

**ПОБОЉШАЊЕ РЕЗОЛУЦИЈЕ ТЕРМАЛНЕ КАМЕРЕ КОРИШЋЕЊЕМ
СТАНДАРДНОГ CMOS КАМЕРА МОДУЛА****IMPROVING RESOLUTION OF THE THERMAL CAMERA BY USING A STANDARD
CMOS CAMERA MODULE**

Живорад Јовановић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ПРИМЕЊЕНА ЕЛЕКТРОНИКА

Кратак садржај – У овом чланку је описана имплементација побољшања резолуције термалне камере. Потребно је комбиновати приказе са OV7670 камера модула и са MLX90640 термалне камере да би се добио термални приказ са доста више детаља на слици.

Кључне речи: OV7670 камера модул, MLX90640 термална камера, Mikromedia 7 развојно окружење

Abstract – This paper describes implementation of thermal camera resolution enhancement. It is necessary to combine the views from the OV7670 camera module and from the MLX90640 thermal camera to get a thermal view with much more details on the image.

Keywords: OV7670 camera module, MLX90640 thermal camera, Mikromedia 7 development environment

1. УВОД

Како је технологија временом напредовала, данас је тешко замислити човека савременог доба који нема бар неки „паметни“ уређај у свом дому. Данас се у домаћинствима скоро па и не може наћи мобилни уређај који у себи нема интегрисану камеру. Осим у мобилним телефонима, камере се сада могу наћи у свим другим савременим системима попут преносних рачунара (лаптопова), таблет рачунара и других. Запањујућа чињеница је да је данашња технологија, након развоја камера драстично великих резолуција отишла још један корак даље. У складу са тим долази се до појма **термовизије** (од грчке речи *termo* – топло и латинског глагола *video, videre* – видети, гледати). У буквалном смислу овај појам се може превести као „гледање топлоте“. На основу овога, термовизија дефинише приступ којим се врше снимања топлоте објеката. Термовизијско снимање представља бесконтактни метод којим се може регистровати емитовање топлоте односно инфрацрвено зрачење које сва тела емитују у већој или у мањој мери. Овакве врсте камера се зову термалне камере [1]. У данашње време не постоје термалне камере великих резолуција, чиме би се могло приказати доста више детаља на слици.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Јован Бајић.

Циљ рада јесте да се приказ са термалне камере резолуције 32x24 пиксела представи помоћу OV7670 камера модула који снима у резолуцији 320x240 пиксела. Притиском на екстерни тастер појављује се комбинација приказа слике са термалне камере и са OV7670 камера модула.

2. OMNIVISION 7670 КАМЕРА МОДУЛ

За реализацију система је искоришћен камера модул ознаке OV7670 што представља нисконапонски CMOS уређај који пружа пуну функционалност VGA камере и процесора слике у малом кућишту [2].

OV7670 камера модул шаље податке у паралелном синхронном формату. Пре свега потребно је прво доставити сигнал такта на XCLK пин камера модула. Након што камера добије сигнал такта на XCLK пину, почеће да активира своје пинове VSYNC, HSYNC/HREF и D0-D7 пинове. Подаци о пикселима се узоркују на растућој ивици PCLK сигнала и у времену када је HREF сигнал на високом логичком нивоу. Растућа ивица HREF сигнала сигнализира почетак линије за читање док опадајућа ивица сигнализира крај линије. Силазна ивица VSYNC сигнала сигнализира почетак оквира а растућа ивица сигнализира крај оквира [3].

2.1 YUV простор боја

OV7670 камера модул подржава RGB као и YUV формат фотографије. За снимање слике са овог камера модула одабран је YUV формат боја јер даје више информација од приказа саме конкретне боје на излазу модула. У YUV простору боја, Y параметар представља монохроматски сигнал који се односи само на осветљеност пиксела. Параметри U и V представљају конкретну боју и називају се још црвена пројекција и плава пројекција боје [4].

