אוניברסיטת אריאל בשומרון
המחלקה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה

שיפור ניגודיות וידאו בזמן אמת על גבי FPGA בעזרת חומרה ותוכנה

אנדריי פודלסני
ת.ז: 324780758

אביעד אלבז
ת.ז: 308188804

מנחה באוניברסיטה: פרופ' יואל רצאבי

תקציר

בפרויקט זה מומש אלגוריתם לשיפור ניגודיות בשם "Histogram equalization" אשר נלמד בקורס "עיבוד תמונה וראייה ממוחשבת"

הוא פועל על גבי תזרים וידאו בזמן אמת מכניסת HDMI או ממצלמת רשת באופן חומרתי על גבי כרטיס מדגם PYNQ – Z2 של חברת TUL. על גבי פריים בגודל של 1280 על 720. זהו כרטיס FPGA אשר מכיל גם מעבד מסוג ARM Cortex A9

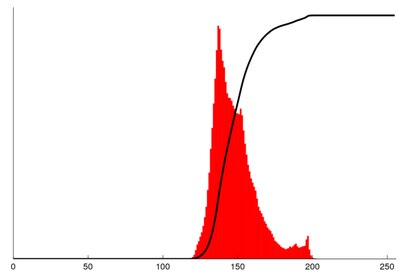
כמו כן יושם אלגוריתם תוכנתי מספריית עיבוד תמונה בשם OpenCV להשוואה בין שתי הגישות חומרה לעומת תוכנה, כדי לשלוט על מקור כניסת הוידאו HDMI או המצלמה ובחירת סוג עיבוד התמונה , עיבוד חומרתי , עיבוד בעזרת תוכנה וללא עיבוד כלל פותחה אפליקציית Android אשר מתקשרת עם הבקר.

כלל המערכת אשר מתקשרת עם החומרה של הFPGA ובמימוש שרת לתקשורת עם האפליקציה נכתבה בשפת Python ורצה על גבי המעבד.

מטרת הפרויקט

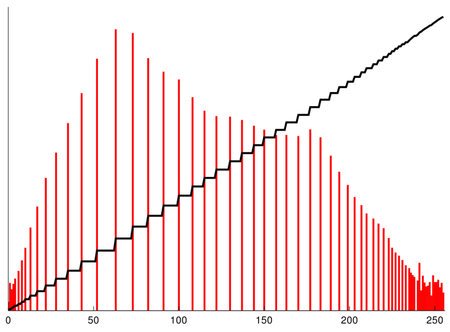
באשר יש לנו תמונה בעל ניגודיות נמוכה זאת אומרת כאשר טווח הגוונים בתמונה מצומצם נרצה להגדיל את טווח הגוונים על ידי מיפוי הערכים בהיסטוגרמה שלה לקבלת ניגודיות גבוהה יותר אלגוריתם זה נקרא Histogram Equalization
היסטוגרמה של תמונה זה גרף עמודות שכל עמודה מסמלת את כמות הפיקסלים עבור אותו גוון.
מטרת הפרוייקט הינה לבצע את האלגוריתם על גבי תזרים וידאו בזמן אמת כאשר האלגוריתם מבוצע על כל פריים בזמן אמת מתוך כניסת HDMI או מתוך מצלמת USB בעזרת רכיב חומרתי שנכתב בשפת VHDL ורץ על גבי ה FPGA כמו כן מימוש אותו האלגוריתם בעזרת ספריית עיבוד תמונה שרצה על גבי המעבד להשוואה בין שני הגישות תוכנה לעומת חומרה.


תמונה בעלת ניגודיות נמוכה



היסטוגרמה של תמונה בעלת ניגודיות נמוכה


תמונה בעלת ניגודיות גבוהה אחרי החלת האלגוריתם



היסטוגרמה של תמונה אחרי החלת האלגוריתם

מבוא

תמונה צבעונית בפורמט BGR מיוצגת על ידי מטריצה תלת ממדית כאשר כל מימד מיצג בהירות של כל צבע אדום, ירוק, כחול כדי לבצע את האלגוריתם על תמונה צבעונית בלי לפגוע בייחס הצבעים נשתמש בפורמט YCrCb כאשר גם כן זאת מטריצה תלת ממדית כאשר ערוץ הY מכיל בתוכו את הבהירות של התמונה (Luma) וערוצי Cb וCr מכילים את בתוכו את הצבעים , ההפרש בין הצבע האדום לבהירות וההפרש בין הצבע הכחול לבין הבהירות , גודל המטריצה הינו כגודל הפריים בפרויקט זה הינו 1280x720, כאשר כל פיקסל בכל ערוץ (מימד) מיוצג על ידי 8 ביט ויכול לקבל את הערכים 0 עד 255 , סך הכל 24 ביט לכל פיקסל בפרויקט זה מומש אלגוריתם הHistogram Equalization רק על ערוץ הY.

