

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ (E-CAD)

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ 2021 – 2022

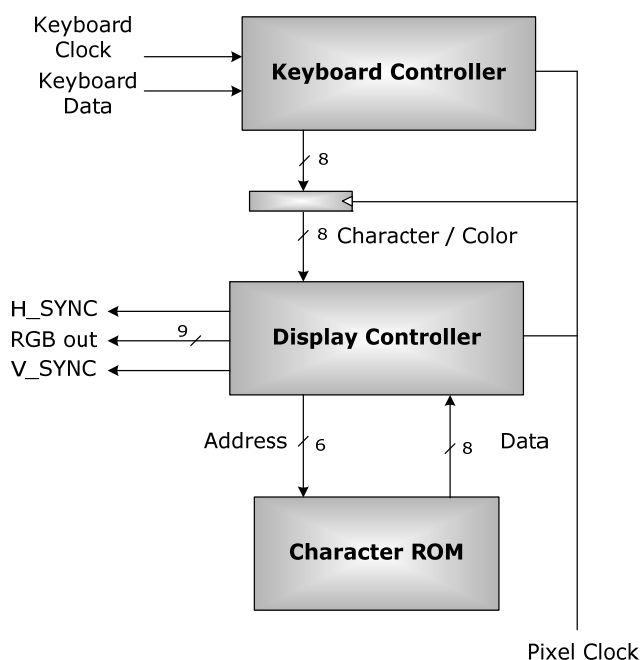
ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ

Σκοπός της φετινής εργασίας εξαμήνου είναι η σχεδίαση ενός Συστήματος Εισαγωγής & Απεικόνισης Χαρακτήρων (στο εξής θα αναφέρεται ως ΣΕΑΧ).

A. Γενική Αρχιτεκτονική του Συστήματος

Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική του ΣΕΑΧ φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται είναι τα εξής:

- ♦ Ο Keyboard controller ο οποίος είναι υπεύθυνος για την ανάγνωση δεδομένων προς απεικόνιση (1 χαρακτήρας / frame) από το πληκτρολόγιο και δεδομένων για την εναλλαγή χρώματος.
- ♦ Ο Display controller ο οποίος είναι υπεύθυνος για το έλεγχο της οθόνης (συγχρονισμός και αποστολή δεδομένων κάθε pixel σε RGB μορφή) και
- ♦ Η Character ROM περιλαμβάνει την μορφή των χαρακτήρων οι οποίοι θα προβάλλονται. Θεωρούμε πως το μέγεθος κάθε χαρακτήρα είναι 16x8.



B. Συνοπτική Περιγραφή της Στοιχευόμενης Λειτουργικότητας

Η λειτουργικότητα του ΣΕΑΧ έγκειται στην ανάγνωση δεδομένων και χρωματικής προτίμησης και στην προβολή τους σε μια οθόνη VGA.

Θεωρούμε ότι πιθανά δεδομένα προς απεικόνιση είναι **μόνο** οι χαρακτήρες 1, 2, 3 ή 4. Η απεικόνιση γίνεται πάντοτε στο ίδιο σημείο της οθόνης, οριζόμενο από το χρήστη (στους πιθανούς extra βαθμούς περιλαμβάνεται η αλλαγή της θέσης απεικόνισης). Κάθε χρονική στιγμή απεικονίζεται μόνο ένας από αυτούς τους χαρακτήρες.

Το χρώμα κάθε απεικονιζόμενου χαρακτήρα σχηματίζεται μέσω της συμβολής τριών συνιστωσών. Οι συνιστρώσεις αυτές είναι το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε (RGB), και κάθε μία έχει τη δική της ένταση. Η ένταση κάθε χρωματικής συνιστώσας μπορεί να έχει τιμή από 0 έως 7 (δηλαδή χρησιμοποιούνται 3 δυαδικά ψηφία ανά χρωματική συνιστώσα). Για παράδειγμα ένταση 7, 7 και 0 αντιστοιχά στις συνιστώσες κόκκινο, πράσινο και μπλε μας οδηγεί σε κίτρινο χρώμα στον απεικονιζόμενο χαρακτήρα, 0, 0, 0 σε μαύρο, 7, 7, 7 σε λευκό, 0, 7, 0 σε πράσινο, κ.ο.κ. Το χρώμα που επιθυμεί ο χρήστης για την απεικόνιση καθορίζεται μέσω των πλήκτρων r, g ή b. Κατά την αρχή της απεικόνισης, ο προβαλλόμενος χαρακτήρας είναι μαύρος. Κάθε πάτημα του r, g, b αυξάνει την αντίστοιχη συνιστώσα χρώματος. Σε περίπτωση που κάποια συνιστώσα έχει φτάσει τη μέγιστη τιμή της κάθε πάτημα του πλήκτρου που της αντιστοιχεί, συνεπάγεται τη μείωσή της, μέχρι το μηδενισμό της.

