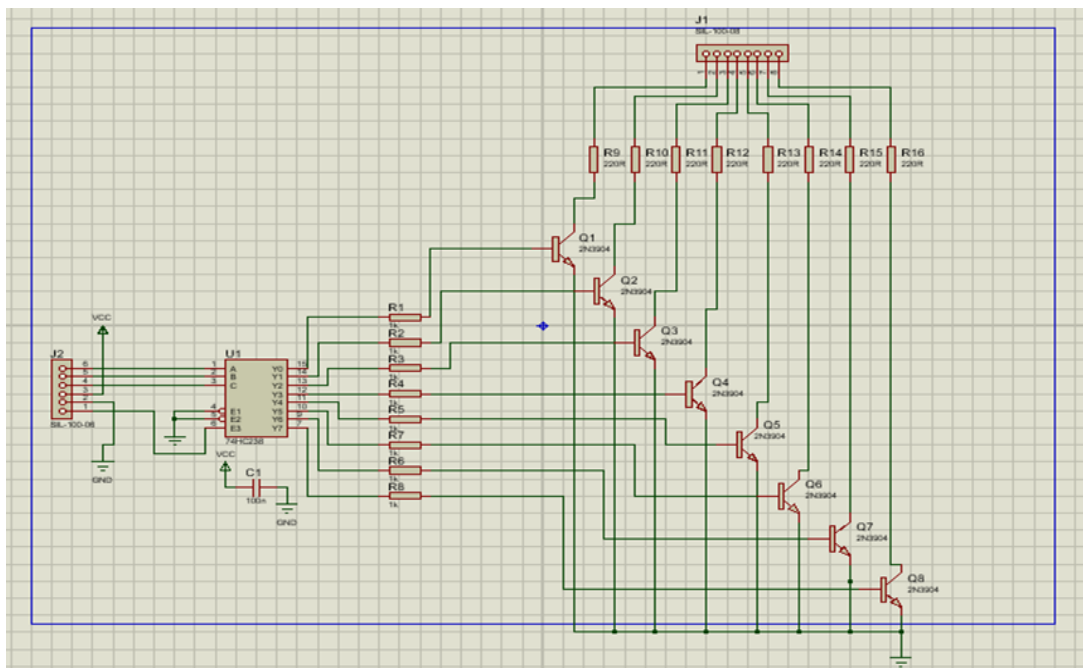
Σχήμα 4.11: Σχηματικό συνολικού κυκλώματος οδήγησης.

Για την οδήγηση των ανόδων των RGB LED χρησιμοποιείται ένας αποπολυπλέκτης ο οποίος ελέγχει τις βάσεις των τρανζίστορ (BD 139). Το καθένα από τα οκτώ τρανζίστορ, παρέχει το ρεύμα λειτουργίας σε κάθε επίπεδο. Στο συγκεκριμένο σημείο του κυκλώματός τοποθετήθηκαν αυτά τρανζίστορ λόγω της αντοχής τους σε ρεύματα υψηλής έντασης. Ο λόγος της χρήσης τέτοιων τρανζίστορ, είναι ότι, οι άνοδοι όλων των LED κάθε επιπέδου είναι ενωμένες μεταξύ τους. Το ρεύμα που παρέχεται στα επίπεδα δίνεται από εξωτερική πηγή τάσης 5Volt και παροχή ελέγχεται από τα τρανζίστορ. Αυτά με τη σειρά τους ελέγχονται από τον μικροελεγκτή μέσω του αποπολυπλέκτη. Ο αποπολυπλέκτης χρησιμοποιείται, για την μείωση του αριθμού των συνδέσεων από το Arduino στα τρανζίστορ και τροφοδοτείται από πηγή τάσης 5Volt της πλακέτας του Arduino.



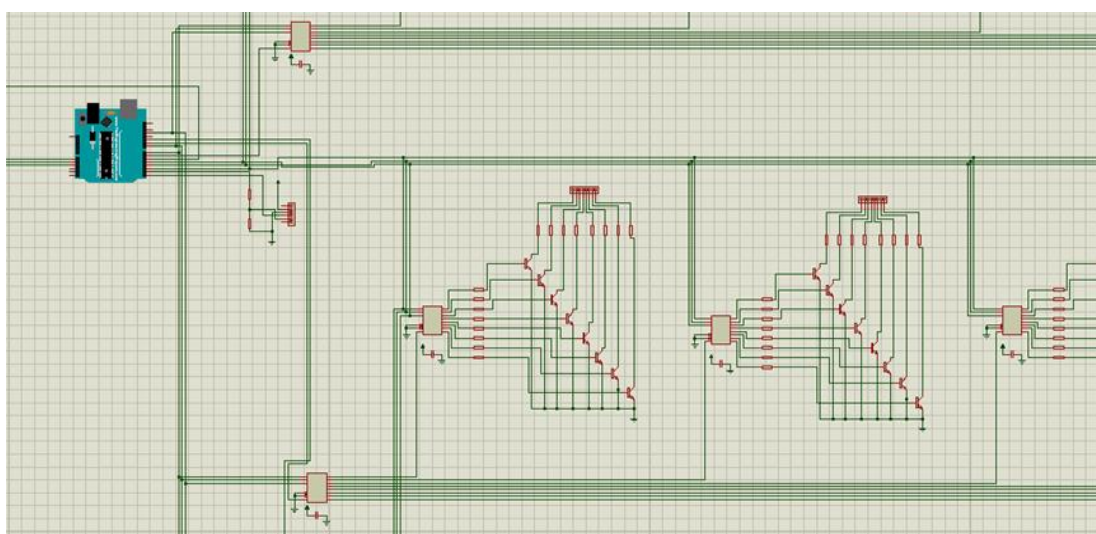
Σχήμα 4.12: Σχηματικό μέρος του κυκλώματος που αφορά την οδήγηση των ανόδων της οθόνης και ο μικροελεγκτής

Ο έλεγχος των καθόδων, πραγματοποιείται μέσω των τρανζίστορ 2N3904 από τον μικροελεγκτή με την βοήθεια αποπολυπλεκτών. Για κάθε γραμμή της τρισδιάστατης οθόνης υπάρχουν είκοσι τέσσερα κυκλώματα έλεγχου των καθόδων των LED, τα οποία είναι κοινά για όλες τις γραμμές. Ο λόγος που γίνεται χρήση είκοσι τεσσάρων κυκλωμάτων είναι ότι κάθε RGB LED έχει τρεις καθόδους, μία κάθοδο για κάθε μία από τις τρεις συνιστώσες. Κατά τη διάρκεια της σάρωσης, κάθε χρονική στιγμή είναι ενεργοποιημένη μόνο μία γραμμή του κάθε επιπέδου. Τα οκτώ LED της γραμμής ελέγχονται από οκτώ τρανζίστορ για κάθε μία από τις τρεις συνιστώσες χρώματος. Συνολικά χρησιμοποιούνται είκοσι τέσσερα ίδια κυκλώματα έλεγχου, όπου το καθένα αντιστοιχεί σε μία συνιστώσα χρώματος των LED μίας γραμμής. Δηλαδή, σε κάθε γραμμή που έχει οκτώ LED πρέπει να ελεγχθούν είκοσι τέσσερις συνιστώσες χρώματος. Από τα είκοσι τέσσερα κυκλώματα, τα οκτώ ελέγχουν την κόκκινη χρωματική συνιστώσα, οκτώ την πράσινη και οκτώ την μπλε. Το κάθε κύκλωμα, αποτελείται από οκτώ τρανζίστορ, που ελέγχουν την διέλευση του ρεύματος στα LED της γραμμής προκειμένου κάθε χρονική στιγμή να είναι μόνο ένα LED αναμμένο στην επιθυμητή απόχρωση για να γίνει η σάρωση. Στους συλλέκτες των τρανζίστορ συνδέονται σε σειρά αντιστάσεις περιορισμού ρεύματος όπου καθορίζουν την ένταση του ρεύματος σε κάθε χρωματική συνιστώσα του LED. Οι βάσεις των τρανζίστορ ελέγχονται από τον μικροελεγκτή μέσω δύο επιπέδων αποπολυπλεκτών.



Σχήμα 4.13: Σχηματικό μέρος του κυκλώματος που αφορά την οδήγηση των καθόδων ενός επιπέδου για μία χρωματική συνιστώσα.

Για να ελεγχθεί επαρκώς ο μεγάλος αριθμός κυκλωμάτων οδήγησης χρησιμοποιούνται δύο επίπεδα αποπολυπλεκτών στον έλεγχο των καθόδων των LED. Στα είκοσι τέσσερα κυκλώματα οδήγησης υπάρχουν είκοσι τέσσερις αποπολυπλέκτες που ελέγχουν οκτώ τρανζίστορ ο καθένας. Για να οδηγηθούν αυτοί οι αποπολυπλέκτες, χρησιμοποιήθηκαν σε δεύτερο επίπεδο ακόμα τρεις αποπολυπλέκτες οι οποίοι ελέγχουν ο καθένας από οκτώ από τους είκοσι τέσσερις του προηγούμενου επιπέδου. Κάθε ένας από αυτούς τους τρεις, είναι υπεύθυνος για μία χρωματική συνιστώσα. Τέλος, αυτοί οι τρεις αποπολυπλέκτες, ελέγχονται από το Arduino με τη χρήση μόνο τριών συνδέσεων που είναι κοινές και για τους τρεις. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι ότι, είναι αναγκαίο να βρίσκονται σε ενεργή κατάσταση και οι τρεις ταυτόχρονα για να είναι σε ένα LED κάθε φορά ενεργοποιημένες και οι τρεις συνιστώσες.



Σχήμα 4.14: Σχηματικό μέρος του κυκλώματος που απεικονίζει τον μικροελεγκτή και τον έλεγχο δύο επιπέδων αποπολυπλεκτών.

Το ρεύμα της οθόνης δεν είναι σταθερό και συγκεκριμένο καθώς επηρεάζεται από το σχήμα που απεικονίζεται. Όσον αφορά το ρεύμα που διαρρέει την τρισδιάστατη οθόνη, επειδή γίνεται σάρωση αυτό περιορίζεται κάθε χρονική στιγμή στο ρεύμα που διαρρέει ένα LED. Η μέγιστη τιμή του ρεύματος που μπορεί να υπάρχει κάθε χρονική στιγμή υπολογίζεται:

$$I_{max} = I_R + I_G + I_B \quad (1)$$

Όπου:

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{5V}{240\Omega} = 20mA \quad (2)$$

$$I_G = \frac{V}{R} = \frac{5V}{240\Omega} = 20mA \quad (3)$$

$$I_B = \frac{V}{R} = \frac{5V}{240\Omega} = 20mA \quad (4)$$

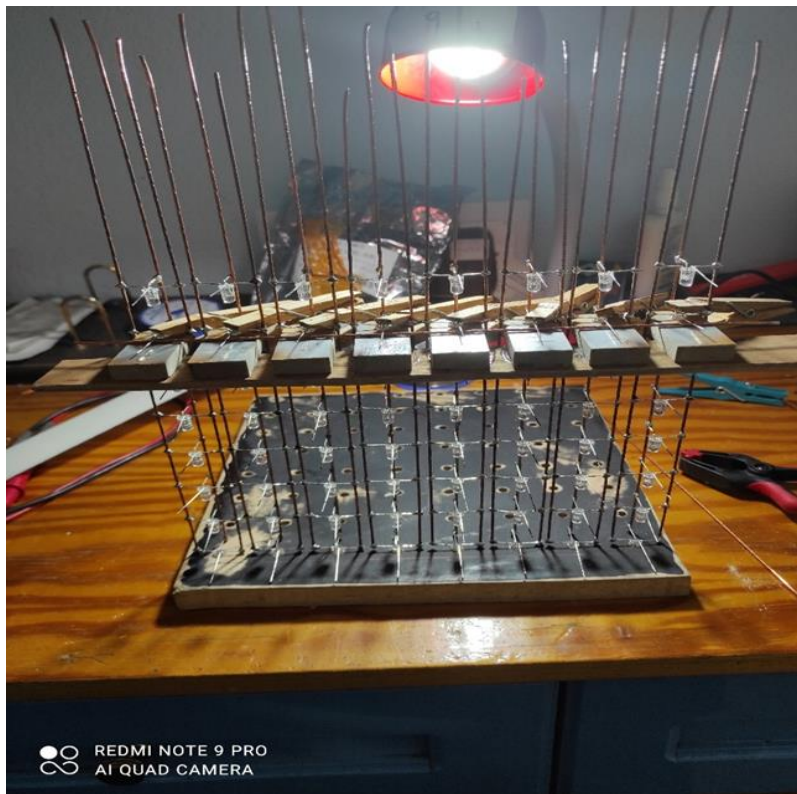
Άρα στην (1):