הנוסחא של האלגוריתם עבור תמונה בגודל 1280x720 הינה:

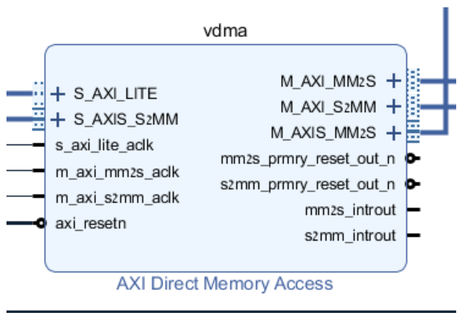
$$h(v) = round\left(\frac{cdf(v) - cdf_{min}}{1280x720 - cdf_{min}}\right)x255$$

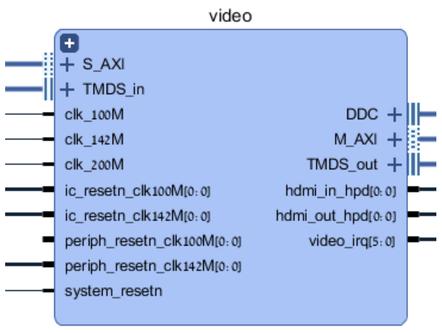
- $h(v)$– הערך המחושב של פיקסל עם ערך (v)
- $cdf(v)$– הערך של הפיקסל בפונקציית הצפיפות המצטברת
- cdf_{min}– הערך של הפיקסל המינימלי בפונקציית הצפיפות המצטברת שהוא לא אפס זאת אומרת כמה פעמים מופיע הפיקסל הכי כהה בתמונה
- $round(\ )$ - לעגל את התוצאה – מכיוון שלא תמיד נקבל מספר שלם

פונקציית הצפיפות המצטברת זה בעצם לקחת את כמות הפעמים שכל ערך מופיע בהיסטוגרמה ולכל איבר לחבר את הסכום של הערכים שלפניו בהיסטוגרמה

תיאור המערכת

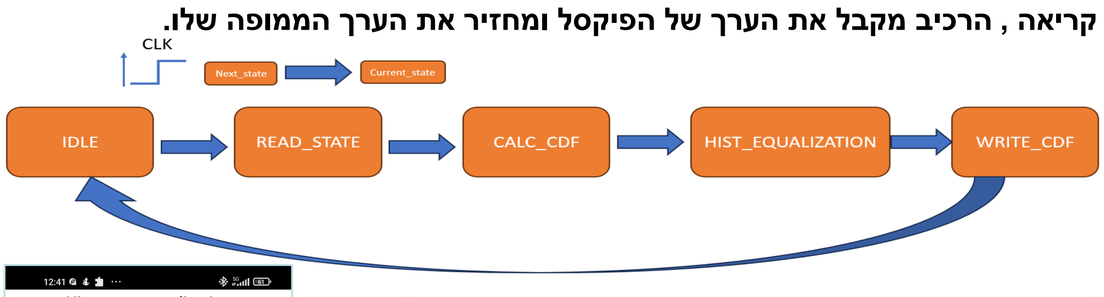
המערכת בנויה על גבי הכרטיס פיתוח TUL PYNQ Z2 משני חלקים, החלק של הFPGA שנקרא גם PL – Programmable logic והחלק של המעבד שנקרא PS – processing system המעבד הינו מסוג Arm cortex A9 שניהם נמצאים על אותו הצ'יפ שנקרא Zynq כאשר יש חיבור ביניהם , כמו כן יש לו זיכרון מסוג DDR3 בעל זיכרון של 512Mb, החלק של הFPGA בנוי על ידי בלוקים של רכיבים חמורתיים Block Design כאשר התקשורת ביניהם מתבצעת על ידי פרוטוקול Axis4-Stream
הרכיבים החשובים להבנת הפרויקט הינם רכיב DMA-Direct Memory access שתפקידו לקחת מידע מן הזיכרון ולהעביר אותו אל הבלוקים השונים במערכת, רכיב Video שמטרתו לקלוט פריים מן כניסת הHDMI ולהעביר לזיכרון , כמו כן לקחת פריים מן הזיכרון ולהעביר אותו למוצא הHDMI, ורכיב HistogramEqualization שמחובר אל הDMA תפקידו לקלוט פריים מן הזיכרון לעבד אותו על ידי האלגוריתם ולהחזיר לDMA שמעביר אותו לזיכרון ומשם על ידי רכיב הוידאו למוצא הHDMI