Κάθε άλλο πλήκτρο πλην των {1, 2, 3, 4, r, g, b} που θα εισαχθεί από το πληκτρολόγιο αγνοείται (στους πιθανούς extra βαθμούς περιλαμβάνεται η αναγνώριση επιπλέον πλήκτρων από το πληκτρολόγιο).

Γ. Τυπικό Σενάριο Χρήσης του ΣΕΑΧ

Είσοδος από Πληκτρολόγιο	Ένταση {R, G, B} (Δυαδικό)	Απεικονιζόμενος Χαρακτήρας	Χρώμα
Αρχική Κατάσταση	000, 000, 000	-	Μαύρο
1	000, 000, 000	1 (δε φαίνεται)	Μαύρο
r	001, 000, 000	1	Σκούρο Μωβ
r	010, 000, 000	1	Μωβ
4 ακόμη φορές r	110, 000, 000	1	Κόκκινο
r	111, 000, 000	1	Έντονο Κόκκινο
2	111, 000, 000	2	Έντονο Κόκκινο
3	111, 000, 000	3	Έντονο Κόκκινο
g	111, 001, 000	3	Κόκκινο προς Ροζ
5 ακόμη φορές g	111, 110, 000	3	Κίτρινο
g	111, 111, 000	3	Έντονο Κίτρινο
r	110, 111, 000	3	Κίτρινο προς Πορτοκαλί
5 ακόμη φορές r	001, 111, 000	3	Υποπράσινο
r	000, 111, 000	3	Έντονο Πράσινο
7 φορές g, 7 φορές b	000, 000, 111	3	Έντονο Μπλε

Δ. Ανάγνωση Δεδομένων από Πληκτρολόγιο

Όλη η απαραίτητη πληροφορία διασύνδεσης ενός πληκτρολογίου μέσω του PS/2 interface έχει αναπτυχθεί στην εργαστηριακή άσκηση 8. Τα scan codes που θα πρέπει να ανιχνεύετε στην παρούσα εργασία είναι τα (με σκίαση υποδεικνύονται scan codes που τυχόν θα θέλετε να ανιχνεύσετε για extra βαθμούς) :

Πλήκτρο	Scan Code (HEX)
1	16
2	1E
3	26
4	25
r	2D
g	34
b	32
f	2B
↑	75
↓	72
←	6B
→	74

Ε. Απεικόνιση δεδομένων στην οθόνη VGA

Οι κύριες παράμετροι που καθορίζουν την απεικόνιση σε μια οθόνη VGA είναι ο ρυθμός ανανέωσης των frames (Refresh Rate), ο αριθμός των οριζόντιων γραμμών από τις οποίες αποτελείται μια εικόνα (Number Of Rows, ο οποίος περιλαμβάνει και τις γραμμές μη απεικόνισης χρήσιμης πληροφορίας – Number of Rows = Visible Rows + Vertical Back + Vertical Front Porch) και ο αριθμός των pixels που περιλαμβάνει κάθε γραμμή (Number Of Pixels Per Row, ο οποίος περιλαμβάνει και τα εικονοστοιχεία μη απεικόνισης χρήσιμης πληροφορίας - Number Of Pixels Per Row = Visible Pixels + Horizontal Back + Horizontal Front Porch). Το γινόμενο των ορατών γραμμών και των pixels κάθε γραμμής καθορίζουν την ανάλυση της οθόνης. Η στοχευόμενη ανάλυση και ο ρυθμός ανανέωσης μας υποδεικνύουν τη συχνότητα λειτουργίας του ελεγκτή της οθόνης, Fp (ισοδύναμο του ρολογιού για την απεικόνιση ενός pixel, pixel clock), σύμφωνα με τη σχέση :

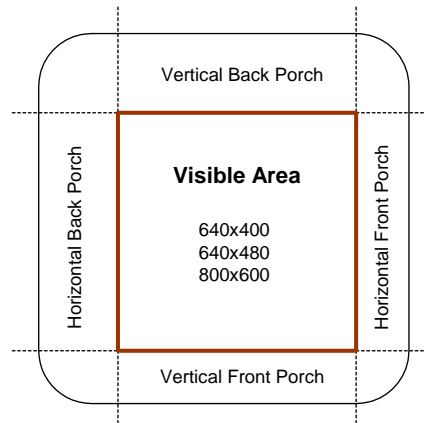
$$Fp = (\text{Refresh Rate}) \times (\text{Number Of Rows}) \times (\text{Number Of Pixels Per Row})$$

Προφανώς, για δεδομένη ανάλυση οθόνης, αύξηση του RefreshRate συνεπάγεται και την απαιτούμενη αύξηση της συχνότητας του pixel clock.