3. MLX90640 ТЕРМАЛНА КАМЕРА

Термовизијска камера, позната и као инфрацрвена камера или термална камера, је уређај који формира слику користећи инфрацрвено зрачење. Инфрацрвено зрачење се емитује од стране свих објеката са температуром изнад апсолутне нуле, стога термографија омогућава да се види нечија животна средина, са или без видљивог осветљења. Количина зрачења, емитована од стране објеката повећава се са температуром, стога се помоћу термографије могу видети разлике у температури. У складу са претходно реченим, може се закључити да термална камера детектује и мери инфрацрвену енергију објеката [5].

IR 3 GRID клик плочица је опремљена са *MLX90640ESF-BAА* термалном камером која представља *IR* сензор резолуције 32x24 пиксела развијен од стране фирме *Melexis*.

Ова термална камера садржи *PTAT* (енг. *proportional to absolute temperature*) компензациони сензор.

У случају *PTAT* принципа мерења, у електричном колу сензора се генерише напон који директно зависи од температуре.

Видно поље ове камере износи 110°x75° са елементима распоређеним у 32x24 мрежу. Сваки пиксел (сензор) мери температуру свог видног поља на основу чега се креира термална слика односно рачуна се температура сваке тачке у видном пољу [6].

3.1 HSV модел боја

Код овог простора боја, *H* параметар представља конкретну боју односно тон боје, *S* параметар представља засићеност боје и *V* параметар је вредност боје.

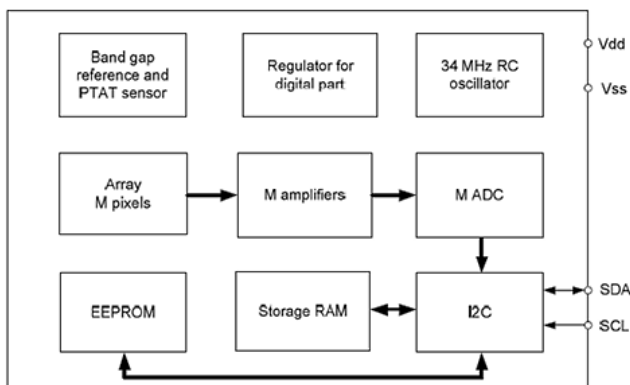
Свака боја коју човек запази, може описати на основу њеног тона, засићености и светлине. *H* параметар односно тон боје се може представити на кружници у опсегу 0°-360° и представља локацију доминантне таласне дужине (таласна дужина око које је концентрисана највећа енергија).

Како је речено, засићеност боје се дефинише *S* параметром и представља садржај беле светлости у боји. *S* параметар може имати вредности у опсегу 0% - 100%. *V* параметар представља сјајност боје и одређује меру колико је боја светла или тамна. Као и *S* параметар, *V* параметар може бити у опсегу 0% - 100% [7].

3.2 Блок шема *MLX90640* термалне камере

На слици 1 је приказана блок шема *MLX90640* термалне камере. Као што показује слика 1, излази свих сензора (*IR* елемената) се смештају у интерну *RAM* меморију и подаци са сензора се могу преузети из *RAM* меморије путем *I²C* интерфејса.

Ови излазни сигнали се претходно појачавају и пропуштају кроз *AD* конверторе. Такође, путем *I²C* интерфејса се могу прочитати подаци из *EEPROM* меморије. Што се тиче брзине *I²C* комуникације, овај сензор подржава фреквенције сигнала такта до 1MHz [8].



Слика 1. Блок шема *MLX90640* термалне камере [8]

3.3 Организација меморије *MLX90640* термалне камере

MLX90640 термална камера садржи више различитих меморијских модула у зависности од намене. Потребно је издвојити два најзначајнија блока меморије у овом случају а то су *RAM* меморија и *EEPROM* меморија. Што се тиче *RAM* меморије, додељене су јој меморијске адресе у опсегу 0x0400 – 0x07FF и у ову меморију се смештају вредности тренутних стања пиксела. *EEPROM* меморији су додељене меморијске локације у опсегу адреса 0x2400 – 0x273F што је еквивалентно са 832 меморијске локације. У ову меморију се смештају параметри компензације и калибрације сензора. При укључењу уређаја, ови параметри се смештају у *RAM* меморију чиме се обезбеђује правилан рад термалне камере [8].

