



## МЕЖДУНАРОДНА НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ „МЕХАТРОНИКА, ЕКО И ЕНЕРГОСПЕСТЯВАЩИ СИСТЕМИ И ТЕХНОЛОГИИ“ - ПЛОВДИВ' 2026

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА УСТАНОВКА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗМОЖНИ ПРИЛОЖЕНИЯ НА ИНФРАЧЕРВЕНИ МАТРИЧНИ СЕНЗОРИ В СИСТЕМИ ЗА ИНТЕЛИГЕНТЕН МОНИТОРИНГ

### EXPERIMENTAL SETUP FOR STUDYING POSSIBLE APPLICATIONS OF INFRARED MATRIX SENSORS IN INTELLIGENT MONITORING SYSTEMS

Dimitar Yankov<sup>1</sup>, Hristo Radev<sup>2</sup>, Galidiya Petrova<sup>3</sup>, Grisha Spasov<sup>4</sup>, Georgi Bodurov<sup>5</sup>

Center of competence "Smart mechatronic, eco-and energy-saving systems and technologies"

<sup>1</sup>Correspondence: [d.yankov@tu-plovdiv.bg](mailto:d.yankov@tu-plovdiv.bg); <sup>2</sup>Correspondence: [h\\_radev@tu-plovdiv.bg](mailto:h_radev@tu-plovdiv.bg);

<sup>3</sup>Correspondence: [gip@tu-plovdiv.bg](mailto:gip@tu-plovdiv.bg); <sup>4</sup>Correspondence: [gvs@tu-plovdiv.bg](mailto:gvs@tu-plovdiv.bg);

<sup>5</sup>Correspondence: [gbodurov@tu-plovdiv.bg](mailto:gbodurov@tu-plovdiv.bg)

#### Abstract

This article presents an experimental setup and practical study of low-resolution infrared matrix sensors designed for applications in intelligent monitoring and human activity recognition systems. The main emphasis is placed on the use of the Melexis EVB90640-41 development platform and the capture of thermal images with IR matrix sensors MLX90640 and MLX90641. The hardware configuration of the system, the installation and setup of drivers and specialized software, the configuration of communication between the sensor and the computer system, as well as the methods for processing and visualization of the measured temperature data are considered. The possibility of non-contact monitoring of the respiratory rhythm in a home environment using IR thermography is studied. A comparative analysis between the two types of sensors is presented in terms of spatial resolution, the quality of the obtained thermal images, the volume of generated data and their applicability in human activity recognition systems. Additionally, results obtained under the same experimental conditions were analyzed, and a comparison was made between the temperature matrices and the visualized thermal images from both sensors. The purpose of this study is to present a practical setup based on Melexis EVB90640-41 platform and experimental evaluation of infrared matrix sensors MLX90640 and MLX90641 with a field of view of 55°x35° for home monitoring purposes, as well as to analyze the influence of spatial resolution on the quality of the obtained thermal images and the possibilities for post-processing.

**Keywords:** infrared matrix sensors, thermal imaging, human activity, motion detection, Smart Home, thermal monitoring.

#### ВЪВЕДЕНИЕ

През последните години интелигентните системи за мониторинг се утвърждават като едно от основните направления в развитието на Smart Home и Smart Health Care технологиите. Нарастващият брой възрастни хора и необходимостта от непрекъснато наблюдение на пациенти в домашна среда водят до засилен интерес към разработването на енергийно ефективни и надеждни сензорни системи [1]. Основна цел на тези системи е осигуряването на безопасност и автономност на потребителите чрез наблюдение на

човешката активност, физиологичен мониторинг, откриване на рискови ситуации и автоматично известяване при възникване на инциденти.

Традиционните видеосистеми предоставят висока точност и голямо количество информация, но използването им в жилищна среда поражда сериозни проблеми, свързани със защитата на личните данни и неприкосновеността на личното пространство [2]. Поради тази причина през последното десетилетие все по-голямо внимание се обръща на инфрачервените матрични сензори



с ниска разделителна способност, които представляват ефективна алтернатива на стандартните видеокамери.