$$I_{max} = I_R + I_G + I_B = 60mA \quad (5)$$

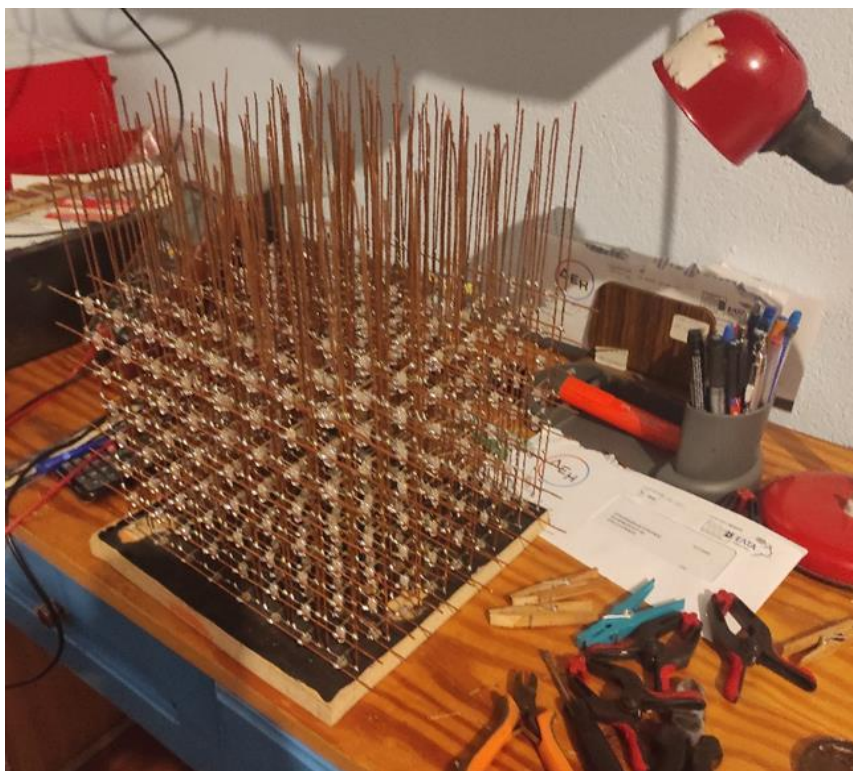
Άρα η μέγιστη τιμή του ρεύματος που μπορεί διαρρέει την οθόνη κάθε χρονική στιγμή είναι 60mA

4.4 Πορεία σχεδίασης και δοκιμών της τρισδιάστατης οθόνης και του κυκλώματος οδήγησης

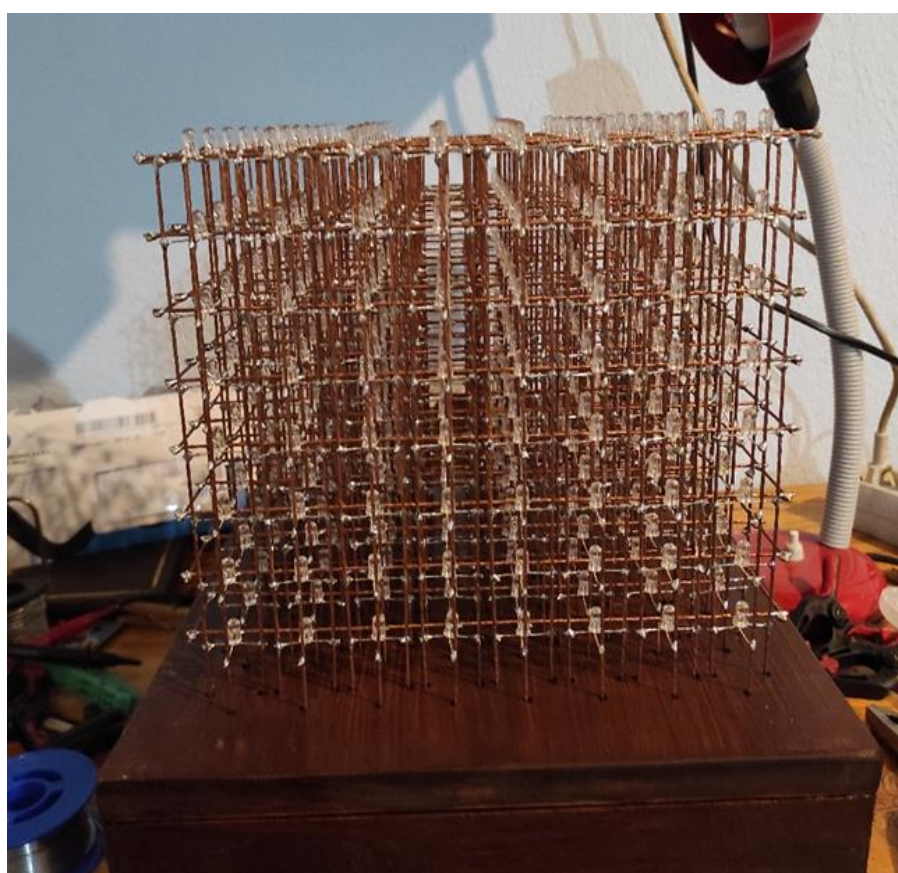
Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται στάδια κατασκευής της οθόνης και του κυκλώματος οδήγησης μέσα από φωτογραφικό υλικό. Η δοκιμή του κυκλώματος οδήγησης έγινε σε ράστερ και δημιουργήθηκαν προσωρινές συνδέσεις με χρήση βραχυκυκλωτήρων. Για την κατασκευή της τρισδιάστατης οθόνης χρειάστηκαν ξύλινα καλούπια και γάλκνιο καλώδιο.



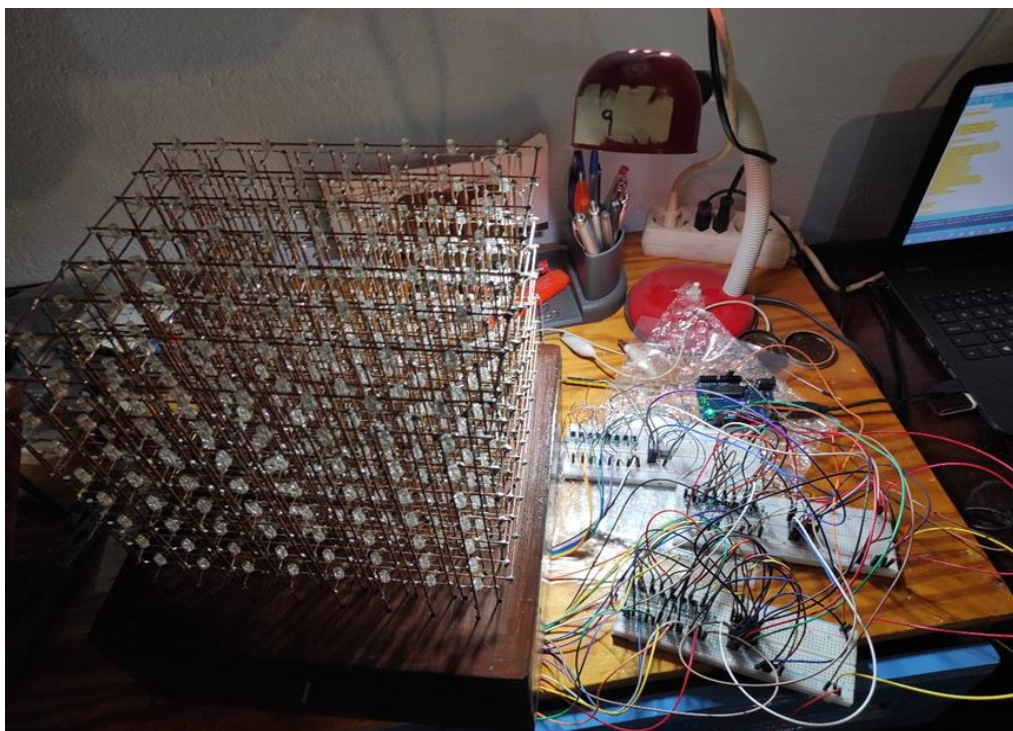
Σχήμα 4.15: Κατασκευή πρόσοψης της οθόνης



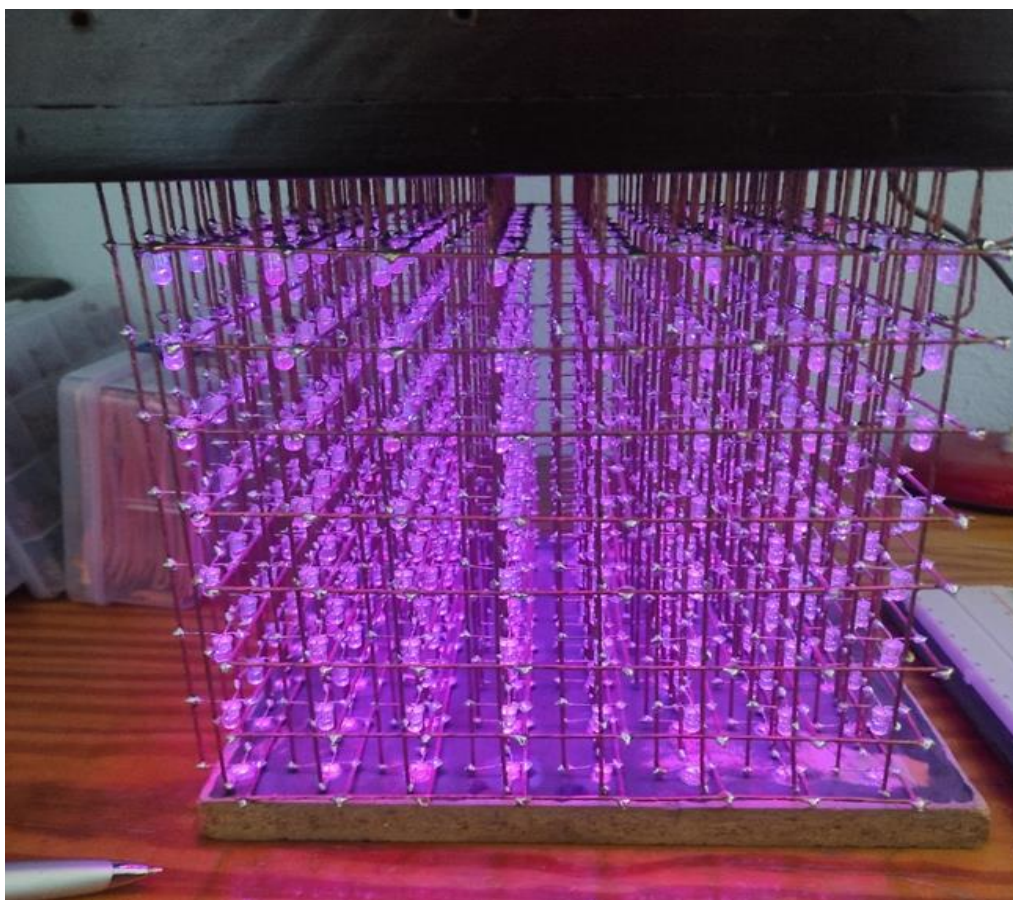
Σχήμα 4.16: Κατασκευή επιπέδων οθόνης



Σχήμα 4.17: Ολοκλήρωση συνδεσμολογίας οθόνης.



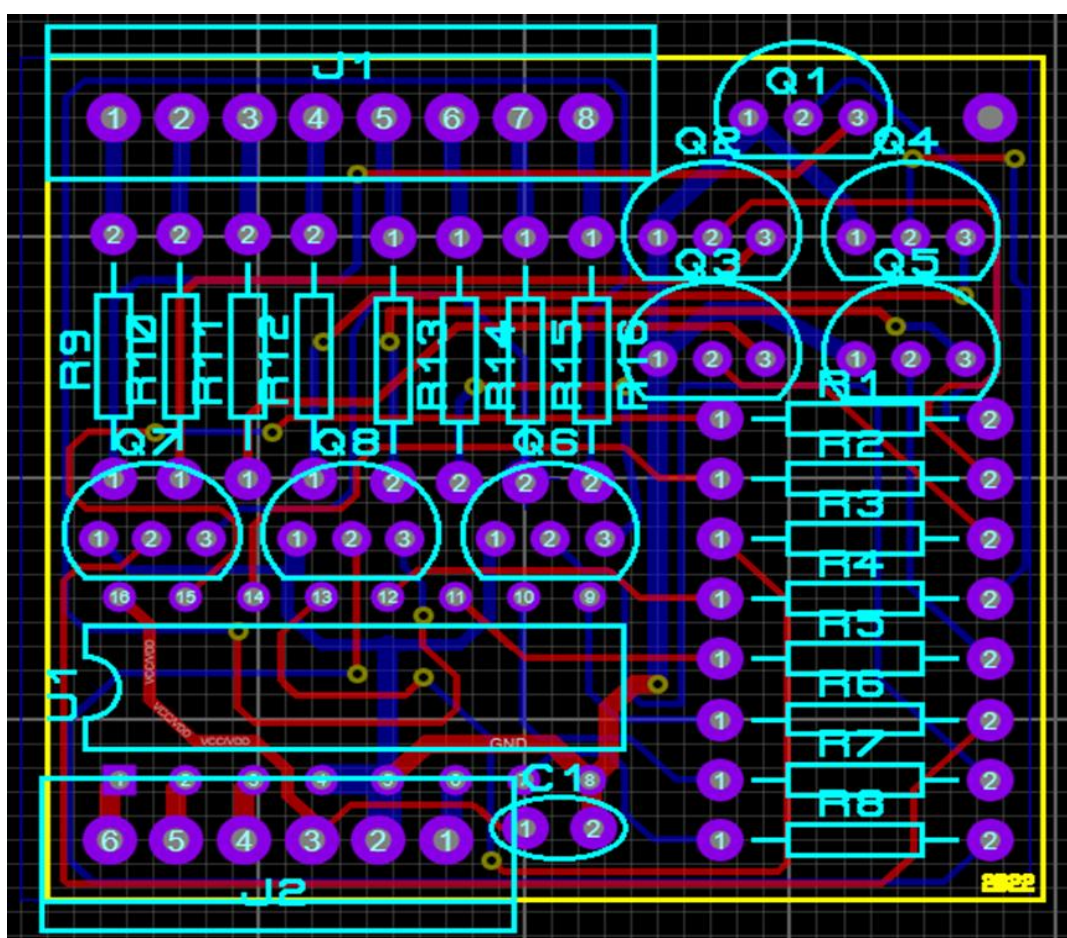
Σχήμα 4.18: Πειραματική κατασκευή και δοκιμές της λειτουργίας της οθόνης.