3.4 Обрасци читања стања пиксела *MLX90640* термалне камере

Постоје два начина распореда пиксела односно два начина читања тренутног стања пиксела са *MLX90640* термалне камере:

- *Chess pattern mode* (режим шаховског узорка).
- *TV interleave mode*.

У случају режима шаховског узорка, као што само име каже пиксели су организовани тако да се прва подстраница односи на пикселе са поља једне боје (на пример сва бела поља на шаховској табли), док друга подстраница обухвата пикселе са поља друге боје (сва црна поља са шаховске табле). Ако је у питању *TV interleave* режим, стања пиксела се читају тако да првој подстраници одговарају пиксели сваке друге линије, док при читању следеће подстранице остају да се прочитају стања пиксела из осталих линија [8].

4. MIKROMEDIA 7 РАЗВОЈНИ СИСТЕМ

За реализацију овог рада искоришћен је *Mikromedia 7* развојни систем који је развијен од стране фирме *Mikroelektronika*. Овај развојни систем на себи садржи микроконтролер ознаке *STM32F746ZG*. Изглед развојног система приказан је на слици 2. Главни периферијски модул на овом систему представља *TFT* дисплеј резолуције 800x480 пиксела чија дужина дијагонале износи 7 инча и осетљив је на додир. Комуникација између микроконтролера и самог дисплеја омогућена је коришћењем *SSD1936* графичког контролера који се такође налази интегрисан на развојном систему [9].



Слика 2. *Mikromedia 7* развојни систем [9]

4.1 STM32F746ZG микроконтролер

STM32F746ZG микроконтролери су базирани на 32-битном ARM Cortex – M7 језгру високих перформанси чија је максимална фреквенција рада до 216MHz. Такође имају стандардне и напредне комуникационе интерфејсе: до четири I²C модула, шест SPI модула, четири UART модула, два CAN модула, два SAI модула, DCMI интерфејс (интерфејс за повезивање камера модула), LCD-TFT дисплеј контролер, SDMMC интерфејс (омогућава комуникацију са SD меморијским картицама и са SD улазно/излазним уређајима) [10].

5. РЕАЛИЗАЦИЈА ЗАДАТКА

5.1 STM32CubeMX конфигуратор кода

Задатак је реализован у STM32CubeIDE развојном окружењу користећи STM32CubeMX конфигуратор кода. Главна предност овог конфигуратора је то што се сва иницијална подешавања врше графичким путем. STM32CubeMX конфигуратор кода генерише иницијални код у ком су ажуриране вредности одређених регистара у складу са траженим захтевима.

5.2 Идеја реализације задатка

Приказ са OV7670 камера модула се може посматрати као матрица пиксела која садржи 240 врта и 320 колона, док је код термалне камере у питању 32x24 матрица пиксела. Ове две матрице треба довести у међусобну везу на основу које ће се извршити мапирање пиксела са термалне камере на пикселе OV7670 камера модула.

Како је већ наведен однос резолуција обе камере, није тешко доћи до закључка да један пиксел са термалне камере представља 10x10 матрицу пиксела са OV7670 камера модула. Дакле, 320x240 матрица пиксела се треба поделити на низ 10x10 матрица при чему свака подматрица представља један пиксел са термалне камере.

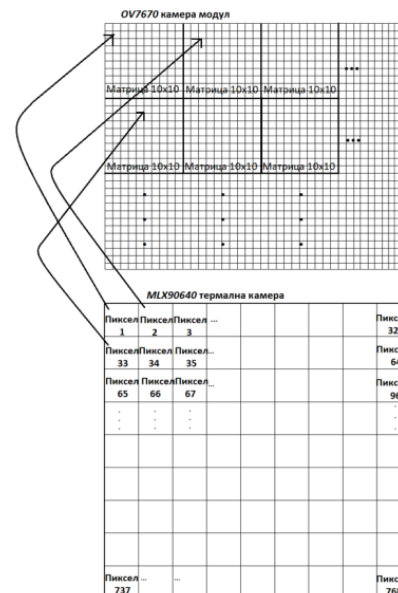
Следеће што треба урадити је приступити Hue параметру за сваки пиксел термалне камере, при чему ће се вредност овог параметра додељивати 10x10 матрицама пиксела са OV7670 камере.