Инфрачервените матрични сензори регистрират топлинното излъчване на обектите и генерират температурна карта на наблюдаваната сцена, без да създават детайлно визуално изображение. Това позволява разпознаване на човешките присъствие, движение и активност при запазване на поверителността на наблюдаваните лица. Допълнително предимство на този тип сензори е възможността им за работа при пълна тъмнина, както и ниска консумация на енергия, което ги прави подходящи за интегриране във вградени и IoT системи [3], както и за мониторинг на дишането по време на сън през цялото денонощие.

Домашният респираторен мониторинг е критичен при грижата за възрастни хора, но използването на носими устройства за тази цел е непрактично поради дискомфорт и нужда от регулярно зареждане. Инфрачервената термография предлага безконтактна алтернатива, измерваща дишането чрез температурните промени на въздушния поток под носа на човека, в резултат от охлаждането на въздуха при вдишване и затоплянето при издишване [4, 5].

В редица научни изследвания инфрачервените матрични сензори се използват за изброените приложения [6]. Анализът на публикуваните резултати показва, че чрез използване на подходящи методи за обработка на данните и алгоритми за класификация може да се постигне висока точност при различни сценарии на мониторинг. Особено добри резултати се наблюдават при използване на сензори с по-висока пространствена резолюция, които предоставят по-детайлна температурна информация и позволяват по-добро разграничаване на човешките контури.

Независимо от големия брой публикации в областта, повечето изследвания са

фокусирани основно върху алгоритмите за обработка и класификация на данните, докато практическата реализация и настройка на хардуерните платформи остава недостатъчно подробно разгледана. Ограничено внимание се отделя на инсталацията и конфигурирането на специализирания софтуер, настройката на комуникацията между сензора и компютърната система, както и на обработката и визуализацията на измерените температурни данни.

Настоящата статия е насочена към реализацията на система за домашен мониторинг, базирана на развойната платформа Melexis EVB90640-41 и инфрачервените матрични сензори MLX90640 и MLX90641 с ъгъл на зрителното поле от 55°x35°. Представени са: хардуерната конфигурация, инсталирането и настройката на драйвери и специализиран софтуер, обработката на измерените температурни данни. Направен е сравнителен анализ между двата типа сензори при еднакви експериментални условия, за да се анализира и оцени влиянието на резолюцията върху качеството на получените термоизображения за целите на домашния мониторинг.

Детайлно е обърнато внимание на визуализацията и обработката на получените температурни матрици. При проведените експерименти е установено, че използваният специализиран софтуер позволява извличане на данните във формат .CSV, съдържащ температурните стойности на отделните пиксели. За последващ анализ и сравнение между резултатите от двата сензора е използван MATLAB скрипт, чрез който температурните матрици се преобразуват в термични изображения с унифициран мащаб и цетова палитра.

От представените в графичен вид резултати при мониторинг на дишането чрез допълнителен скрипт се извличат данни за дихателния ритъм.



## НАСТРОЙКА И РАБОТА С РАЗВОЙНА ПЛАТФОРМА MELEXIS EVB90640-41

MELEXIS EVB90640-41 е развойна платформа, предназначена за работа с инфрачервените матрични сензори модели MLX90640 и MLX90641. Платформата позволява директна връзка между IR сензора и персонален компютър без необходимост от разработване на допълнителна хардуерна схема.

Използването на EVB90640-41 значително съкращава времето за изграждане на експериментална система и позволява бързо преминаване към реални тестове и обработка на температурни данни. Това е особено важно при научни изследвания, свързани с разпознаване на човешка активност, тъй като позволява фокусиране върху анализа на данните вместо върху разработката на нов хардуер и комуникационни интерфейси.

Представеният модул осигурява USB комуникация с персонален компютър, I2C интерфейс към IR сензора и стабилизирано храняване на термо-сензора. Чрез специализирания софтуер могат да се настройват параметри като честота на кадрите, режим на работа и визуализация на термична информация. Освен това платформата позволява запис на измерените температурни стойности за последващ анализ и обработка.

В проведените експерименти двата сензора са използвани последователно при идентична конфигурация на системата, което позволява да се оцени влиянието на резолюцията върху качеството на полученото термо-изображение.