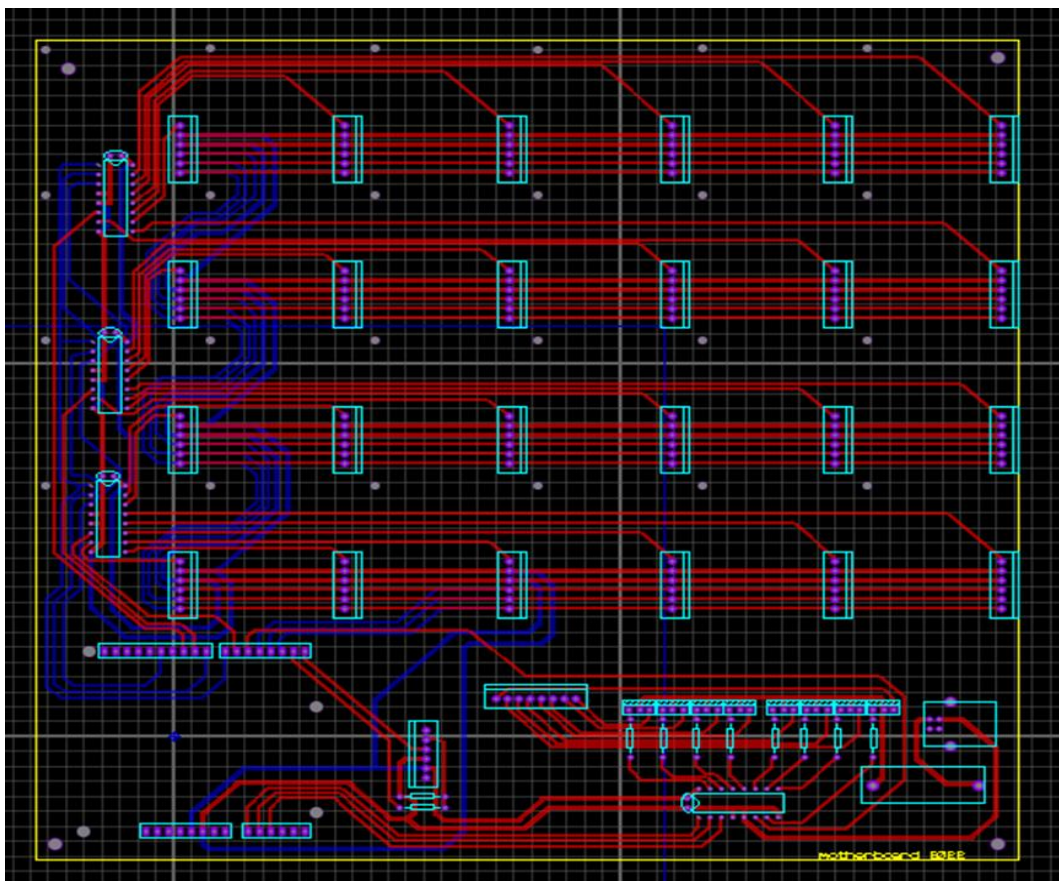
Σχήμα 4.19: Πειραματική δοκιμή σάρωσης και απεικόνισης της μωβ απόχρωσης.

4.5 Σχεδίαση και κατασκευή πλακετών και τελική μορφή της οθόνης

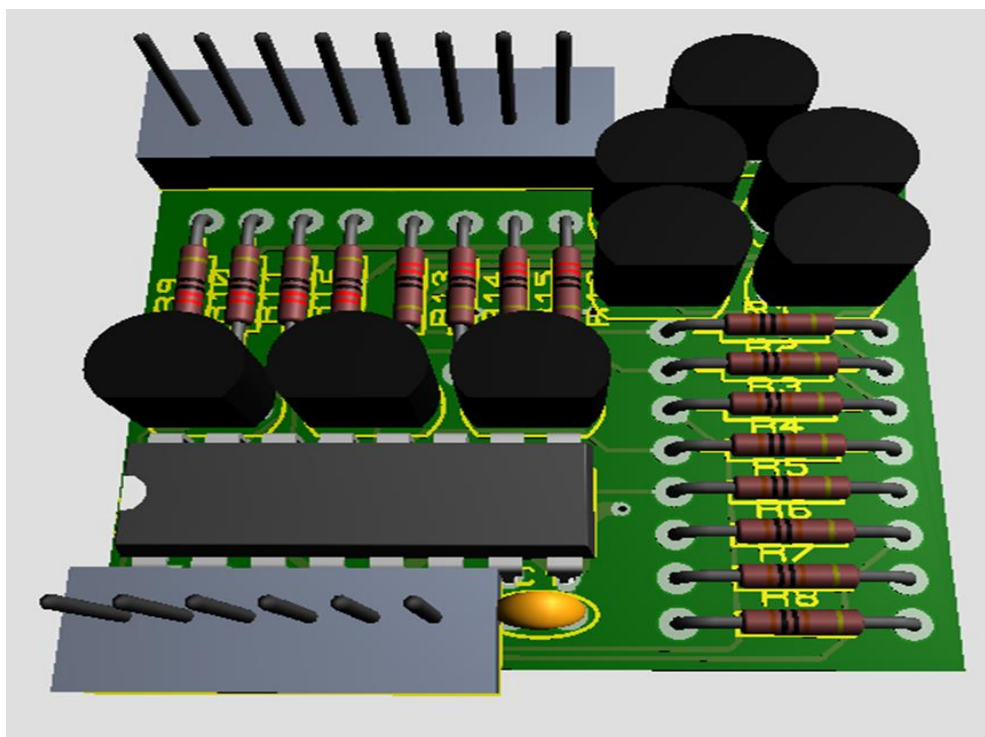
Για την ολοκλήρωση της κατασκευής, απαιτούνταν η δημιουργία του κυκλώματος οδήγησης σε μορφή πλακετών. Επίσης, κατασκευάστηκε η ξύλινη βάση της οθόνης όπου βρίσκονται μέσα οι πλακέτες και οι συνδέσεις και το περίβλημα από plexiglass για την προστασία της οθόνης. Για την σχεδίαση των πλακετών έγινε χρήση του προγράμματος Proteus, το οποίο δίνει τη δυνατότητα για σχεδίαση και προσομοίωση κυκλώματος και σχεδίαση πλακέτας. Επίσης με το συγκεκριμένο πρόγραμμα δίνεται η δυνατότητα της απεικόνισης της πλακέτας σε διάφορα στάδια και μορφές. Οι πλακέτες αρχικά σχεδιάστηκαν και έπειτα, τα σχέδια στάλθηκαν σε εργοστάσιο παραγωγής στο εξωτερικό όπου και απέκτησαν την τελική του φυσική μορφή. Μετά την παραλαβή πλακετών, τα υλικά τοποθετήθηκαν πάνω στη πλακέτα και κολλήθηκαν στο χέρι. Η λογική με τη οποία σχεδιάστηκαν οι πλακέτες, είναι αυτή της κεντρικής πλακέτας (motherboard) που περιλαμβάνει τα βασικά στοιχεία του συστήματος και η χρήση καρτών επέκτασης. Δηλαδή, υπάρχει μία motherboard σαν βασικός πυλώνας της κατασκευής και μικρότερες πλακέτες που εφαρμόζουν στην κεντρική και φιλοξενούν δευτερεύοντα στοιχεία. Η κεντρική μονάδα έχει είκοσι τέσσερις διαθέσιμες υποδοχές στις οποίες εφαρμόζονται οι είκοσι τέσσερις μικρές πλακέτες. Το πλεονέκτημα αυτής της λογικής σχεδίασης είναι ότι σε εφαρμογές που απαιτούνται λιγότερα δευτερεύοντα συστήματα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κεντρική μονάδα και ο απαραίτητος αριθμός αυτών των δευτερευόντων στοιχείων ανάλογα με την περίπτωση. Πρόσθετα, με αυτό το τρόπο σχεδίασης εξοικονομήθηκε χώρος στην κατασκευή. Οι διαστάσεις της κεντρικής πλακέτας είναι 22cm*22cm, ενώ οι διαστάσεις και είκοσι τεσσάρων πλακετών είναι 3.8cm*3.5cm.



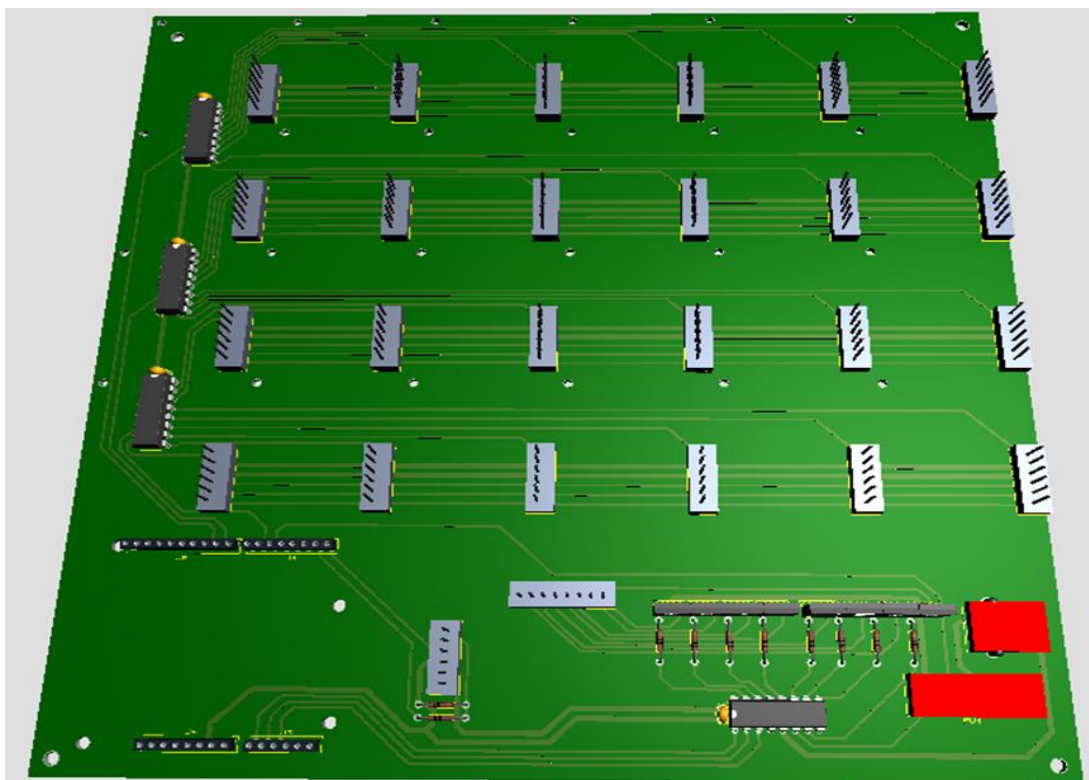
Σχήμα 4.20: Σχηματικό προς εκτύπωση της πλακέτας που αφορά την οδήγηση των καθόδων ενός επιπέδου για μία χρωματική συνιστώσα.