Принцип мапирања пиксела заснован на претходно објашњеном поступку приказан је на слици 3. Са термалне камере треба добити податке о Hue параметру док се са OV7670 камера модула користи само Y параметар који даје информацију о осветљености сваког појединачног пиксела.

Комбинацијом Hue и Y параметара добија се комбинација приказа са обе камере, што и јесте циљ задатка.

5.3 Софтверска реализација задатка

Програм је написан тако да постоје два приказа на TFT дисплеју, на једном приказу се налази оно што снима само термална камера, док је на другом приказу циљ задатка а то је комбинација приказа слике са OV7670 камера модула и са MLX90640 термалне камере.



Слика 3. Мапирање пиксела са MLX90640 термалне камере на OV7670 камера модулу

Једна од најбитнијих функција за цртање приказа са камера представља SSD1936_WriteData функција којој се као параметар прослеђује боја у оквиру 16-битног податка. Пре приказивања саме боје на дисплеју потребно је извршити конверзије простора боја у RGB формат. У ту сврху су искоришћене функције YUVtoRGB односно HSVtoRGB. Основне формуле од којих се полази при конверзији YUV простора боја у RGB простор представљају формуле (1) - (3). На основу ових формула израчунају се компоненте RGB простора боја [4].

$$R = Y + 1.140V \quad (1)$$

$$G = Y - 0.395U - 0.581V \quad (2)$$

$$B = Y + 2.032U \quad (3)$$

У случају конверзије HSV простора боја у RGB простор боја, користе се формуле (4) – (8).

$$C = V \times S \quad (4)$$

$$X = C \times (1 - |(H/60^\circ) \bmod 2 - 1|) \quad (5)$$

$$m = V - C \quad (6)$$

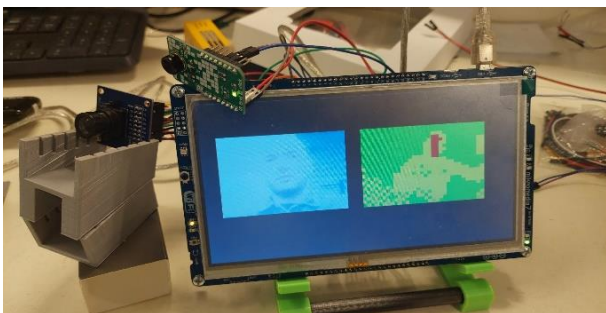
$$(R', G', B') = \begin{cases} (C, X, 0), & 0^\circ \leq H < 60^\circ \\ (X, C, 0), & 60^\circ \leq H < 120^\circ \\ (0, C, X), & 120^\circ \leq H < 180^\circ \\ (0, X, C), & 180^\circ \leq H < 240^\circ \\ (X, 0, C), & 240^\circ \leq H < 300^\circ \\ (C, 0, X), & 300^\circ \leq H < 360^\circ \end{cases} \quad (7)$$

$$(R, G, B) = \begin{cases} (R' + m) \times 255 \\ (G' + m) \times 255 \\ (B' + m) \times 255 \end{cases} \quad (8)$$

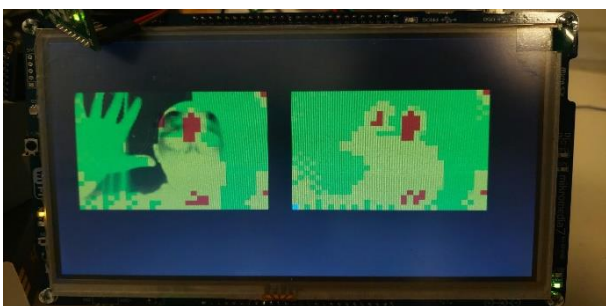
На крају конверзије, вредности R , G и B компоненти ће бити у опсегу 0-255 [11].