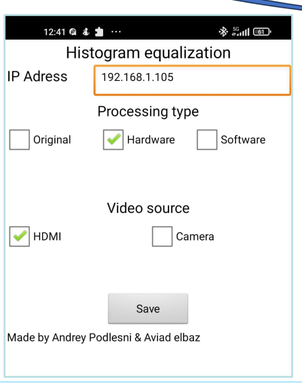




הרכיב ממש מכונת מצבים כאשר כל עליית שעון המצב הנוכחי מקבל את המצב הבא כאשר ישנם 5 סוגי מצבים :

- IDLE - איפוס סיגנלים כדי שניתן יהיה לחשב פריים חדש
- READ_STATE– במצב זה הרכיב מקבל את הפריים ושומר במערך כמה כל פיקסל חזר על עצמו זאת אומרת ההיסטוגרמה של התמונה , כמו כן במצב זה נשמר בסיגנל נפרד הערך המינימלי זאת אומרת הפיקסל הכי כהה בתמונה.
- CALC_CDF – במצב זה הרכיב מחשב את פונקציית הצפיפות המצטברת זאת אומרת עבור כל ערך בהיסטוגרמה לסכום עליו את כל הערכים שלפניו בהיסטוגרמה.
- HIST_EQUALIZATION – ביצוע האלגוריתם ושמירת במערך את הערכים הממופים החדשים עבור כל ערך של פיקסל.
- WRITE_CDF – במצב זה שולחים את הפריים בפעם השניה אל הרכיב ותוך כדי מבצעים קריאה , הרכיב מקבל את הערך של הפיקסל ומחזיר את הערך הממופה שלו.





על גבי המעבד רץ קוד שנכתב בשפת Python שתפקידו לתקשר עם הרכיבים השונים בPL , לקלוט פריים ממצלמת הUSB, לעשות עיבוד תוכנתי על ידי ספריית תוכנה OpenCv2 , הצגת הFPS על גבי הוידאו,מימוש שרת רשת שתקפידו לקלוט ערכים מהאפליקציה: סוג העיבוד חומרתי או תוכנתי.

תוצאות

כניסת HDMI– ללא עיבוד

קצב הFPS עומד על בערך 50

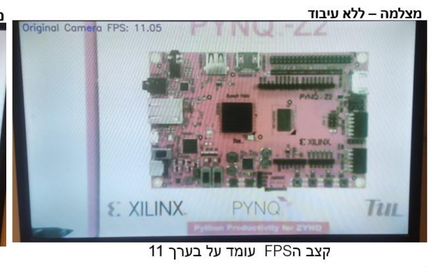
כניסת HDMI– עיבוד בעזרת תוכנה

קצב הFPS עומד על בערך 18

כניסת HDMI עיבוד בעזרת חומרה

קצב הFPS עומד על בערך 17.5

מצלמה – ללא עיבוד



קצב הFPS עומד על בערך 11

מצלמה – עיבוד בעזרת תוכנה

קצב הFPS עומד על בערך 8

מצלמה – עיבוד בעזרת חומרה

קצב הFPS עומד על בערך 7.8

סיכום ומסקנות

בפרויקט זה הצלחנו לממש מערכת שמבצעת שיפור ניגודיות וידאו בזמן אמת מתוך מצלמת USB או מתוך כניסת HDMI בעזרת חומרה ובעזרת תוכנה, כמו כן מומשה אפליקציית Android לשליטה על מקור הוידאו וסוג העיבוד, בניגוד לציפיות העיבוד החומרתי אינו יותר יעיל מעיבוד תוכנתי בפרויקט זה אך כנראה ניתן היה לשפר את האלגוריתם על ידי מימושו בגישה אחרת.