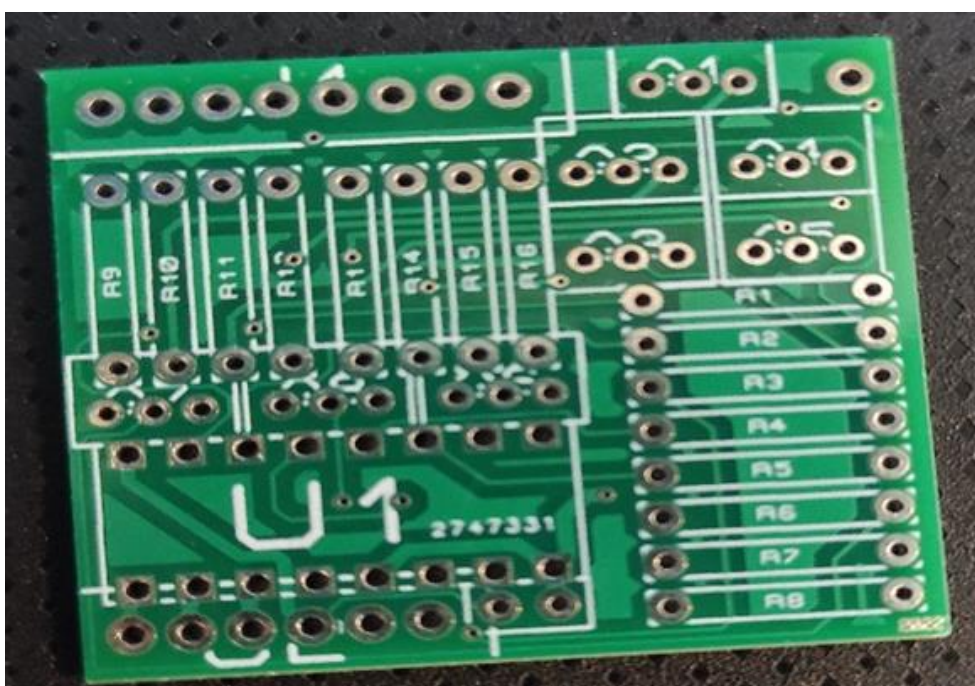
Σχήμα 4.21: Σχηματικό προς εκτύπωση της κεντρικής πλακέτας (motherboard).



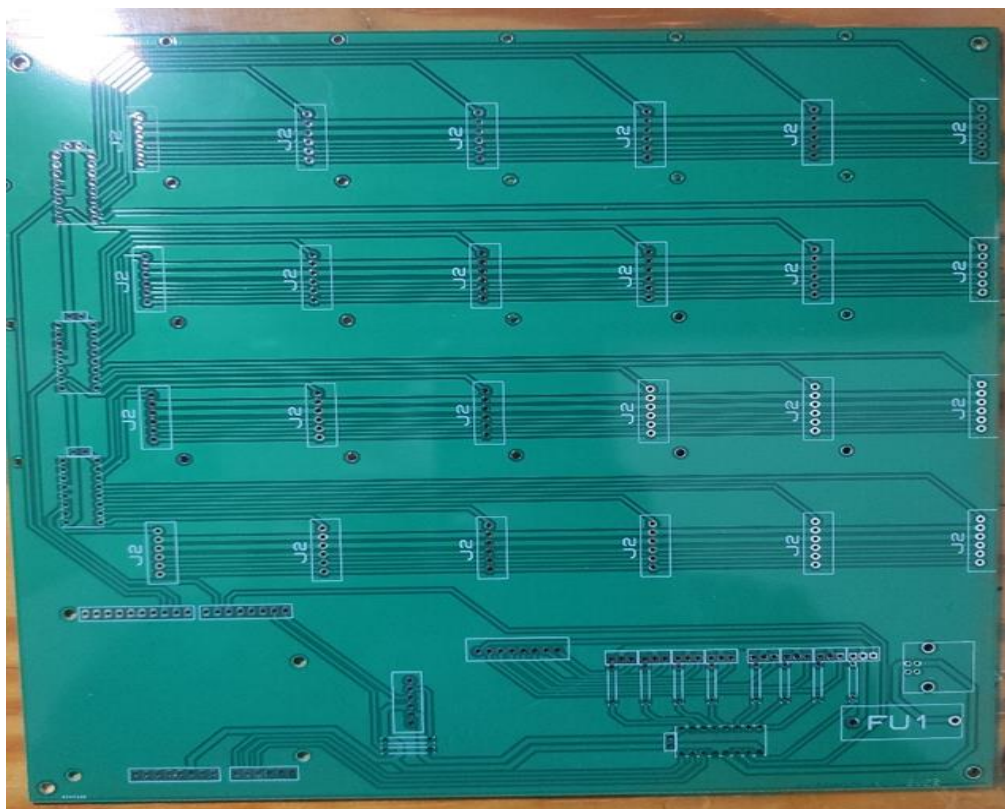
Σχήμα 4.22: Τρισδιάστατη απεικόνιση της πλακέτας που αφορά την οδήγηση των καθόδων ενός επιπέδου για μία χρωματική συνιστώσα.



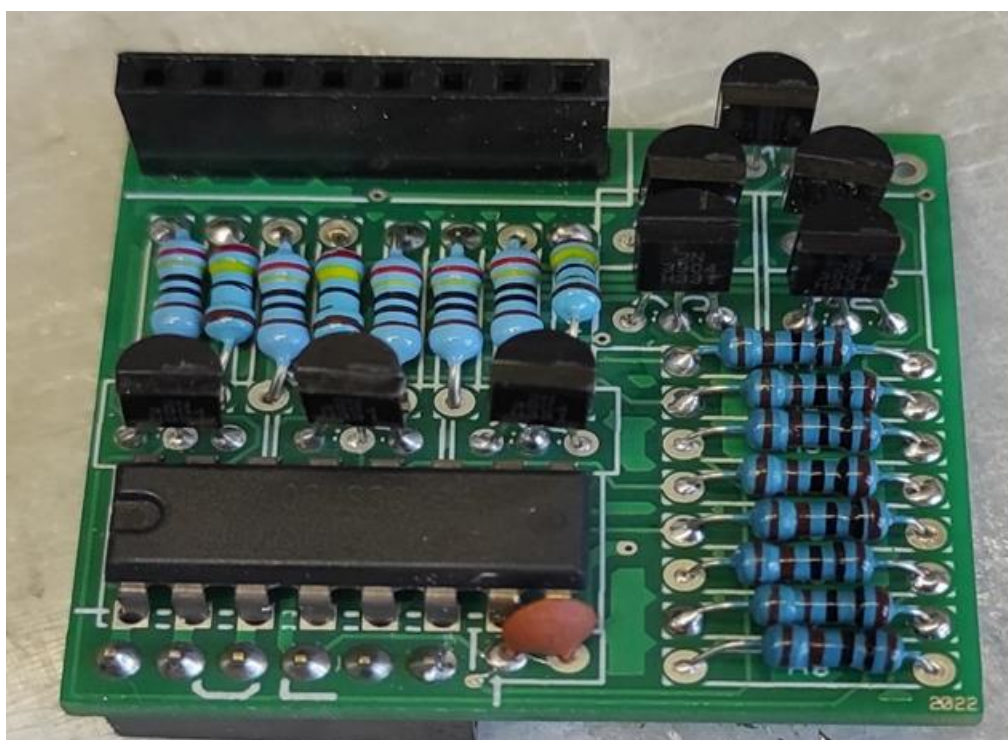
Σχήμα 4.23: Τρισδιάστατη απεικόνιση της κεντρικής πλακέτας (motherboard).



Σχήμα 4.24: Εκτυπωμένη πλακέτα που αφορά την οδήγηση των καθόδων χωρίς υλικά.



Σχήμα 4.25: Εκτυπωμένη κεντρική πλακέτα χωρίς υλικά.



Σχήμα 4.26: Εκτυπωμένη πλακέτα που αφορά την οδήγηση των καθόδων με υλικά.



Σχήμα 4.27: Εκτυπωμένη κεντρική πλακέτα με υλικά



Σχήμα 4.28: Ολοκληρωμένο κύκλωμα οδήγησης αποτελούμενο από την κεντρική πλακέτα και είκοσι τέσσερις πλακέτες οδήγησης καθόδων.

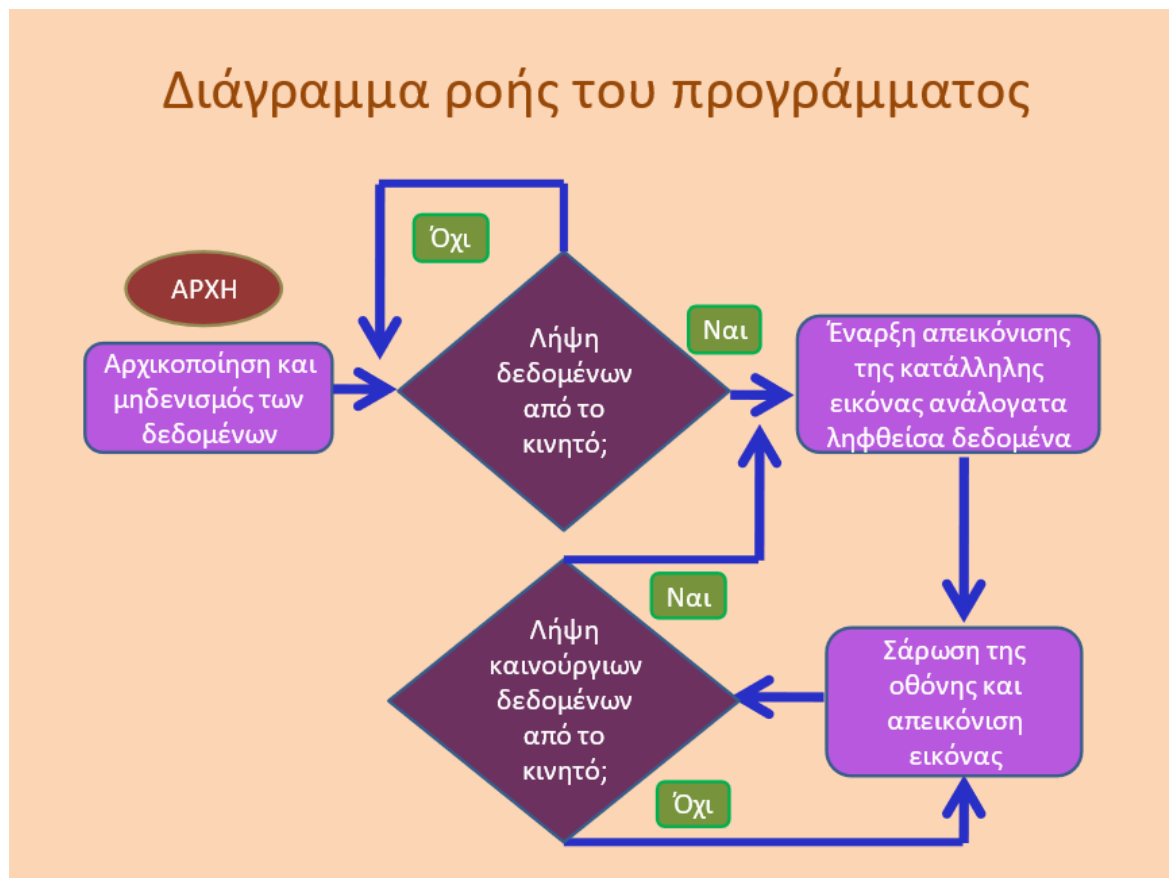
Κεφάλαιο 5ο: Κώδικας και πρωτόκολλο επικοινωνίας

5.1 Κώδικας

Ο κώδικας είναι ένα από τα πιο σημαντικά κομμάτια αυτής της εργασίας, είναι υπεύθυνος για την ορθή λειτουργία του συστήματος και για την απεικόνιση των κινούμενων και σταθερών ειδώλων στην τρισδιάστατη οθόνη. Ο κώδικας συντάχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού C στο περιβάλλον της πλατφόρμα Arduino IDE. Μετά την ολοκλήρωση του, περάστηκε και αποθηκεύτηκε στη μνήμη σου μικροελεγκτή μέσω συριακής επικοινωνίας.

5.1.1 Δομή του κώδικα

Για να γίνει η απεικόνιση δεδομένων στην οθόνη τριών διαστάσεων θα πρέπει ο μικροελεγκτής να πραγματοποιεί σάρωση της οθόνης. Η σάρωση αυτή γίνεται ενεργοποιώντας κατάλληλα τα τρανζίστορ στις ανόδους και στις καθόδους των LED, έτσι ώστε να ενεργοποιείται κάθε χρονική ένα και μόνο LED. Η σάρωση γίνεται από το πρώτο LED του πρώτου επιπέδου και τελειώνει στο τελευταίο LED του ογδόου επιπέδου. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, ενεργοποιούνται μόνο τα LED τα οποία χρειάζονται για την απεικόνιση του σχήματος που απαιτείται. Τα σχήματα προς απεικόνιση είναι αποθηκευμένα σε πίνακες δεδομένων στην μνήμη του μικροελεγκτή.



Σχήμα 5.1: Block Diagram της ροής του κώδικα.