При провеждане на експерименталните изследвания съществено значение има правилното позициониране на сензора. Използвани са различни варианти за разположение – таванен монтаж и странично позициониране. Установено е, че монтажът на тавана позволява по-добро проследяване на движение и по-стабилно разпознаване на човешки силуети, докато страничното

разположение осигурява по-добра визуализация на отделните движения и промени в позата.

При снемане на дихателна честота сензорите се позиционират фронтално спрямо обекта на дистанция от 0.1м до 0.5м. Тъй като фокусното разстояние и зрителното поле (FoV) на лещите са оптимизирани за приемане на топлинно излъчване, сензорите се настройват така, че лицето на наблюдавания човек да заема централна част на топлинния кадър. Ограничение на приложимостта се наблюдава при липса на пряка видимост към лицето на човек, защото инфрачервеното излъчване не може да преминава през завивка или плътни предмети [7]. Ако човекът закрие изцяло главата си, сигналът се губи, което налага алгоритмите да превключат на изчакване, вместо веднага да генерират сигнал за опасност.

Съществено влияние върху качеството на измерванията оказват и външните топлинни източници. При наличие на отоплителни уреди, директно слънчево осветяване или силни температурни разлики в помещението се наблюдават допълнителни термални смущения, които могат да повлияят върху стабилността на измерванията. Поради тази причина по време на експериментите е осигурена относително стабилна околна температура и минимално влияние на външни топлинни фактори.

За работа с платформата е използван софтуерът Melexis Thermal Camera GUI. След свързване на EVB90640-41 чрез USB операционната система разпознава виртуален COM порт, чрез който се осъществява комуникацията между сензора и компютъра. След избор на съответния COM порт и тип сензор се активира потокът от температурни данни и се визуализира термичното изображение в реално време.

По време на експериментите е установено, че софтуерът позволява надеждна визуализация и запис на температурните измервания, но при експортиране на данните



се генерират .CSV файлове, съдържащи единствено температурните стойности на отделните пиксели. Поради тази причина за последваща обработка и сравнение на изображенията от двата сензора е необходимо използването на допълнителен MATLAB скрипт, който преобразува температурните матрици в термични изображения.

Този подход позволява генериране на стандартизирани изображения с еднакъв мащаб и цвetoва палитра, което е особено важно при директното сравнение на изображенията между MLX90640 и MLX90641. Допълнително, обработката на данните посредством MATLAB позволява анализ на отделни пикселни области, сравнение на температурните стойности и оценка на влиянието на резолюцията върху качеството на изображението.

#### ХАРДУЕРНА И СОФТУЕРНА НАСТРОЙКА НА EVB90640-41

За провеждане на експерименталните изследвания са използвани: EVB90640-41 развоен модул; сензори тип MLX90640 и MLX90641 със зрително поле от 55°x35°; персонален компютър и специализиран софтуер Melexis Thermal Camera GUI.

След свързване към компютъра, модула се разпознава като виртуален COM порт, чрез който се осъществява комуникацията със специализирания софтуер. Посредством Melexis приложението се извършва настройка на честотата на кадрите и визуализация на термичните изображения в реално време.

При настройката на MLX90640 е използван режим „Chess mode“, който осигурява по-стабилна температурна картина и по-ниско ниво на шум. След проведените изследвания беше установено, че сензорът предоставя значително по-детайлни термични изображения и позволява по-добро разграничаване на човешките контури и движения. При нощен мониторинг на дишането в спални помещения, този сензор осигурява 4 пъти по-висока пространствена

плътност, което съответства на средно 115 измервателни пиксела в зоната на интерес (спрямо едва 29 пиксела при по-малкия модел). По-високата пространствена резолюция позволява прилагане на алгоритми за пространствена обработка и потискане на шумовите компоненти чрез анализ на съседни пикселни области, което подобрява стабилността на термичното изображение [8]. Това ефективно неутрализира случайния топлинен шум на околната среда и генерира по-гладка респираторна крива още преди филтрация.