Ο επιθυμητός ελεγκτής απεικόνισης έχει τις αρμοδιότητες του *συγχρονισμού της οθόνης* και της *αποστολής της προς απεικόνιση πληροφορίας* σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Οι δύο αυτές διαδικασίες αναλύονται διεξοδικά παρακάτω.

E.1. Συγχρονισμός της οθόνης VGA

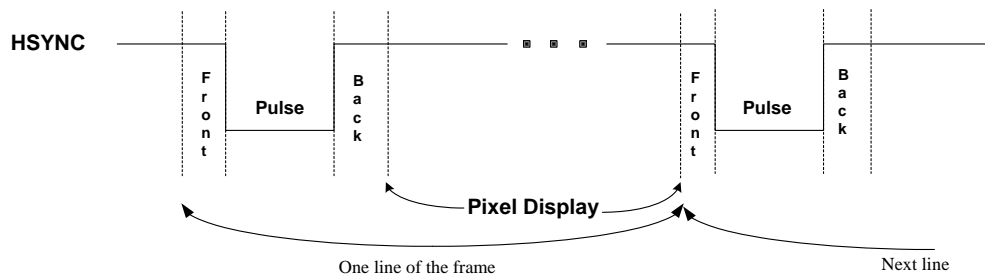
Ο συγχρονισμός της οθόνης, επιτυγχάνεται μέσω της οδήγησης από τον ελεγκτή, των σημάτων οριζοντίου (HSYNC) και κάθετου (VSYNC) συγχρονισμού. Το μεν πρώτο ενεργοποιείται κάθε φορά που κατά τη σάρωση ενός frame χρειάζεται να αλλάξουμε γραμμή ενώ το δεύτερο όταν έχει ολοκληρωθεί η προβολή ενός ολόκληρου frame. Για την ορθό συγχρονισμό απαιτείται η χρήση κάποιων επιπλέον γραμμών (Vertical Porch) και pixel σε κάθε γραμμή (Horizontal Porch). Στο διάστημα αυτό διεξάγεται η διαδικασία αμαύρωσης, της απομάκρυνσης δηλαδή του φορτίου από τα εικονοστοιχεία της οθόνης με σκοπό την απεικόνιση του επόμενου καρέ. **Όταν γίνεται η σάρωση των εικονοστοιχείων αυτών των περιοχών δε στέλνεται κάποια πληροφορία προς απεικόνιση αλλά θα πρέπει να στέλνεται το μαύρο χρώμα.** Στο πιο κάτω σχήμα φαίνεται η οθόνη και οι αντίστοιχες περιοχές στις οποίες χωρίζεται. Η ορατή περιοχή φαίνεται στο κέντρο μαζί με κάποιες χαρακτηριστικές αναλύσεις.



Σημειώνεται πως η ανάλυση, π.χ., 640x400, αφορά μόνο την ορατή περιοχή ενώ στην πραγματικότητα τόσο το πλήθος των γραμμών κάθε frame όσο και τα pixels ανά γραμμή είναι περισσότερα. Οι γραμμές που περιέχονται στις περιοχές Vertical Front Porch και Vertical Back Porch δεν περιέχουν καμιά πληροφορία όπως αντίστοιχα συμβαίνει και με τα pixels στις περιοχές Horizontal Back και Front Porch.