6. РЕЗУЛТАТИ ТЕСТИРАЊА

На сликама 4. и 5. су приказани резултати тестирања у случају основног приказа са $OV7670$ камера модула односно у случају коначног система. Са слике 5. се може видети да није било могуће преклапање слика са обе камере из разлога што је коришћена термална камера са видним пољем од $110^\circ \times 75^\circ$. Коришћењем термалне камере са мањим видним пољем, овакв систем би се могао унапредити.



Слика 4. Изглед система у случају основног приказа са $OV7670$ камера модула



Слика 5. Изглед коначног система

7. ЗАКЉУЧАК

У складу са свим претходно изнетим чињеницама, коначан систем који је тема овог рада је реализован у складу са захтевима и испуњава жељену функционалност. Разлика између температуре околине и температуре људског тела је мала, па стога температура околине може стварати шумове чиме се добијају делимичне промене у боји на слици са термалне камере. Зато би сва тестирања најбоље било вршити у условима где су веће разлике у температури (на пример где је додатно охлађена просторија), на тај начин добијају се „чистије“ слике са термалне камере.

Реализација оваквог система би се могла унапредити коришћењем термалне камере са мањим видним пољем ($55^\circ \times 35^\circ$). Са оваквим параметром би био једноставнији процес преклапања слика са једне и друге камере јер камере не би морале бити на већој међусобној удаљености да би снимале исту сцену.

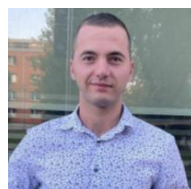
Такође, уместо коришћења екстерних тастера, систем би се могао додатно унапредити реализацијом графичког корисничког интерфејса.

Мотивација за реализацију оваквог задатка је та што у данашње време не постоје термалне камере великих резолуција, па је оваквим комбиновањем приказа ближе демонстрирано како би то изгледало.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Појам термовизије и основни принципи рада термалних камера, <https://www.wikiwand.com/sr/Termovizija> [Приступљено у фебруару 2023.]
- [2] Основни принцип рада $OV7670$ камера модула, <https://www.elprocus.com/cmos-ov7670-camera-module/> [Приступљено у фебруару 2023.]
- [3] Принцип добијања слике помоћу $OV7670$ камера модула, <http://embeddedprogrammer.blogspot.com/-2012/07/hacking-ov7670-camera-module-sccb-cheat.html> [Приступљено у фебруару 2023.]
- [4] YUV простор боја (основни појмови), <https://dexonsystems.com/blog/rgb-yuv-color-spaces> [Приступљено у фебруару 2023.]
- [5] Основни појмови о термалним камерама, <https://www.antenall.rs/sr/vesti/sta-je-termalna-kamera-za-detekciju-telesne-temperature>; [Приступљено у фебруару 2023.]
- [6] $IR\ 3\ GRID\ click$ плочица (основне информације), <https://www.mikroe.com/ir-grid-3-click>, [Приступљено у фебруару 2023.]
- [7] Ј.Бајић, “Лабораторијске вежбе из Оптоелектронике“, <https://www.optolab.ftn.uns.ac.rs/images/NASTAVA/OE/files/lab/pdf/2021/8-Senzor-boje.pdf> [Приступљено у фебруару 2023.]
- [8] *Datasheet MLX90640* сензора, <https://download.mikroe.com/documents/datasheets/MLX90640.pdf> [Приступљено у фебруару 2023.]
- [9] *Mikromedia 7* развојни систем, <https://www.mikroe.com/blog/mikromedia-7-stm32f7-user-manual> [Приступљено у фебруару 2023.]
- [10] $STM32F746ZG$ микроконтролер *datasheet*, https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f746z_g.pdf [Приступљено у фебруару 2023.]
- [11] Формуле за конверзију HSV простора боја у RGB простор боја, <https://www.rapidtables.com/convert/color/hsv-to-rgb.html> [Приступљено у марту 2023.]

Кратка биографија:



Живорад Јовановић рођен је 15.02.1997. у Ужицу. Завршио је Техничку школу у Ужицу 2016. год. Уписао је Факултет техничких наука у Новом Саду 2017. год. на студијском програму Енергетика, електроника и телекомуникације. У октобру 2021. год. завршио је основне академске студије, након чега уписује мастер студије на усмерењу Примењена електроника.