Проведените експерименти със сензор MLX90641 са при същата експериментална конфигурация, но поради по-ниската резолюция се генерират не толкова детайлни термични изображения. От друга страна, MLX90641 генерира по-малък обем данни и позволява по-бърза обработка, което го прави подходящ за вградени системи и приложения с ограничени изчислителни ресурси.

#### СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ МЕЖДУ MLX90640 И MLX90641

За да бъдат сравнени двата сензора са проведени експерименти при еднакви условия на измерване: разстояние до наблюдавания обект, околна температура и честота на кадрите.

На база проведените изследвания е извършено и сравнение на температурните стойности в четири избрани пикселни области от двата сензора, показано в Таблица 1.

Таблица 1. Сравнение на температурни стойности при MLX90640 и MLX90641

| Пиксел | MLX90640 | MLX90641 |
|--------|----------|----------|
| P1     | 23.53 °C | 25.43 °C |
| P2     | 23.77 °C | 25.47 °C |
| P3     | 23.77 °C | 25.63 °C |
| P4     | 23.87 °C | 26.31 °C |

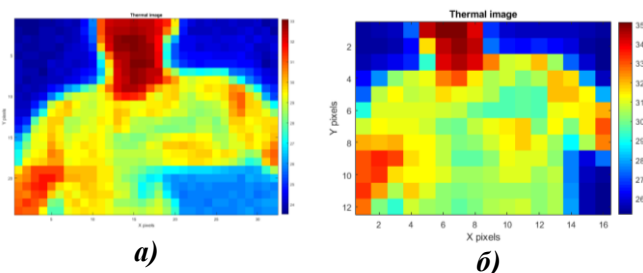
Преди представянето на сравнителните резултати е извършена обработка на

температурните матрици. Чрез разработен MATLAB скрипт температурните данни са преобразувани в термични изображения с еднакъв мащаб и цвetoва палитра, което позволява директно визуално сравнение между двата типа сензори.

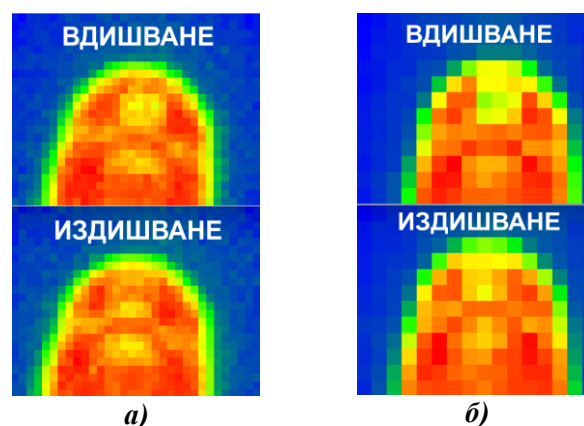
От проведените експерименти е видно, че поради по-високата пространствена резолюция при MLX90640 човешкият силует е визуализиран значително по-детайлно, като се разграничават по-ясно отделните части на тялото и температурните преходи между тях – Фигура 1а. Изображението съдържа повече пространствена информация и позволява по-надеждно проследяване на движения и промени в позата на наблюдавания обект. Аналогично при мониторинг на дихателната честота, по-ясно различими са зоните на носа и устата, където се регистрира промяна в температурата на въздуха при вдишване и издишване, показано на Фигура 2а. Сензорът MLX90640 би бил подходящ за нощен мониторинг за дихателни аномалии поради по-добрата си пространствена устойчивост при движения.

При MLX90641 изображението е по-опростено и с по-ниска детайлност поради по-ниската резолюция – Фигура 1б и 2б. Въпреки това сензорът позволява надеждно откриване на човешко присъствие и основни движения, като генерира значително по-малък обем данни и осигурява по-бърза обработка. От получените резултати, от нашите първоначални изследвания установихме, че MLX90641 е подходящ и за дневен дихателен мониторинг при статична поза. Например, седнало положение при почивка или при гледане на телевизор. Въпреки че необработеното изображение от тази сензорна матрица (16x12) е по-грубо поради ограничения брой пиксели (Фигура 2б), след прилагането на цифрово филтриране успешно се извлича сигнала на дихателната честота. Следователно, MLX90641 е подходящ за интеграция в бюджетни, компактни smart уреди в дневни условия,

които да алармират при внезапно влошаване на дишането на наблюдавания човек.



