

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ (E-CAD)

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ 2019 – 2020

Χ. Βέργος – Καθηγητής

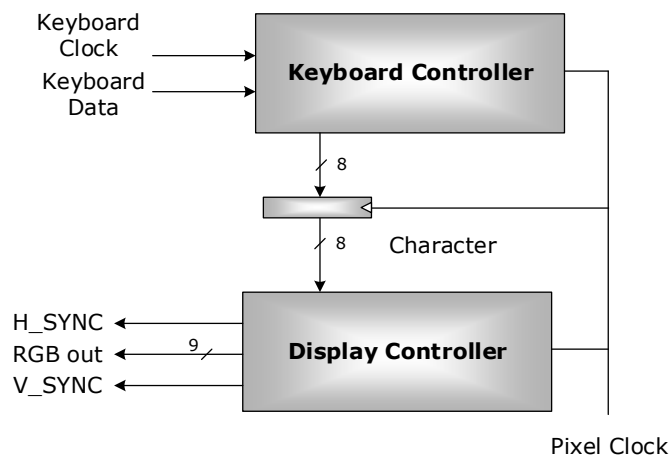
ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ

Σκοπός της φετινής εργασίας εξαμήνου είναι η σχεδίαση ενός Συστήματος ΑΠεικόνισης (ΣΑΠ) σε VGA οθόνη.

A. Γενική Αρχιτεκτονική του Συστήματος

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια γενική εικόνα της στοχευόμενης αρχιτεκτονικής. Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται είναι τα εξής:

- ♦ Ο Keyboard controller, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την ανάγνωση εντολών από το πληκτρολόγιο. Το σχεδιαστικό κομμάτι αυτό, έχει αναλυθεί και υλοποιηθεί στην εργαστηριακή άσκηση 8, και
- ♦ Ο Display controller, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον χρονισμό μιας οθόνης και την απεικόνιση σε αυτήν.



B. Συνοπτική Περιγραφή της Λειτουργίας

Η λειτουργία του ΣΑΠ έγκειται στην ανάγνωση εντολών μέσω πληκτρολογίου και στη διαμόρφωση της απεικονιζόμενης εικόνας σε μια οθόνη VGA, ανάλογα με την εντολή. Θεωρήστε ότι ο keyboard controller δέχεται ως πιθανά πλήκτρα μόνο τα **f**, **r**, **↓**, **→**, **←** και **↑**, ενώ αγνοεί κάθε άλλο πλήκτρο.

Ως εικόνα απεικόνισης θεωρούμε ένα παραλληλόγραμμο, με σταθερό πάχος γραμμών ίσο με 5 pixels, του οποίου το κέντρο βάρους είναι πάντα το κέντρο της οθόνης και του οποίου το εσωκλειόμενο εμβαδόν αλλάζει σύμφωνα με τις εντολές που εισάγονται από το πληκτρολόγιο. Αρχικά, αυτό θα πρέπει να έχει μέγεθος 20 x 10 pixels. Οι εντολές επιφέρουν τις ακόλουθες μεταβολές στην αρχική εικόνα:

Εντολή (εισαγόμενος χαρακτήρας)	Μεταβολή της εικόνας
↓	Μείωση του ύψους του παραλληλογράμου κατά 10 pixels
↑	Αύξηση του ύψους του παραλληλογράμου κατά 10 pixels
→	Μείωση του πλάτους του παραλληλογράμου κατά 10 pixels
←	Αύξηση του πλάτους του παραλληλογράμου κατά 10 pixels
f	Flash mode on/off. Ολόκληρο το παραλληλόγραμμο αναβοσβήνει με συχνότητα 0,5 Hz όταν το flash mode είναι on, ενώ παραμένει σταθερό όταν είναι off.
r	Reverse image on/off. Τα pixels ολόκληρης της εικόνας αντιστρέφονται (τα μαύρα γίνονται λευκά και τούμπαλιν).

Γ. Ένα τυχαίο σενάριο Χρήσης του ΣΑΠ

Εντολή (είσοδος) από Πληκτρολόγιο	Απεικονιζόμενο Παραλληλόγραμμο	Εφέ
Αρχική Κατάσταση	25 x 15 (20 x 10 εμβαδόν + 5 pixel για κάθε περιμετρική γραμμή)	-
2	25 x 15	-
p	25 x 15	-
↑	25 x 25	-
↑	25 x 35	-
←	35 x 35	-
←	45 x 35	-
f	45 x 35	Flashing παραλληλόγραμμο
↓	45 x 25	Flashing παραλληλόγραμμο
←	55 x 25	Flashing παραλληλόγραμμο
f	55 x 25	-
r	55 x 25	Αντιστροφή εικόνας
f	55 x 25	Flashing παραλληλόγραμμο σε αντεστραμμένη εικόνα
f	55 x 25	Αντιστροφή εικόνας
r	55 x 25	-
↑	55 x 35	-
→	45 x 35	-