Με την εκκίνηση του μικροελεγκτή, ο κώδικας ξεκινάει να «τρέχει» και το πρώτο βήμα κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του, είναι η αρχικοποίηση των δεδομένων του. Έπειτα, προχωράει στο κύριο πρόγραμμα όπου ο κώδικας αναμένει να λάβει δεδομένα μέσω της συριακής επικοινωνίας από τον χρήστη. Εάν δεν λάβει καμία εντολή από την συριακή επικοινωνία, τότε δεν απεικονίζεται κανένα σχήμα στην οθόνη. Σε αυτό το στάδιο ο κώδικας δεν κάνει τίποτα και αναμένει να λάβει δεδομένα. Εφόσον, ο χρήστης στείλει δεδομένα μέσω της συριακής επικοινωνίας, και μόνο εάν τα δεδομένα είναι σωστά, θα αρχίσει η προβολή του επιλεγμένου σχήματος. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα σχήματα προς απεικόνιση είναι αποθηκευμένα στη μνήμη του μικροελεγκτή και κάθε σχήμα αντιστοιχίζεται με έναν μοναδικό κωδικό ο οποίος είναι προκαθορισμένος από τον προγραμματιστή. Αφού ληφθούν τα σωστά δεδομένα, τότε ο κώδικας περνάει σε επόμενη φάση. Ο έλεγχος για αυτά τα δεδομένα πραγματοποιείται κατά την έναρξη της σάρωσης ενός σχήματος. Το επόμενο βήμα είναι η έναρξη της διαδικασίας της σάρωσης της τρισδιάστατης οθόνης.



Σχήμα 5.2: Block Diagram της διαδικασίας σάρωσης.

Πρώτα, ενεργοποιείται το κατάλληλο επίπεδο της οθόνης, έπειτα η κατάλληλη γραμμή και τελευταίο το RGB LED το οποίο πρόκειται να ενεργοποιηθεί. Αφού έχει γίνει η επιλογή του στοιχείου που θα σαρωθεί καλείται μία συνάρτηση η οποία διαλέγει από τους πίνακες δεδομένων, τα κατάλληλα δεδομένα προς απεικόνιση για το συγκεκριμένο σχήμα στο LED που πρόκειται να σαρωθεί. Στη συνέχεια, ενεργοποιείται το τρανζίστορ για το ρεύμα της ανόδου του συγκεκριμένου επιπέδου που σαρώνεται και αρχίζει να φωτίζει το LED. Ο χρόνος που παραμένει ενεργοποιημένο το LED είναι συγκεκριμένος και δίνεται στα 30μs. Αυτό είναι το χρονικό περιθώριο κατά το οποίο κάθε LED παραμένει αναμμένο.

Η συνολική διάρκεια μίας σάρωσης είναι:

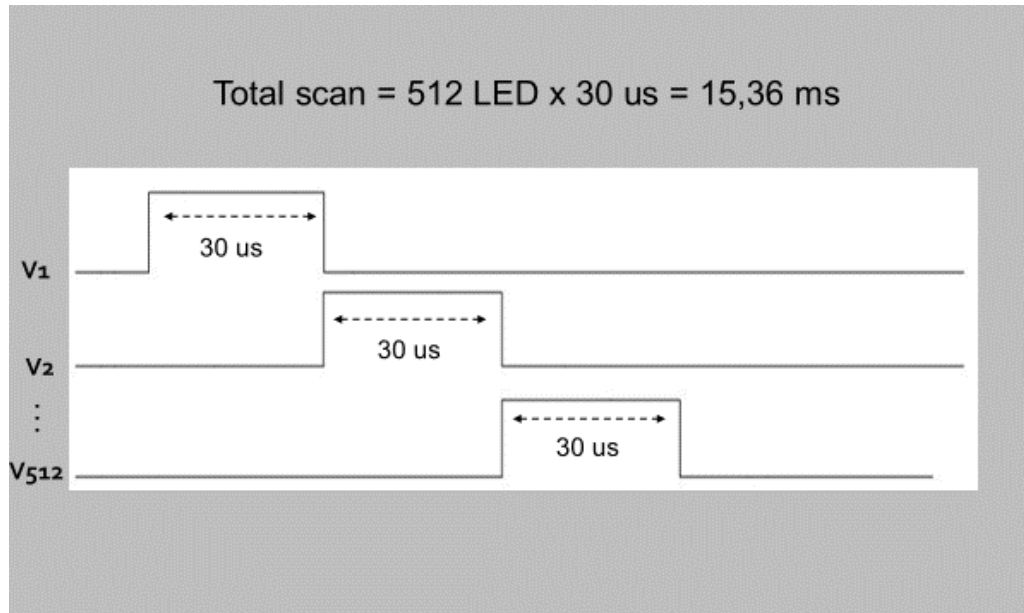
$$T_{scan} = T_{on} \times \text{Αριθμος}_{LED}(1)$$

$$T_{scan} = 30\mu s \times 512 = 15.36ms(2)$$

Ο χρόνος που υπολογίστηκε στην εξίσωση (2) δεν είναι ακριβής, καθώς δεν λαμβάνει υπόψιν τον χρόνο εκτέλεσης των εντολών του κώδικα.

Ο ρυθμός ανανέωσης της οθόνης με βάση τον χρόνο σάρωσης είναι:

$$F = \frac{1}{15,36ms} \approx 65Hz(3)$$



Σχήμα 5.3: Χρονοδιάγραμμα της σάρωσης των στοιχείων της οθόνης.

Η χρωματική απόχρωση του LED καθορίζεται από τα δεδομένα που διαβάστηκαν και αντιστοιχούν σε επιλογή διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM) για το συγκεκριμένο οπτοηλεκτρονικό στοιχείο και για τις τρεις του χρωματικές συνιστώσες. Δηλαδή, στο χρονικό περιθώριο των 30μs που αντιστοιχούν σε κάθε LED κατά τη σάρωση, δεν διαρρέεται σταθερή ένταση ρεύματος αλλά μια παλμοσειρά με διαμορφωμένο εύρος παλμών για κάθε χρωματική συνιστώσα, έτσι ώστε να αναπαρασταθεί το ζητούμενο χρωματικό αποτέλεσμα. Αφού, γίνει η σάρωση του πρώτου LED, ο κώδικας συνεχίζει τη σάρωση για όλα τα LED του display, επιλέγοντας τα απαραίτητα δεδομένα από τους πίνακες δεδομένων. Όταν, ολοκληρωθεί όλη η διαδικασία της σάρωσης, ο κώδικας ξεκινάει ξανά από την αρχή αφού πρώτα γίνει έλεγχος για νέα δεδομένα από τον χρήστη μέσω της συριακής επικοινωνίας. Αν δεν λάβει νέα δεδομένα, συνεχίζεται η σάρωση του ίδιου σχήματος μέχρι να δοθεί διαφορετική εντολή από τον χρήστη. Ο μόνος τρόπος να σταματήσει πλήρως η απεικόνιση είναι μέσω συγκεκριμένης εντολής, είτε αν γίνει επανεκκίνηση του συστήματος είτε εάν γίνει διακοπή της τροφοδοσίας

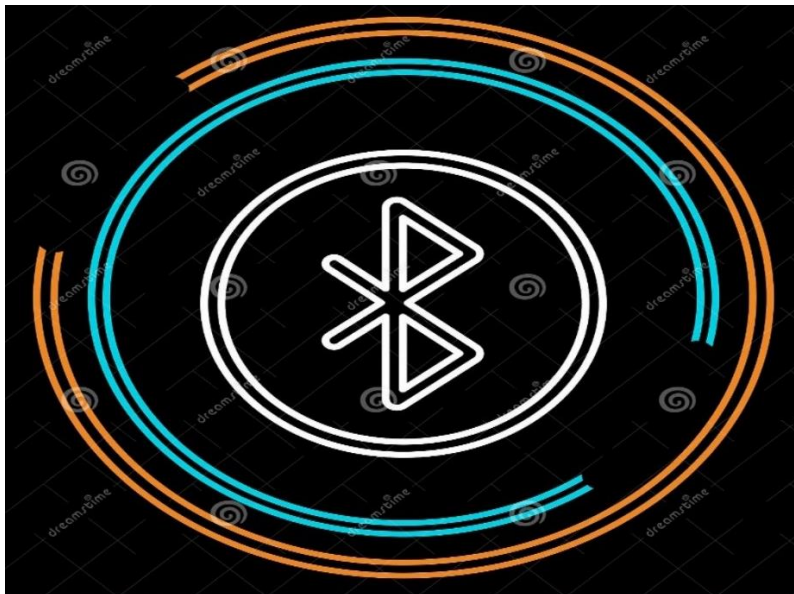
5.2 Σειριακή επικοινωνία

Ο όρος συριακή επικοινωνία αναφέρεται στην ψηφιακή αποστολή δεδομένων bit μεταξύ δύο ή και περισσότερων συσκευών με συριακό τρόπο. Σε αυτή τη μορφή επικοινωνίας μπορούμε να έχουμε ένα ή και περισσότερα κανάλια δεδομένων από τα οποία οι πληροφορίες μεταφέρονται από τι μία συσκευή στη άλλη. Συριακή αποστολή δεδομένων λέγεται η μεταφορά πολλών bit δεδομένων από ένα κανάλι μεταφοράς, τα οποία δεδομένα χωρίζονται και αποστέλλονται με χρονική διαδοχική σειρά. Η συριακή επικοινωνία έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να μεταφέρει μεγάλο όγκο δεδομένων μόνο από ένα κανάλι μεταφοράς. Έτσι, περιορίζονται οι φυσικές ενώσεις ανάμεσα στα συστήματα. Ένα σημαντικό μειονέκτημα όμως είναι, ότι χωρίζει τις πληροφορίες στον χρόνο και η μεταφορά τους καθίσταται πιο

αργή σε σχέση με τη μεταφορά αρχείων με συμβατικό τρόπο. Η συγκεκριμένη επικοινωνία μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, ενσύρματα και ασύρματα και για τη αξιοπιστία της επικοινωνίας χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Τέτοια ενσύρματα πρωτόκολλα επικοινωνίας είναι το ETHERNET, το CAN, το I2C, το SPI, το RS232, το USB, το SATA κλπ. Επίσης, ο ασύρματος συριακός τρόπος επικοινωνίας χρησιμοποιεί τα πρωτόκολλα WIFI, BLUETOOTH, WLAN και το ZIGBEE. Στην εργασία χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο τρόποι της συριακής επικοινωνίας (ενσύρματα και ασύρματα) του μικροελεγκτή με τον χρήστη. Στην περίπτωση της ενσύρματης επικοινωνίας αυτή διεκπεραιώθηκε μέσω καλωδίου USB από το Arduino Uno στον υπολογιστή. Για την ασύρματη επικοινωνία έγινε χρήση του Bluetooth Module HC-05 το οποίο κατείχε τον ρόλο του διαμεσολαβητή ανάμεσα στο κινητό τηλέφωνο του χρήστη και τον μικροελεγκτή. Η εφαρμογή που χρησιμοποιήθηκε από το κινητό για την ασύρματη επικοινωνία είναι η Serial Bluetooth Terminal. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιήθηκε είναι το BLUETOOTH

5.2.1 Πρωτόκολλο

Το Bluetooth είναι βιομηχανικό πρότυπο για τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα περιοχής (WPAN). Είναι μια ασύρματη τεχνολογία τηλεπικοινωνιών μικρής εμβέλειας που μεταδίδει σήματα σε ψηφιακές συσκευές μέσω μικροκυμάτων. Πληθώρα ηλεκτρονικών συσκευών όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα, ψηφιακές θόνες και κάμερες κάνουν χρήση αυτού του πρωτοκόλλου. Λειτουργεί στα 2.4GHz στην επιστημονική, ιατρική ραδιοφωνική ζώνη ISM και χρησιμοποιεί τεχνολογία αναπήδησης συχνότητας GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying), καθώς πολλές άλλες συσκευές χρησιμοποιούν αυτήν τη συχνότητα, η τεχνολογία αναπήδησης συχνότητας διασφαλίζει την αποφυγή παρεμβολών από άλλες συσκευές.



Σχήμα 5.4: Παραλλαγή του λογότυπο του Bluetooth. Πηγή: www.dreamstime.com

Η μετάδοση των δεδομένων με χρήση BLUETOOTH παραμένει στο ίδιο κανάλι για μικρό χρονικό διάστημα, ενώ αν υπάρξει κάποια ανεπιθύμητη παρεμβολή, τα δεδομένα θα σταλούν ξανά σε διαφορετικό κανάλι από το αρχικό που δεν θα υπάρχουν παρεμβολές. Το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί ρυθμό αναπήδησης χιλίων εξακοσίων αναπήδησεων συχνότητας ανά δευτερόλεπτο και γίνεται χρήση όλων των διαθέσιμων ζωνών συχνοτήτων. Το εύρος ζώνης συχνοτήτων του ISM είναι τα 2.4GHz. Τα

κανάλια του Bluetooth είναι διασκορπισμένα με απόσταση 1MHz μεταξύ τους ξεκινώντας από τα 2402MHz μέχρι τα 2480MHz. Έτσι δίνονται και δύο ζώνες προστασίας μία των 2MHz στην αρχή και 3.5MHz στο τέλος της ζώνης του ISM. Επίσης η απόκλιση της συχνότητας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $\pm 75\text{KHz}$ από την συχνότητα εκπομπής. Η διαμόρφωση του Bluetooth ήταν αρχικά GFSK και αργότερα χρησιμοποιήθηκε για μεγαλύτερη μετάδοση δεδομένων διαμόρφωση PSK (Phase key Shifting). Το Bluetooth χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την ισχύ εκπομπής του και κατά συνέπεια την ακτίνα κάλυψης σε μέτρα. Η πρώτη κλάση έχει ισχύ εκπομπής 20dBm με ζώνη κάλυψης έως εκατό μέτρα. Η δεύτερη κλάση έχει ισχύ εκπομπής 6dBm και ζώνη κάλυψης δέκα μέτρα ενώ η τρίτη κλάση έχει ισχύ εκπομπής 0dBm και χρησιμοποιείται για πολύ κοντινές αποστάσεις έως δέκα εκατοστά. Η ζώνη συχνότητας που χρησιμοποιείται από το Bluetooth Module είναι η μεσαία ζώνη με ισχύ εκπομπής 6dBm και ζώνη κάλυψης έως δέκα μέτρα.

