



МЕЖДУНАРОДНА НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ „МЕХАТРОНИКА, ЕКО И ЕНЕРГОСПЕСТЯВАЩИ СИСТЕМИ И ТЕХНОЛОГИИ“ - ГАБРОВО'2025

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ИНФРАЧЕРВЕНИ МАТРИЧНИ СЕНЗОРИ С НИСКА РАЗДЕЛИТЕЛНА СПОСОБНОСТ ЗА РАЗПОЗНАВАНЕ НА ЧОВЕШКА ДЕЙНОСТ В ПОМЕЩЕНИЯ

APPLICATIONS OF LOW-RESOLUTION IR ARRAY SENSORS FOR INDOOR HUMAN ACTIVITY DETECTION AND RECOGNITION

Galidiya Petrova, Hristo Radev, Dimitar Yankov, Georgi Bodurov

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

Abstract

The present paper provides a review on applications of Low-resolution IR array sensors in Smart Health Care and monitoring systems. The review is focused on two main scenarios: indoor people detecting and localizing; indoor human activity detection and recognition. A comparative analysis of the reported results in the latest research studies has been carried out in terms of the type and position of the low-resolution IR array sensors used, the employed methods and image processing techniques and the achieved accuracy. The analysis shows that for human activity recognition applications, the IR array sensors with 24×32 pixels or multiple sensors arrangements with 4×16 , 16×16 and 24×32 pixels can provide sufficient accuracy and still preserving user privacy.

Keywords: Low-resolution IR array sensors; indoor people detecting and localizing; human activity detection and recognition.

ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременните концепции за развитие на Smart City основни направления са Smart Health Care, Smart Home, Smart Grid, Smart Cars и т.н., с принадлежащите им сензори и сензорни мрежи, мрежи за предаване на данни, както и технологии за обработка и съхраняване на големи обеми от данни. Две от основните области на развитие в интелигентните домове, са енергийно ефективни домове и асистиране (подпомагане) на възрастни хора, които са пряко свързани с направленията Smart Health Care и Smart Grid на интелигентните градове [1]. При тях акцента се поставя върху изграждането на интелигентни мониториращи системи (Smart monitoring systems) с адаптирани сензорни системи за домашно приложение и интегрирането им към съответните под-системи на Smart

City. Първите изследвания в областта на интелигентни домове започват в началото на 21 век. С нарастване броя на възрастното население в Европа, все по-актуални стават системите за наблюдение на високорискови пациенти и подпомагане на възрастните хора в домашни условия и при управлението на превозни средства. При проектирането на интелигентните системи за наблюдение на високорискови пациенти и подпомагане на възрастни хора се прилага предимно четрислойната архитектура, като в сензорния слой се използват следните групи сензори:

- Проследяване на здравия статус на обитателите посредством биомедицински сензори (физиологични параметри – честота на сърдечния ритъм, кръвно налягане, кръвна захар, дихателна честота и кислородно насищане).



- Състояние на околната среда (температура, влажност, запрашеност на въздуха, осветеност).
- Състояние на обекти в дома (отворени/затворени врати, включено/изключено осветление, движение/покой/активност/ на обитателя).

Освен различни сензорни технологии се използват и различни комуникационни среди за свързване на сензорите в сензорни мрежи в интелигентните домове.

ИНФРАЧЕРВЕНИ МАТРИЧНИ (IR) СЕНЗОРИ С НИСКА РАЗДЕЛИТЕЛНА СПОСОБНОСТ

Видеокамерите позволяват събирането на визуална информация, което е най-прекият и естествен начин за описание на човек, обект, действия и взаимодействия. Видеокамерите позволяват получаването на огромно количество данни за околната среда по ненаатрапчив и лесен начин. Използването на тези устройства в частни пространства обаче, поражда етични опасения, свързани с поверителността и неприкосновеността на личния живот на техните обитатели. В този смисъл доверието, поверителността и неприкосновеността на личния живот трябва да бъдат заложени като основни изисквания при проектирането и разработването на видео-базирани решения за домашни грижи [2].

Интелигентният мониторинг позволява предоставянето на услуги за откриване на рискове и подкрепа, които увеличават автономността на хората у дома. Обект на наблюдение са навиците и здравето на потребителя, за да се открият евентуални аномалии. Тези аномалии често са от решаващо значение за ранната диагностика на редица заболявания свързани с когнитивни нарушения [3].