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 :

Πλήκτρο	Scan Code (hex)
↑	75
↓	72
←	6B
→	74
f	2B
r	2D

Ε. Απεικόνιση δεδομένων στην οθόνη VGA

Οι κύριες παράμετροι που καθορίζουν την απεικόνιση σε μια οθόνη VGA είναι ο ρυθμός ανανέωσης των καρέ (Refresh Rate), ο αριθμός των οριζόντιων γραμμών από τις οποίες αποτελείται μια εικόνα (Number Of Rows) και ο αριθμός των pixels που περιλαμβάνει κάθε γραμμή (Number Of Pixels Per Row). Το γινόμενο των γραμμών και των pixels κάθε γραμμής καθορίζουν την ανάλυση της οθόνης. Η στοχευόμενη ανάλυση και ο ρυθμός ανανέωσης μας υποδεικνύουν τη συχνότητα λειτουργίας του ρολογιού της οθόνης, F_p (που πολλές φορές αναφέρεται ως ρολόι απεικόνισης ενός pixel, pixel clock), σύμφωνα με τη σχέση :

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

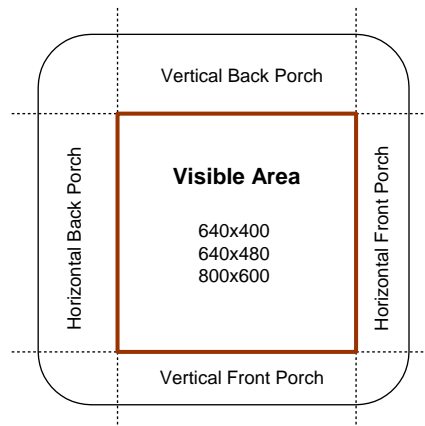
Προφανώς, για δεδομένη ανάλυση οθόνης, αύξηση του RefreshRate συνεπάγεται και την απαιτούμενη αύξηση της συχνότητας του pixel clock.

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

Ε.1. Χρονισμός της οθόνης

Ο χρονισμός 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 καρέ (frame). Για την ορθή λειτουργία της οθόνης απαιτείται η σάρωση κάποιων επιπλέον γραμμών (Vertical Porch) και pixels σε κάθε γραμμή (Horizontal Porch) διάστημα κατά το οποίο πραγματοποιείται αμαύρωση, απομάκρυνση δηλαδή του φορτίου από τα

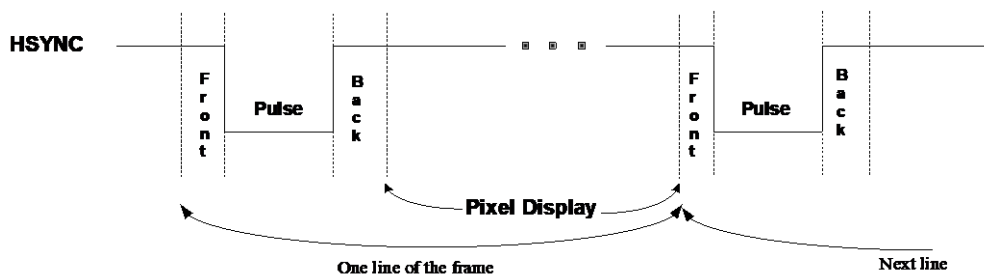
εικονοστοιχεία της οθόνης. Όταν γίνεται η σάρωση αυτών των επιπλέον γραμμών και pixels σε κάθε γραμμή δεν στέλνεται κάποια πληροφορία προς απεικόνιση αλλά **πρέπει** η πληροφορία που αποστέλλεται να είναι το μαύρο χρώμα. Στο πιο κάτω σχήμα φαίνεται η οθόνη και οι αντίστοιχες περιοχές στις οποίες χωρίζεται. 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.