Фигура 1. Сравнение на термични изображения, получени от а) MLX90640 и б) MLX90641



Фигура 2. Сравнение на термични изображения, получени от а) MLX90640 и б) MLX90641

Получените резултати показват, че MLX90640 е по-подходящ за приложения, изискващи по-висока точност и по-детайлна визуализация на човешка активност, докато MLX90641 е по-подходящ за вградени системи и приложения с ограничени изчислителни ресурси, при които основен приоритет са ниската консумация и бързата обработка на данните.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата статия е представено изследване на инфрачервените матрични сензори от тип MLX90640 и MLX90641 чрез използване на развойната платформа Melexis EVB90640-41. Разгледани са настройката на хардуерната и софтуерната среда, обработката на температурните данни и сравнението между двата типа сензори.



Проведените експерименти показват, че MLX90640 предоставя по-детайлни термични изображения и позволява по-добро разпознаване на човешка активност, докато MLX90641 осигурява по-бърза обработка и по-ниско натоварване при системите с ограничени изчислителни ресурси.

В допълнение е установено, че експортирането на температурните данни във формат .CSV изисква последваща обработка чрез MATLAB скрипт за генериране и сравнение на термичните изображения.

Получените резултати показват, че инфрачервените матрични сензори с ниска разделителна способност представляват едно бюджетно, достъпно и ефективно решение за изграждане на системи за интелигентен мониторинг и разпознаване на човешка активност при запазване на личното пространство на потребителите. Наред с това, те са приложими за безконтактно снемане на сигнал за дихателната честота и респираторна диагностика в системите за Smart Home.

### Благодарности

*Това изследване е финансирано от Европейския фонд за регионално развитие в рамките на Програма „Научни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., Проект № BG16RFPR002-1.014-0005 Център за компетентност,, "Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“*

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] L. De Silva, C. Morikawa, and I. M. Petra, “State of the art of smart homes,” Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 25, no. 7, pp. 1313–1321, 2012.
- [2] J. R. Padilla-López, A. A. Chaaraoui, F. Gu, and F. Flórez-Revuelta, “Visual privacy by context: Proposal and evaluation of a level-based visualisation scheme,” Sensors, vol. 15, no. 6, pp. 12959–12982, 2015.
- [3] K. A. Muthukumar, M. Bouazizi, and T. Ohtsuki, “A novel hybrid deep learning model for activity detection using wide-angle low-resolution infrared array sensor,” IEEE Access, vol. 9, pp. 112442–112458, 2021.
- [4] Analia, Riska, Anne Forster, Sheng-Quan Xie, and Zhiqiang Zhang. 2026. "Adaptive Thermal Imaging Signal Analysis for Real-Time Non-Invasive Respiratory Rate Monitoring" Sensors 26, no. 1: 278. <https://doi.org/10.3390/s26010278>
- [5] Mozafari, Mohsen, Andrew J. Law, Rafik A. Goubran, and James R. Green. 2024. "Respiratory Rate Estimation from Thermal Video Data Using Spatio-Temporal Deep Learning" Sensors 24, no. 19: 6386. <https://doi.org/10.3390/s24196386>
- [6] M. Bouazizi and T. Ohtsuki, “An infrared array sensor-based method for localizing and counting people for health care and monitoring,” Proc. IEEE EMBC, Montreal, Canada, 2020, pp. 4151–4155.
- [7] Alves, Raquel, Fokke van Meulen, Sebastiaan Overeem, Hennie Janssen, Pauline van Hirtum, Svitlana Zinger, and Sander Stuijk. 2025. "Thermal Cameras for Overnight Measuring of Respiration in a Clinical Setting" Sensors 25, no. 19: 5956. <https://doi.org/10.3390/s25195956>
- [8] N. Gu, B. Yang, and T. Zhang, “Dynamic fuzzy background removal for indoor human target perception based on thermopile array sensor,” IEEE Sensors Journal, vol. 20, no. 1, pp. 67–76, 2019.