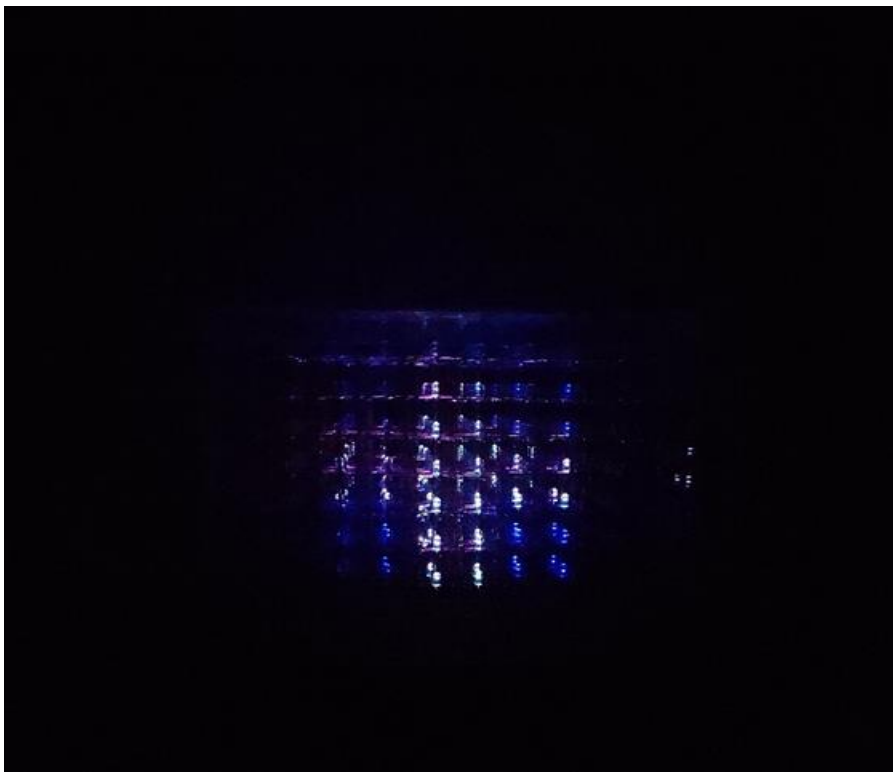
Κεφάλαιο 6ο: Ολοκλήρωση της εργασίας

6.1 Αποτελέσματα

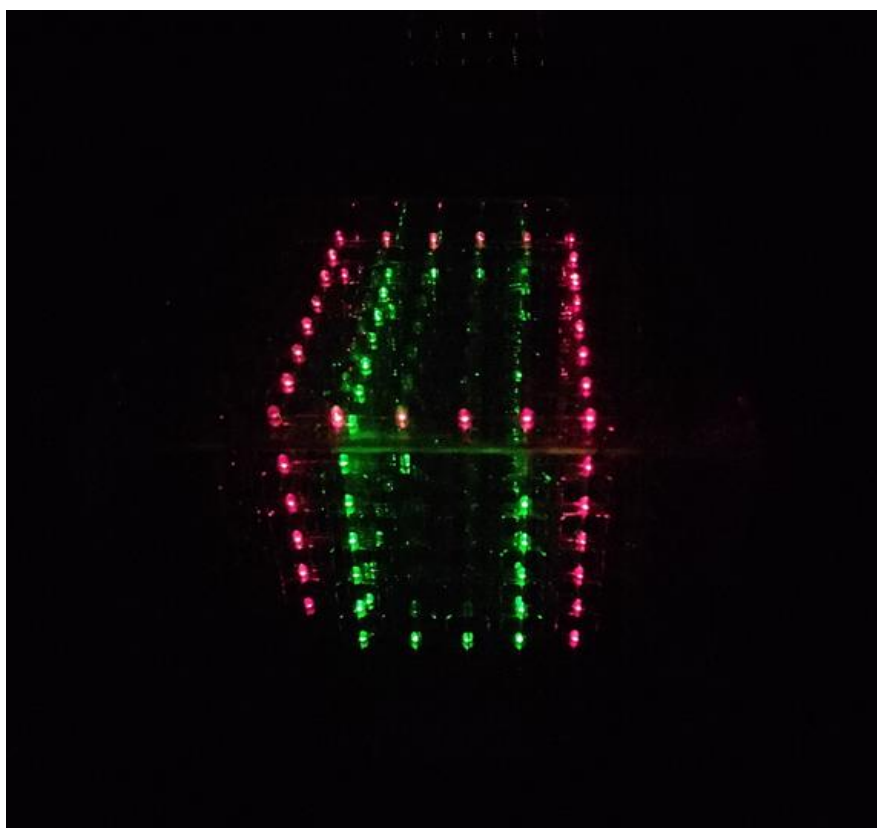
Με την ολοκλήρωση της εργασίας το αποτέλεσμα που επιτεύχθηκε είναι ένα προγραμματιζόμενο σύστημα το οποίο είναι πλήρως ελεγχόμενο από τον χρήστη. Κατασκευάστηκε μία οθόνη ανάλυσης 512 έγχρωμων Voxels(8*8*8). Η τρισδιάστατη οθόνη βρίσκεται πάνω σε ξύλινη βάση στην οποία εσωτερικά είναι τοποθετημένο το κύκλωμα οδήγησης. Επίσης, η οθόνη περιβάλλεται από προστατευτικό κάλυμμα τύπου plexiglass για να είναι ορατή.



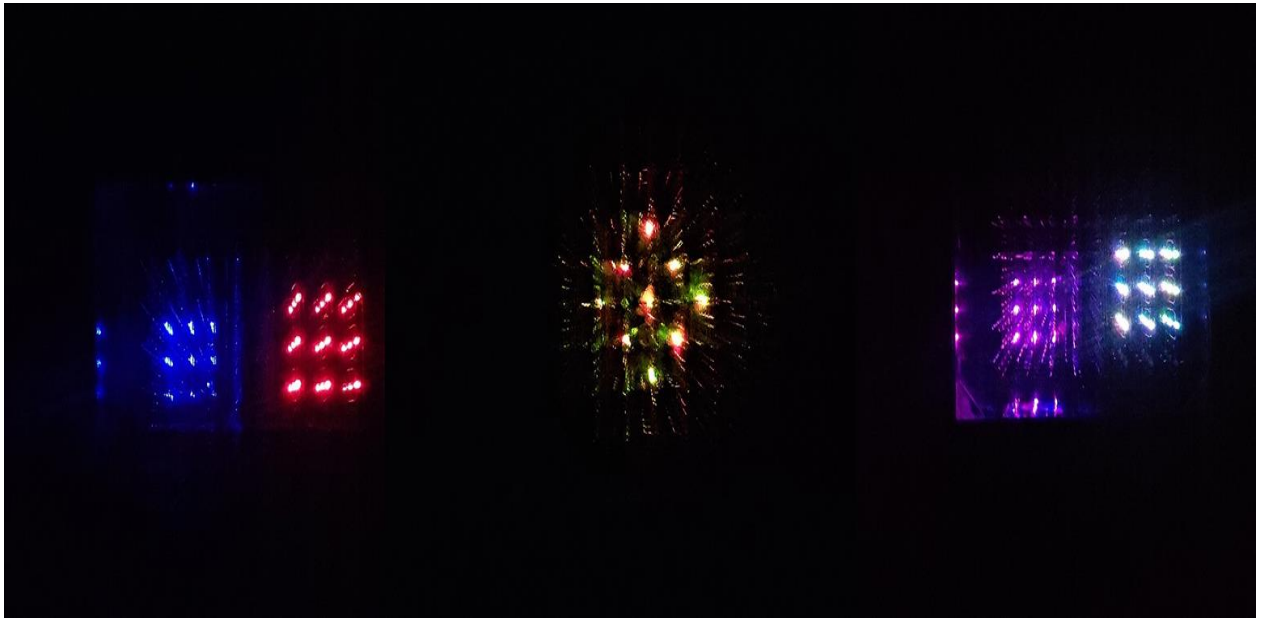
Σχήμα 6.1: Τελική μορφή του τρισδιάστατου display.



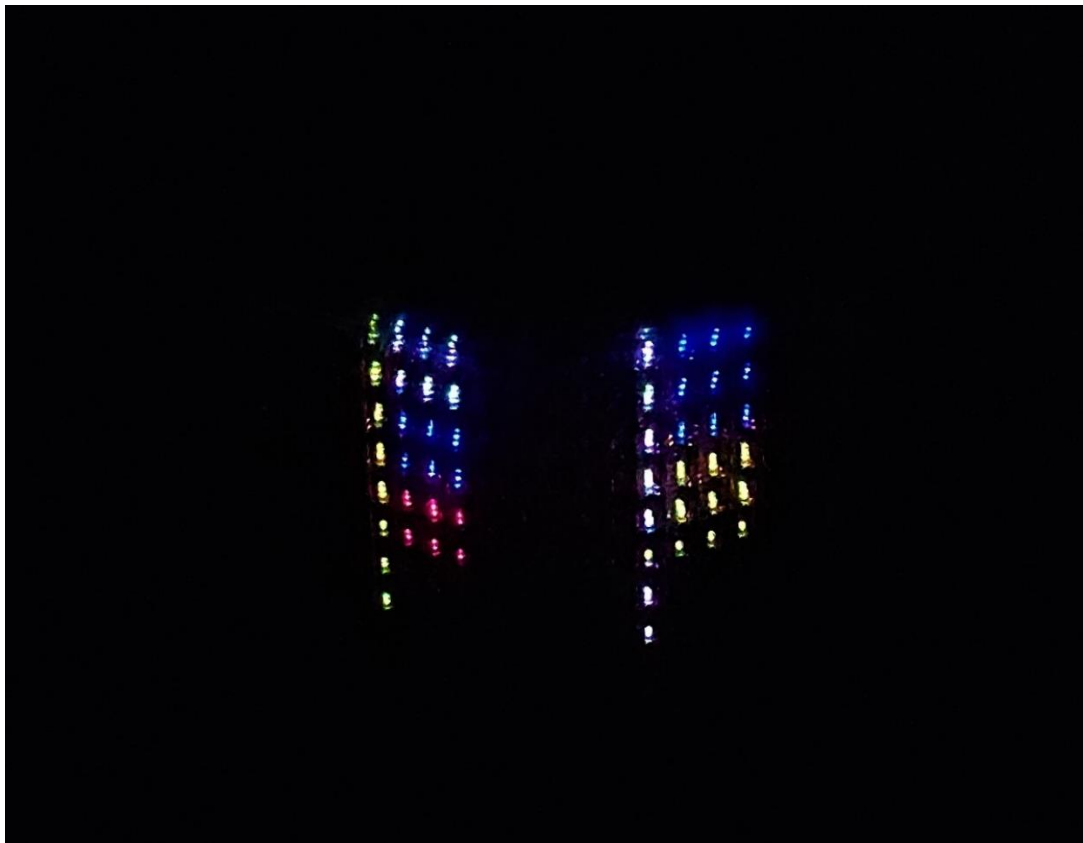
Σχήμα 6.2: Κινούμενη(κυματιστή) τρισδιάστατη αναπαράσταση της ελληνικής σημαίας με το σταυρό στο κέντρο(1822-1969).