Συγχρονισμός των γραμμών

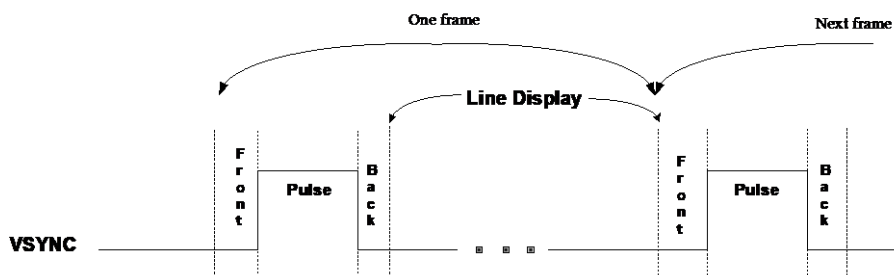
Ο συγχρονισμός των γραμμών πραγματοποιείται με τη χρήση του σήματος HSYNC. Η ολοκλήρωση μιας περιόδου του σήματος αυτού συνεπάγεται την προβολή μιας γραμμής συμπεριλαμβανομένων και των περιοχών που δεν φέρουν πληροφορία δηλαδή των Horizontal Back Porch και Horizontal Front Porch. Μια περίοδος του σήματος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



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

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 (οι περισσότερες εμπορικές οθόνες υποστηρίζουν μια ανοχή της τάξης του $\pm 5\%$ ως προς το pixel clock) του στοχευόμενου συστήματος είναι οι εξής:

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

Για τη συγκεκριμένη ανάλυση, ο παλμός Pulse για το σήμα HSYNC είναι αρνητικής λογικής, ενώ για το VSYNC θετικής λογικής (δείτε και τα σχήματα της προηγούμενης σελίδας). Η πολικότητα αυτών των σημάτων μαζί με τα χρονικά χαρακτηριστικά τους καθορίζει την ανάλυση της οθόνης.

E.2. Απεικόνιση εικόνας

Κάθε εικόνα απεικονίζεται βάσει των pixel που την απαρτίζουν. Κάθε pixel μπορεί να είναι μαύρο, 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

Στην παρούσα εργασία αρκεί η εικόνα μας να είναι ασπρόμαυρη, πράγμα που σημαίνει ότι αρκεί τα pixels της περιμέτρου του παραλληλογράμμου να είναι λευκά και όλη η υπόλοιπη οθόνη χρώμα μαύρο. Συνεπώς θα πρέπει όταν θέλετε να απεικονίσετε ένα λευκό pixel της περιμέτρου να στέλνετε RED [2:0] = GREEN [2:0] = BLUE[2:0] = $111_2 = 7_{10}$ και 0 για κάθε άλλο pixel περιοχής απεικόνισης.

Για τη λειτουργία reverse image, μπορούμε να πετύχουμε αντιστροφή των pixels όλης της εικόνας μέσω μιας μάσκας που θα έχει την τιμή $7_{10} = 111_2$, με την οποία θα γίνεται XOR (bitwise) κάθε χρωματική συνιστώσα που απαρτίζει το κάθε pixel. Κάθε πάτημα του **r** θα αλλάζει την τιμή της μάσκας από 0_{10} σε 7_{10} και τούμπαλιν.

Για τη λειτουργία flash, μπορούμε να ορίσουμε ένα flag το οποίο θα αλλάζει την τιμή του σύμφωνα με τη συχνότητα του flashing και να το χρησιμοποιήσουμε ως σήμα ελέγχου ενός πολυπλέκτη το οποίο θα επιτρέπει είτε την τιμή της χρωματικής συνιστώσας, είτε το 000_2 .

Z.Βαθμολόγηση

- Η εργασία εξαμήνου θα μετρήσει ως το 65% του τελικού σας βαθμού. Το υπόλοιπο 35% της βαθμολόγησης θα προέλθει από τις εργαστηριακές ασκήσεις σας.
- Οι κανόνες βαθμολόγησης της εργασίας εξαμήνου είναι ως ακολούθως :
 - Συγχρονισμός της οθόνης (οι οθόνες του εργαστηρίου υποδεικνύουν τον συγχρονισμό τους με ένα χαρακτηριστικό κλικ) : 30 μονάδες
 - Απεικόνιση αρχικής εικόνας : 20 μονάδες
 - Μεταβολή μεγέθους παραλληλογράμμου : 30 μονάδες
 - Flash - Reverse : 20 μονάδες
 - Έξτρα μονάδες θα δοθούν για όσους θέλουν να παίξουν με χρώματα, περιστροφή, εξέταση οριακών καταστάσεων μεγέθους, κλπ. Μπορείτε επίσης με κάποια γρήγορη συχνότητα ξεκινώντας από το αρχικό παραλληλόγραμμο, να αυξάνετε χωρίς εντολή εισόδου από το πληκτρολόγιο τόσο το ύψος όσο και το πλάτος του έτσι ώστε να δημιουργήσετε στην οθόνη ένα φαινόμενο explode !!!