E.1.1. Συγχρονισμός των γραμμών

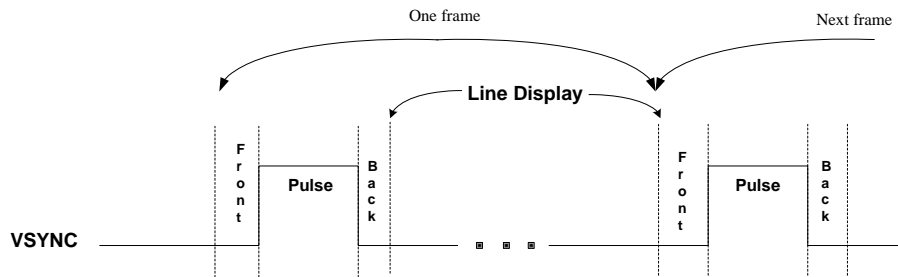
Ο συγχρονισμός των γραμμών πραγματοποιείται με τη χρήση του σήματος HSYNC. Η ολοκλήρωση μιας περιόδου του σήματος αυτού συνεπάγεται τη προβολή μιας γραμμής συμπεριλαμβανομένων και των περιοχών που δεν φέρουν πληροφορία δηλαδή των Horizontal Back Porch και Horizontal Front Porch. Μια περίοδος του σήματος HSYNC φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Ο χρόνος που διαρκεί κάθε περιοχή καθορίζεται από την ζητούμενη ανάλυση και το refresh rate και μετρείται συνήθως σε πλήθος κύκλων ρολογιού (pixel clock cycles). Μια περίοδος του HSYNC είναι της τάξης των δεκάδων μsecond.

E.1.2. Συγχρονισμός των frames

Ο συγχρονισμός των frames πραγματοποιείται με τη χρήση του σήματος VSYNC. Η ολοκλήρωση μιας περιόδου του σήματος αυτού συνεπάγεται και προβολή ενός ολόκληρου frame, δηλαδή του συνόλου των γραμμών που το αποτελούν. Στην περίοδο του VSYNC συμπεριλαμβάνονται και οι περιοχές που δεν φέρουν πληροφορία δηλαδή οι Vertical Back Porch και Front Porch, αντίστοιχα. Μια περίοδος του σήματος VSYNC φαίνεται στο σχήμα.



Αντίθετα με τον συγχρονισμό σε γραμμές, ο χρόνος που διαρκεί κάθε περιοχή σε μια περίοδο του σήματος VSYNC μετριέται συνήθως σε πλήθος γραμμών και μια περίοδος του VSYNC είναι της τάξης των δεκάδων msecond.

Για την εργασία σας, θα χρησιμοποιήσουμε μια ανάλυση 640x400 και refresh rate ίσο με 70Hz. Έτσι οι παράμετροι (με ικανοποιητική ακρίβεια για το συγχρονισμό των περισσότερων εμπορικών οθονών) του στοχευόμενου συστήματος είναι οι εξής:

- ♦ Συχνότητα ρολογιού Pixel Clock = 25 MHz (θα πρέπει να την παράξετε με μεγάλη ακρίβεια. Ανατρέξτε στην εργαστηριακή άσκηση 7 σχετικά).
- ♦ HorizontalFrontPorch = 16 pixels
- ♦ HSYNCPulse = 96 pixels
- ♦ HorizontalBackPorch = 48 pixels
- ♦ VisiblePixels = 640 pixels
- ♦ VerticalFrontPorch = 12 rows
- ♦ VSYNCPulse = 2 rows
- ♦ VerticalBackPorch = 35 rows
- ♦ VisibleRows = 400 rows

Το σήμα HSYNC είναι αρνητικής λογικής, ενώ το VSYNC θετικής λογικής.

Για τα παραπάνω συνίσταται να χρησιμοποιήσετε δύο μετρητές, χρονιζόμενους με το Pixel Clock, όπου ο ένας θα μετράει τα pixel κάθε γραμμής και όταν ολοκληρώνει τη μέτρησή του θα ενεργοποιεί τη μέτρηση του άλλου ο οποίος θα μετράει τις γραμμές του κάθε frame. Ανάλογα με τη τιμή αυτών των μετρητών θα πρέπει να παράγετε τα σήματα HSYNC και VSYNC σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα. Επίσης μέσω αυτών των μετρητών μπορείτε να γνωρίζετε πότε η σάρωσή σας μπαίνει στην περιοχή απεικόνισης του χαρακτήρα.

E.2. Αποστολή της προς απεικόνιση πληροφορίας.

Κάθε χαρακτήρας απεικονίζεται βάσει των pixel που τον απαρτίζουν. Κάθε pixel μπορεί να είναι off (μαύρο στην περίπτωση μας), δηλαδή μη διαχωρίσιμο από το background ή να έχει μία από 512 διαφορετικές χρωματικές αποχρώσεις ανάλογα με την ένταση της κάθε χρωματικής συνιστώσας (R, G, B). Η πλακέτα μας διαθέτει τα σήματα RED [2:0], GREEN [2:0] και BLUE[2:0], τα οποία απεικονίζονται στους ακόλουθους ακροδέκτες του FPGA :