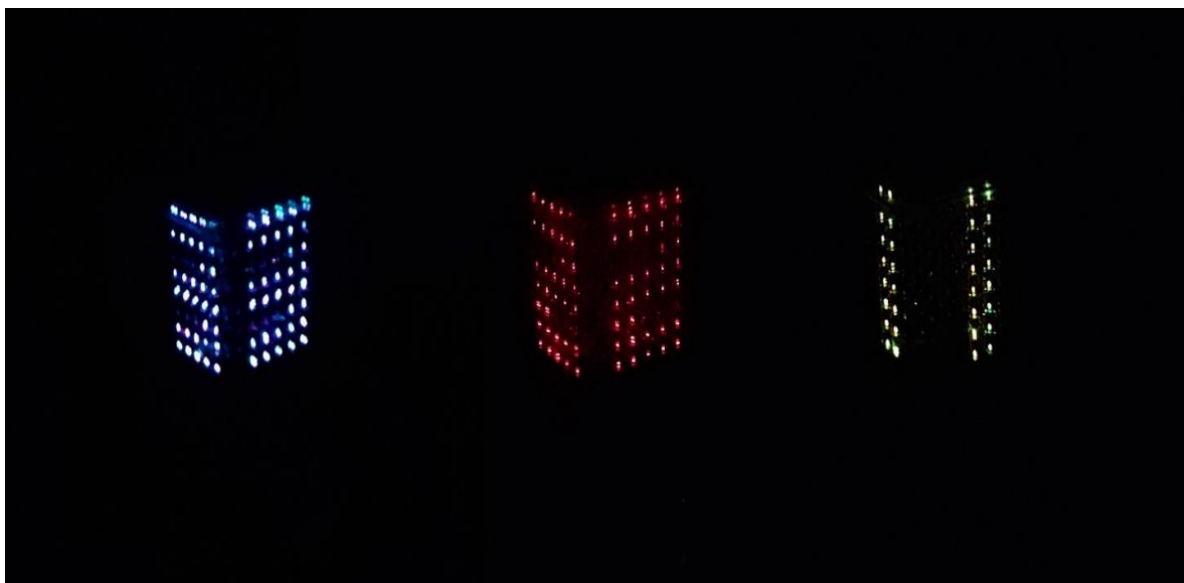
Σχήμα 6.3: Τρισδιάστατος έγχρωμος κύβος που μεγαλώνει και μικραίνει κατά τη διάρκεια μίας αλλαγής κατάστασης.



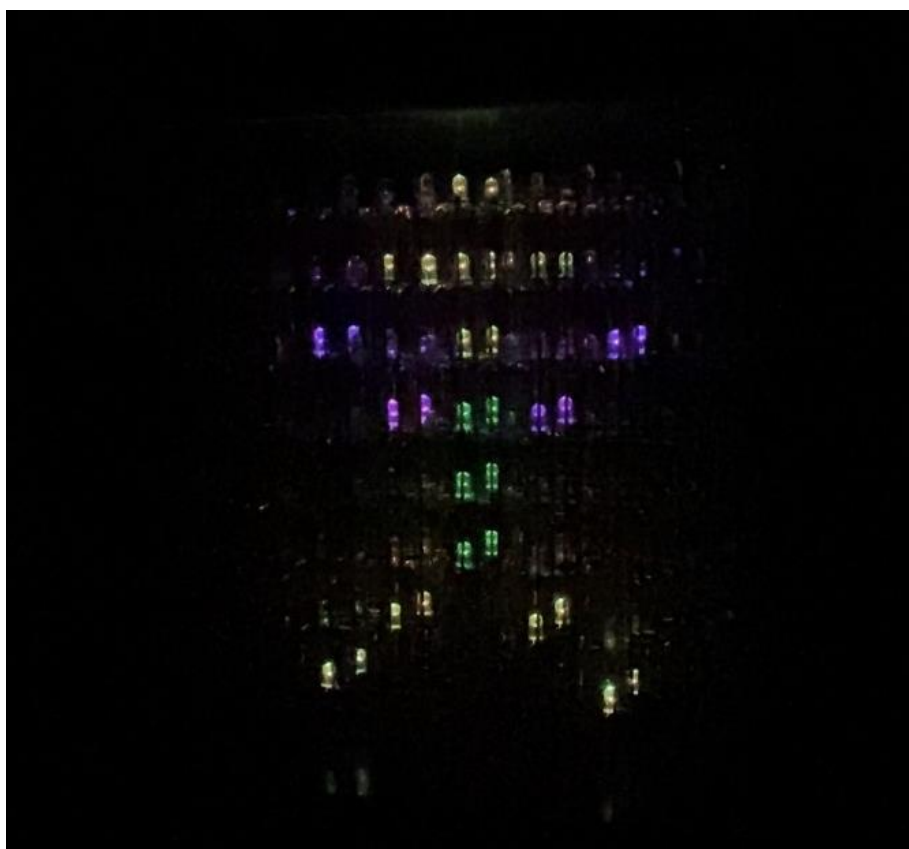
Σχήμα 6.4: Κύβος τριών διαστάσεων που κινείται μέσα στο τρισδιάστατο display και σε κάθε διαφορετική θέση μέσα στο χώρο αλλάζει και ο χρωματισμός του(μπλε, κόκκινο, άσπρο, μωβ, κίτρινο, κλπ.).



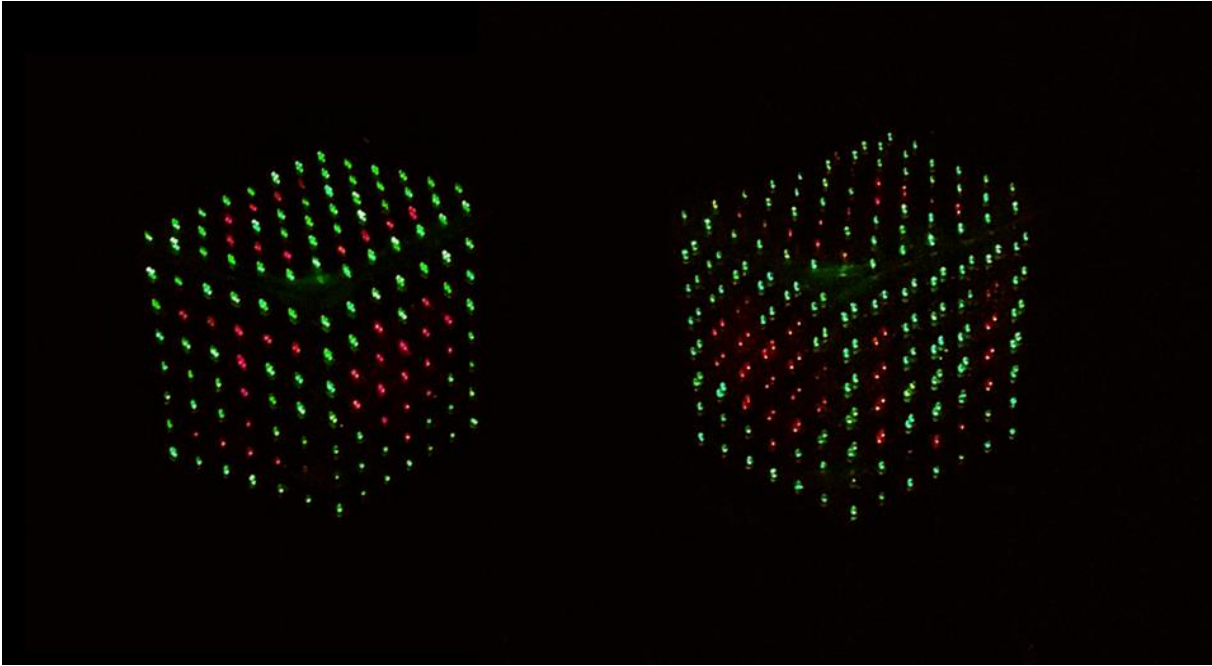
Σχήμα 6.5: Κινητές σημαίες της Ουκρανίας και της Ρωσίας.



Σχήμα 6.6: Τρισδιάστατη αναπαράσταση των αριθμών 3, 2, 1 που προβάλλονται σαν αντίστροφη μέτρηση.



Σχήμα 6.7: Τρισδιάστατη απεικόνιση έγχρωμου ανθρωπόμορφου ειδώλου.



Σχήμα 6.8: Τρισδιάστατο κινούμενο display με δύο αποχρώσεις που αναγράφει τη φράση «I LOVE YOU» με τρία σύμβολα που μετακινούνται στον χώρο.

6.2 Συμπεράσματα

Η τρισδιάστατη ψηφιακή απεικόνιση είναι μία τεχνολογία του μέλλοντος που μπορεί να προσφέρει εντυπωσιακά οπτικά αποτελέσματα. Προσφέρει καλύτερη κατανόηση του βάθους μίας εικόνας και δίνει την αίσθηση ότι μία εικόνα αναπαρίσταται στο χώρο στον οποίο βρίσκεται ο παρατηρητής. Επίσης η τρισδιάστατη απεικόνιση προσδίδει πολύ μεγαλύτερη πληροφορία της εικόνας στον θεατή καθώς η ανθρώπινη όραση είναι τρισδιάστατη και μπορεί να δώσει ακριβέστερες πληροφορίες για το χρώμα και τις διαστάσεις του εικονιζόμενου ειδώλου. Για τον λόγο αυτό, έχει νόημα η τρισδιάστατη ψηφιακή απεικόνιση στη καθημερινότητα των ανθρώπων. Οι σημερινές μορφές τρισδιάστατης απεικόνισης είναι σε πολύ πρώιμο στάδιο και απαιτούνται αρκετά χρόνια ανάπτυξης και μελέτης για να μπορέσει να φτάσει σε πλήρως ικανοποιητικό επίπεδο και να είναι σε θέση να αντικαταστήσει ολοκληρωτικά τις οθόνες δύο διαστάσεων. Οι προκλήσεις που υπάρχουν σήμερα στην τρισδιάστατη απεικόνιση, αφορούν κυρίως στον όγκο μίας τέτοια κατασκευής και στην ταχύτητα ενός τεράστιου αριθμού ψηφιακών δεδομένων. Παρόλα αυτά, ακόμα και στην πιο απλή μορφή της όπως υλοποιήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία, τα οπτικά αποτελέσματα είναι πολύ ενδιαφέροντα. Συνοψίζοντας, αν και υπάρχουν ακόμα πληθώρα τεχνολογικών προκλήσεων, όταν η τεχνολογία αυτή φτάσει σε ένα αρκετά υψηλό επίπεδο, θα αλλάξει τον τρόπο με το οποίο γίνεται αντιληπτή η απεικόνιση.

Η συγκεκριμένη εργασία, από πρακτικής απόψεως παρουσιάζει το εξής ελάττωμα: η ανάλυση των ειδώλων, ώστε να φαίνονται καλύτερα οι λεπτομέρειες, γνωστή και ως resolution, είναι αρκετά μικρή. Αυτό δεν οφείλεται στην φιλοσοφία της λειτουργίας του συστήματος, αλλά κατά βάση στα υλικά. Δηλαδή, περισσότερα Leds και σε μικρότερη απόσταση μεταξύ τους, καθώς και ταχύτεροι επεξεργαστές θα έδιδαν καλύτερες εικόνες ειδώλων, με περισσότερες λεπτομέρειες.

6.3 Μελλοντικές βελτιώσεις

Η παρούσα εργασία επιδέχεται πολλές μελλοντικές βελτιώσεις. Αρχικά, θα μπορούσε να γίνει αύξηση της ανάλυσης της οθόνης αυξάνοντας των αριθμό των τρισδιάστατων στοιχείων Voxel. Ακόμα, υπάρχει δυνατότητα σμίκρυνσης της οθόνης κάνοντας χρήση στοιχείων μικρότερου όγκου αλλά εξίσου καλής απόδοσης φωτός και επίσης μπορούν να γίνουν συνδέσεις με υλικά μη ορατά με γυμνό μάτι, έτσι ώστε

να υπάρχει πιο καθαρή οπτικής της τρισδιάστατης οθόνης. Ακόμα μία προσθήκη μπορεί να είναι η εγκατάσταση μικροφώνου και ηχείου και μετατροπή της χρήσης της οθόνης σε φωτορυθμικό ή ρολόι σε συνδυασμό με ξυπνητήρι. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε η χρήση τηλεχειριστηρίου και η ανάπτυξη διαδραστικού παιχνιδιού στην οθόνη. Με αυτές τις προσθήκες θα δοθεί μία ολοκληρωμένη οπτικοακουστική τρισδιάστατη εμπειρία. Πολλές βελτιώσεις μπορεί να επιδεχθεί και το κύκλωμα οδήγησης. Θα μπορούσε να αυξηθεί η ταχύτητα της σάρωσης του μικροελεγκτή ώστε να υπάρχει καλύτερη και πιο σταθερή απεικόνιση. Με αυτόν τον τρόπο θα δοθεί και η δυνατότητα στο κύκλωμα οδήγησης να στηρίζει μεγαλύτερες σε ανάλυση οθόνες. Επίσης, είναι δυνατόν να αυξηθεί η μνήμη του κυκλώματος οδήγησης προκειμένου να μπορεί να αποθηκεύει στη μνήμη του μεγαλύτερο όγκο δεδομένων. Μία πολύ σημαντική προσθήκη θα ήταν η δημιουργία ενός διαδραστικού interface στον υπολογιστή και να μπορεί να γίνει εύκολος προγραμματισμός τρισδιάστατων κινούμενων ειδώλων. Με τη χρήση αυτής της διαδραστικής τεχνολογίας θα γινόταν πολύ πιο εύκολη η δημιουργία ειδώλων και μετέπειτα η αποθήκευσή τους. Επιπροσθέτως, θα ήταν πολύ καλή αναβάθμιση η βελτίωση του πρωτοκόλλου επικοινωνίας, από BLUETOOTH σε WIFI. Το WIFI θα προσδώσει στο σύστημα καλύτερη εμβέλεια και παρέχει τη δυνατότητα χειρισμού της συσκευής ακόμα και όταν ο χρήστης βρίσκεται σε εντελώς διαφορετικό περιβάλλον. Τέλος, ο ρόλος της οθόνης θα μπορεί να αναβαθμιστεί από μία απλή συσκευή διακόσμησης σε επαγγελματικό εργαλείο παρουσιάσεων, όπως για παράδειγμα η προβολή τρισδιάστατων μακετών κτηρίων ακόμα και ολόκληρων πόλεων και η πλοήγηση μέσα σε αυτές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία

- [1] Jaspit Singh, *Οπτοηλεκτρονική*, εκδόσεις Τζιόλας, νέα βελτιωμένη έκδοση, 2016.
- [2] Willam Kleitz, *Ψηφιακά ηλεκτρονικά*, εκδόσεις Τζιόλας, 8^η έκδοση, 2017.
- [3] Κώστας Τσαμουτάλος, Παναγιώτης Σαράντης, *Αναλογική και ψηφιακή τηλεόραση*, εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Β΄ έκδοση, 2014.
- [4] Χρήστος Κάρλος, *Τηλεοπτική παραγωγή*, εκδόσεις έναστρον, 2010.