Проблемите с поверителността на широко използваните в мониториращите системи видеокамери са преодолими чрез

използването на инфрачервени матрични сензори [4]. Тези сензори са неинвазивни и по-удобни за използване в закрити помещения. IR сензорите измерват топлината, генерирана от човешкото тяло или други обекти, и я визуализират върху IR матрица с ниска резолюция. IR матричните сензори с ниска резолюция обикновено съдържат 8×8 , 4×16 , 16×16 или 24×32 пиксела. Ниската цена прави тези сензори привлекателни и достъпни за внедряване в много приложения. През последното десетилетие IR сензорите с ниска резолюция, провокират изследователския интерес към няколко сценария за мониторинг в дома [4]. Техните основни предимства са: неинвазивни от гледна точка на поверителността; не могат да правят разлика между отделни лица, като по този начин допълнително запазват поверителността; нечувствителност към нивото на околното осветление и промените; възможност за работа в пълен мрак; по-добро покритие, поради широкото зрително поле (FOV), което води до по-широка зона на откриване; бързо време за реакция; лесна обработка на изображенията, и лесно позициониране.

Изследванията, свързани с приложението на IR матричните сензори за домашно наблюдение са фокусирани върху: 1. Мониторинг на присъствието на хора в помещения/сгради; 2. Откриване на неподвижно положение или проследяване на движещи се хора в помещение или сграда; 3. Откриване на падания и откриване на възможни аварийни ситуации; 4. Откриване на човешка активност и/или необичайна активност при възрастни хора в тоалетни, бани, съблекални и др.

В тази статия представяме преглед на изследвания и съвременни приложения на инфрачервените матрични сензори с ниска разделителна способност в системите за домашен мониторинг, анализирайки



използваните сензори, методи и техники за обработка на изображенията и постигнатата точност при откриване и локализиране на хора, както и откриване и разпознаване на човешки дейности в помещенията. Останалата част от статията е очертана, както следва: В секция 3 са представени модалностите на сензорите, методите, техниките за обработка и подходите за машинно обучение за откриване и локализиране на хора в помещения. Изследването върху откриването и разпознаването на човешка дейност е представено в секция 4. Заключение и насоките за бъдещите изследвания са представени в края на статията.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА IR МАТРИЧНИ СЕНЗОРИ ЗА ОТКРИВАНЕ И ЛОКАЛИЗИРАНЕ НА ХОРА

При направеното проучване са намерени редица публикации, които предлагат различни комбинации от методи за отчитане, техники за обработка и подходи за машинно обучение за откриване и локализиране на хора в помещения или сгради, използвайки евтини IR матрични сензори с ниска разделителна способност. Basu и Rowe [5] са разработили метод за оценка на посоката на движение на човек, използвайки алгоритъм с машина за опорни вектори. Trofimova и съавтори [6] използват техника за премахване на шум, базирана на Калман филтъра, за откриване на човешко присъствие в затворена среда. Те съобщават за подобрена точност до 97% при откриване на хора. Mohammadmoradi и съавтори [7], използвайки IR матричен сензор с ниска резолюция и прагово базирана техника, комбинирана с филтриране на температурата, за да оценят потока от хора минаващи през врата, съобщават за постигната средна точност от 93%. В [8]

Qi и съавтори предлагат система за локализация и проследяване на хора на закрито, реализирана с IR сензорна матрица, разположена хоризонтално с височина 3,5 м и с Калман филтър. Авторите съобщават, че проектираната адаптивна прагова техника за запазване на хората и премахване на фона работи добре за много хора на закрито. Savazzi и съавтори [9] предлагат Bayesian framework за разпознаване и дискриминиране на движенията на тялото, базирана на анализ на термични сигнатури в реално време. Предложеният подход използва статистически модел за извличане на индуцирани от тялото термични сигнатури и модел на мобилност за проследяване на движенията на много тела в затворено пространство.

В [10] Singh и Aksanli представят рамка за точно и дискретно откриване на броя на хората в дадена среда и проследяване на техните позиции. Те демонстрират, че внимателният подбор на алгоритъм може да осигури до 100% точност при откриване на присъствието на потребителя. Освен това съобщават, че фиксирането на сензора на тавана на помещението дава най-добри резултати. Те разглеждат проследяването на позицията като статично откриване на активност, при която позицията на потребителя не се променя по време на дейности като седене, стоене и др. Чрез използване на предварителна обработка на данните, включително нормализиране и преоразмеряване, и методи за машинно обучение, четири статични активности се откриват успешно с точност до 97,5%.