Σήμα	Ακροδέκτης του FPGA
VGA-RED2	B1
VGA-RED1	D6
VGA-RED0	C8
VGA-GREEN2	C3
VGA-GREEN1	A5
VGA-GREEN0	A8
VGA-BLUE2	D5
VGA-BLUE1	E7
VGA-BLUE0	C9
VGA-HSYNC#	B7
VGA-VSYNC#	D8

Συνεπώς θα πρέπει όταν θέλετε να απεικονίσετε ένα αναμμένο (on) pixel του χαρακτήρα σας να στέλνετε την ένταση της κάθε χρωματικής συνιστώσας στις αντίστοιχες γραμμές κατά τη στιγμή της σάρωσης του συγκεκριμένου pixel. Σε κάθε άλλη περίπτωση αρκεί να στέλνετε το 000₂ και για τις τρεις χρωματικές συνιστώσες.

ΣΤ. Character ROM.

Μια ενδεχόμενη αποτελεσματική οργάνωση είναι να αποθηκεύσετε σε μια ROM που είναι οργανωμένη σε λέξεις του 1 byte τη μορφή καθενός από τους χαρακτήρες σε 16 διαδοχικές διευθύνσεις. Για παράδειγμα ο χαρακτήρας "1" αποθηκεύεται στις θέσεις 0 έως 15 της ROM, ο χαρακτήρας "2" στις θέσεις 16 έως 31, κ.ο.κ. Κατά την προβολή του κάθε χαρακτήρα όταν η τιμή ενός αποθηκευμένου στη ROM pixel είναι "1" τότε οδηγούμε στις γραμμές χρώματος δηλαδή στα 9 δυαδικά ψηφία, RED, GREEN, BLUE το τρέχον χρώμα (δηλαδή τις εντάσεις των χρωματικών συνιστωσών). Αν η τιμή είναι "0" τότε στέλνουμε μαύρο (RED, GREEN, BLUE = 000₂, 000₂, 000₂). Αν επιλέξετε αυτή την οργάνωση οι διευθύνσεις που θα πρέπει να παράγετε προς τη character ROM θα έχουν εύρος 6 bit. Αυτή η υπόθεση έχει υιοθετηθεί στο σχήμα της γενικής αρχιτεκτονικής. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το scancode του χαρακτήρα για την επιλογή μιας διεύθυνσης βάσης για το ποια από τις 16άδες της ROM θέλετε να προσπελάσετε.

Address	Data
0...0000	0 0 0 1 1 0 0 0
0...0001	0 0 1 1 1 0 0 0
0...0010	0 1 1 1 1 0 0 0
	1 1 0 1 1 0 0 0
	0 0 0 1 1 0 0 0
	0 0 0 1 1 0 0 0
	0 0 0 1 1 0 0 0
	0 0 0 1 1 0 0 0
	0 0 0 1 1 0 0 0
	0 0 0 1 1 0 0 0
	0 0 0 1 1 0 0 0
	0 0 0 1 1 0 0 0
	0 0 0 1 1 0 0 0
	0 0 0 1 1 0 0 0
0...1110	1 1 1 1 1 1 1 1
0...1111	1 1 1 1 1 1 1 1

Ζ.Βαθμολόγηση

- Η εργασία εξαμήνου θα μετρήσει ως το 50% του τελικού σας βαθμού. Το υπόλοιπο 50% της βαθμολόγησης θα προέλθει από τις εργαστηριακές ασκήσεις σας.
- Οι κανόνες βαθμολόγησης της εργασίας εξαμήνου είναι ως ακολούθως :
 - ο Συγχρονισμός της οθόνης : 40 μονάδες
 - ο Απεικόνιση χαρακτήρων : 20 μονάδες
 - ο Ανάγνωση πληκτρολογίου : 20 μονάδες
 - ο Αλλαγή χρωμάτων : 20 μονάδες
 - ο Έξτρα μονάδες θα δοθούν για όσους θέλουν να παίξουν με αναβόσβημα χαρακτήρα (ενεργοποίηση με το πλήκτρο f), μετακίνηση της θέσης απεικόνισης του χαρακτήρα με τη χρήση των βελών του πληκτρολογίου (τα σχετικά scancodes έχουν παρατεθεί πιο πάνω). Αν αποφασίσετε να μετακινείτε τον χαρακτήρα, σκεφτείτε τι μπορείτε να κάνετε όταν κατά τη μετακίνηση φτάσετε στα όρια της οθόνης (π.χ. ο χαρακτήρας που ολισθαίνει από δεξιά να εμφανίζεται από αριστερά ή να παράγεται κάποιο οπτικό εφέ σ' αυτή την περίπτωση).