Data Sheet

- [5] Texas Instruments, “High Speed CMOS Logic 3-to-8 Line Decoder/Demultiplexer Inverting and Non-Inverting” CD74HC238E datasheet, Oct. 1997.
- [6] STMicroelectronics “NPN SILICON TRANSISTORS” BD139 datasheet
- [7] Texas Instruments, “High-Vin, High-Efficiency Power Solution Using DC/DC Converter With DVFS” 2N3904 datasheet, June 2000.

Internet Site

- [8] History of display technology, www.en-academic.com
- [9] Jason Geng, *Three Dimensional display technologies*, www.ncbi.nlm.nih.gov
- [10] The difference between digital screen and analog screen, www.reshine-display.com
- [11] Dot Matrix, www.lumex.com
- [12] Dot-matrix display, www.en.wikipedia.org
- [13] Felix Karlsson, *What is a Seven Segment Display*, www.rdotdisplays.com

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΚΩΔΙΚΑΣ

```
#include "SPI.h"
#include <TimerOne.h> // δήλωση βιβλιοθηκών

volatile bool timerTriggered = false; // δήλωση μεταβλητών
int c=1;
int pwm_red = 6;
int pwm_green = 9;
int pwm_blue = 10;

int line_enable1 = 7;
int line_enable2 = 8;
int line_enable3 = 12;

int led_enable1 = 2;
int led_enable2 = 3;
int led_enable3 = 4;

int level_enable1 = A0;
int level_enable2 = A1;
int level_enable3 = A2;

int anode_enable = 5; // δήλωση μεταβλητών

// δήλωση πινάκων δεδομένων σχεδίων // δηλώνεται το χρώμα, η ένταση και το σημείο που ενεργοποιείται
const int PROGMEM flagRU1[8][8][8][3] = {
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}}, //1
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{255,255,255},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
```



```

    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{255,255,255},{255,255,255},{255,255,255},{255,255,0},{0,0,0}}},
};

```

```

const int PROGMEM flagRU2[8][8][8][3] = {

```

```

    {{{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}}, //1
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{255,255,255},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{255,255,0},{0,0,0}}},

```

```

    {{{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}}, //2
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{255,255,255},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{255,255,0},{0,0,0}}},

```

```

    {{{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}}, //3
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{255,255,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{0,0,0},{0,0,0},{255,255,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{0,0,0},{255,255,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{255,255,255},{0,0,0},{0,0,0},{255,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{255,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{255,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
    {{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{255,255,0},{0,0,0}}},

```

```

    {{{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}}, //4

```



```

{{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{255,255,0},{0,0,0}}},

{{{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}}, //8
{{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,255},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
{{0,0,0},{0,0,0},{0,0,255},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
{{0,0,0},{0,0,255},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
{{255,255,255},{0,0,0},{0,0,0},{255,255,255},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
{{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{255,255,255},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
{{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{255,255,255},{0,0,0},{0,0,0}},
{{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{255,255,0},{0,0,0}}}},
};

```

```

const int PROGMEM ILU1[8][8][8][3] = {
  {{{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}}, //1
  {{0,255,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
  {{0,255,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
  {{0,255,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
  {{0,255,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
  {{0,255,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
  {{0,255,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
  {{0,255,0},{0,255,0},{0,255,0},{0,255,0},{0,255,0},{0,255,0},{0,255,0},{0,0,0}}}},

  {{{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}}, //2
  {{0,255,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
  {{0,255,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
  {{0,255,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
  {{255,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
  {{0,255,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
  {{0,255,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},
  {{0,255,0},{255,0,0},{255,0,0},{255,0,0},{255,0,0},{255,0,0},{0,255,0},{0,0,0}}}},

  {{{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}}, //3
  {{0,255,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0},{0,0,0}},

```



```

};

void setup() // αρχικοποίηση δεδομένων
{
Timer1.initialize(150000); // καθυστέρηση ανάμεσα στα καρτέ
Timer1.attachInterrupt(printFunc);

pinMode(pwm_red, OUTPUT); // δήλωση εξόδων arduino(pwm)
pinMode(pwm_green, OUTPUT);
pinMode(pwm_blue, OUTPUT);

pinMode(line_enable1, OUTPUT); // δήλωση εξόδων arduino(γραμμή)
pinMode(line_enable2, OUTPUT);
pinMode(line_enable3, OUTPUT);

pinMode(led_enable1,OUTPUT); //δήλωση εξόδων arduino( θέση στοιχείου)
pinMode(led_enable2,OUTPUT);
pinMode(led_enable3,OUTPUT);

pinMode(level_enable1,OUTPUT); // δήλωση εξόδων arduino(επίπεδο)
pinMode(level_enable2,OUTPUT);
pinMode(level_enable3,OUTPUT);

pinMode(anode_enable,OUTPUT); // δήλωση εξόδου (άνοδος)

analogWrite(pwm_red, 0); // αρχικοποίηση εξόδων arduino(pwm)
analogWrite(pwm_green,0);
analogWrite(pwm_blue, 0);

digitalWrite(line_enable1, LOW); // αρχικοποίηση εξόδων arduino(γραμμή)
digitalWrite(line_enable2, LOW);
digitalWrite(line_enable3, LOW);

```

```
digitalWrite(led_enable1, LOW); //αρχικοποίηση εξόδων arduino( θέση στοιχείου)
digitalWrite(led_enable2, LOW);
digitalWrite(led_enable3, LOW);
```

```
digitalWrite(level_enable1, LOW); // αρχικοποίηση εξόδων arduino(επίπεδο)
digitalWrite(level_enable2, LOW);
digitalWrite(level_enable3, LOW);
```

```
digitalWrite(anode_enable, HIGH); // αρχικοποίηση εξόδου ( άνοδος)
```

```
SPI.begin();
Serial.begin(9600);
```

```
}
```

```
char incomingByte; // δήλωση προσωρινών μεταβλητών
```

```
int i=0;
```

```
int j=0;
```

```
int h=0;
```

```
int z=0;
```

```
void loop() // έναρξη κύριου προγράμματος
```

```
{
```

```
if (Serial.available() > 0) { // έλεγχος λήψης δεδομένων απο συριακή επικοινωνία
```

```
    incomingByte = Serial.read(); // διάβασμα συριακής εισόδου
```

```
    Serial.print("I received: ");
```

```
    Serial.println(incomingByte);
```

```
if(incomingByte == '1') // καθορισμός για προβολή πρώτου σχήματος
```

```
{
```

```
    z=1;
```

```
}
```

```
else if(incomingByte == '2') // καθορισμός για προβολή δεύτερου σχήματος
```

```

{
    z=2;
}
else if(incomingByte == '0') // καθορισμός τέλους προβολής στην οθόνη
{
    z=0;
}
} // έλεγχος λήψης δεδομένων απο συριακή επικοινωνία

```

```
for (i=0; i<8; i++) // επιλογή επιπέδου
```

```
{
```

```
digitalWrite(level_enable1, HIGH && ((i) & B00000001));
```

```
digitalWrite(level_enable2, HIGH && ((i) & B00000010));
```

```
digitalWrite(level_enable3, HIGH && ((i) & B00000100));
```

```
for (j=0; j<8; j++) // επιλογή γραμμής
```

```
{
```

```
digitalWrite(line_enable1, HIGH && ((j) & B00000001));
```

```
digitalWrite(line_enable2, HIGH && ((j) & B00000010));
```

```
digitalWrite(line_enable3, HIGH && ((j) & B00000100));
```

```
for (h=0; h<8; h++) // επιλογή θέσης στοιχείου
```

```
{
```

```
digitalWrite(anode_enable, LOW);
```

```
digitalWrite(led_enable1, HIGH && ((h) & B00000001));
```

```
digitalWrite(led_enable2, HIGH && ((h) & B00000010));
```

```
digitalWrite(led_enable3, HIGH && ((h) & B00000100));
```

```

if(z == 1) // έλεγχος επιλεγμένου σχήματος
{
    // αναπαραγωγή των καρέ του αντίστοιχου επιλεγμένου σχήματος
    if(c==1)
    {

RGB_color(pgm_read_word(&flagRU1[i][j][h][0]),pgm_read_word(&flagRU1[i][j][h][1]),pgm_read
_word(&flagRU1[i][j][h][2])); // κλήση συνάρτησης για αναπαραγωγή πρώτου καρέ
    }
    else if(c==2)
    {

RGB_color(pgm_read_word(&flagRU2[i][j][h][0]),pgm_read_word(&flagRU2[i][j][h][1]),pgm_read
_word(&flagRU2[i][j][h][2])); // κλήση συνάρτησης για αναπαραγωγή δεύτερου καρέ
    }

    digitalWrite(anode_enable, HIGH); // ενεργοποίηση ανόδου της οθόνης

    delayMicroseconds(30);
}
else if(z == 2) // έλεγχος επιλεγμένου σχήματος
{
    // αναπαραγωγή των καρέ του αντίστοιχου επιλεγμένου σχήματος
    if(c==1)
    {

RGB_color(pgm_read_word(&ILU1[i][j][h][0]),pgm_read_word(&ILU1[i][j][h][1]),pgm_read_word(
&ILU1[i][j][h][2])); // κλήση συνάρτησης για αναπαραγωγή πρώτου καρέ
    }
    else if(c==2)
    {

RGB_color(pgm_read_word(&ILU2[i][j][h][0]),pgm_read_word(&ILU2[i][j][h][1]),pgm_read_word(
&ILU2[i][j][h][2])); // κλήση συνάρτησης για αναπαραγωγή δεύτερου καρέ
    }

    else if(c==3)

```

```

    {

RGB_color(pgm_read_word(&ILU3[i][j][h][0]),pgm_read_word(&ILU3[i][j][h][1]),pgm_read_word(
&ILU3[i][j][h][2])); // κλήση συνάρτησης για αναπαραγωγή τρίτου καρέ
    }
}
else if(z==0) // έλεγχος επιλεγμένου σχήματος
{
    digitalWrite(anode_enable, LOW); // διακοπή παροχής ρεύματος στη άνοδο της οθόνης
}
}
}
}
if(z==1) // έλεγχος επιλεγμένου σχεδίου
{
    if(timerTriggered==true){ // χρονική καθυστέρηση ανάμεσα στα καρέ του επιλεγμένου σχήματος
        if(c==2)
        {
            c=0;
        }
        c=c+1;
        delay(1);

        timerTriggered = false; //μηδενισμός timer
    }
}
else if(z==2) // έλεγχος επιλεγμένου σχεδίου
{
    if(timerTriggered==true){ // χρονική καθυστέρηση ανάμεσα στα καρέ του επιλεγμένου σχήματος

if(c==3)
    {
        c=0;

```

```

    }
    c=c+1;
    delay(1);

    timerTriggered = false; //μηδενισμός timer
}
}
}

void printFunc(void) // συνάρτηση δήλωσης υπερχειλίσης του timer
{
    timerTriggered = true;
}

void RGB_color(int red_pwm_value, int green_pwm_value, int blue_pwm_value) //συνάρτηση κλήσης
δεδομένων πινάκων
{
    analogWrite(pwm_red, red_pwm_value); // έξοδος κόκκινου χρώματος ρυθμιζόμενης έντασης
    analogWrite(pwm_green, green_pwm_value); // έξοδος πράσινου χρώματος ρυθμιζόμενης έντασης
    analogWrite(pwm_blue, blue_pwm_value); // έξοδος μπλε χρώματος ρυθμιζόμενης έντασης
}

```