Maaspuro [11] изследва приложение на IR матричен сензор като брояч на хора минаващи през врата, използвайки алгоритъм за проследяване с Калман филтър. Doherty и съавтори [12], въвеждат нова система за локализация на закрито, като комбинират 8×8 IR матричен сензор и методи за машинно обучение (логистична



регресия, K-най-близки съседи, машина с поддържащи вектори и невронна мрежа) за събиране и анализ на данни за присъствие на хора в тоалетна. Те съобщават за впечатляваща постигната точност между 98%–99%.

В [13] Bouazizi и Ohtsuki предлагат подход с използване на IR матричен сензор за откриване на присъствие/отсъствие на човек в стая. С широкоъгълен сензор с резолюция (24×32) пиксела и алгоритми за дълбоко обучение, те са в състояние да открият присъствието или отсъствието на човек със 100% точност и да идентифицират присъствието на до 3 души с точност от 97%. В [14] Perra и съавтори представят подход, който открива човешко присъствие в затворена среда чрез комбиниране на изображението от IR матричен сензор с алгоритъм за разпознаване на образи, базиран на праг с пълзящо средно. Алгоритъмът успява да открие с висока точност (>95%) преминаването на хора с различна скорост на ходене, на различни разстояния от сензора и в температурни диапазони, типични за жилищна среда. Сравнителен анализ на изследвания, използващи IR матрични сензори с ниска разрешаваща способност, за откриване, локализиране и проследяване на хора в помещения, е представен в Таблица 1.

Резултатите показват, че с подходящи техники за обработка на изображенията и използване на IR матричен сензор с резолюция (8×8) пиксела, фиксиран на тавана, може да се постигне висока точност. За предпочитане е, обаче да се използват повече IR матрични сензори с по-широко зрително поле (FOV) и с резолюция (4×16) пиксела или един сензор с по-висока резолюция, от типа (24×32), за да се постигне точност близка до 100%.

ОТКРИВАНЕ НА ЧОВЕШКА ДЕЙНОСТ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА IR МАТРИЧНИ СЕНЗОРИ

Откриването на активност е една от ключовите задачи пред мониториращите системи свързана с детектирането на инциденти с възрастните хора. Целта е да се следи начинът им на живот, за да се разпознае появата на евентуални промени в ежедневните им навици. Наред с това, чрез ранно разпознаване на поведенчески аномалии могат да се открият ранни признаци на когнитивно увреждане.

Mashiyama и съавтори [15], използвайки метода на машината с опорни вектори, съобщават за постигната точност от 94,7% при откриване и разпознаване на четири човешки дейности, включително падане, с един IR матричен сензор с ниска резолюция (8×8). Karayaneva и съавтори [16] използват три (8×8) IR матрични сензора Panasonic, работещи на честота 10 кадъра в секунда, за да получат набор от изображения, който се състои от различен брой хора, извършващи няколко вида действия (стоене, седене и ходене). Те прилагат няколко различни алгоритъма за класификация директно върху набора от изображения. Представят количествени резултати за различни комбинации от сензорни данни (един сензор, два сензора и общо три сензора) и различни алгоритми за класификация (класификатор с опорни вектори, произволна гора и k-най-близък съсед). Kobayashi и съавтори [17] са предложили система за откриване на активност, използваща два (8×8) IR матрични сензора - единият монтиран на стената, а другият на тавана. За класификацията на различни дейности те използват метода на опорни вектори. Отчетената точност на класификация за всички дейности е над 90%. Комбинацията от данни от два сензора увеличава точността на детектиране на седнало положение от 78% на 93%. В [18] Тао и съавтори, използвайки IR матричен сензор (8×8), монтиран на тавана, са предложили подход за разпознаване на 7 основни



човешки ежедневни дейности, базиран на дискретна косинусна трансформация за извличане на характеристики. Те докладват точност на разпознаване на 7 ежедневни дейности от 87,5%, с чувствителност на откриване на падане от 100% и специфичност от 99%. Gu и съавтори [19], използвайки (24×32) пиксела IR матричен сензор, са предложили динамична техника за премахване на размит пространствено-времеви фон, за да разпознават човешка активност. Те целят първо да премахнат топлинните смущения на фона на инфрачервеното изображение на сензора, тъй като той е сложен и динамично променящ се, а след това да приложат методи за разпознаване на човешки дейности. В [4] Muthukumar и съавтори са предложили техника, базирана на дълбоко обучение, за откриване на активност, използваща два широкоъгълни IR сензора (24×32) пиксела, единият от които е поставен на стената, а другият на тавана. Те класифицират различни дейности, включително „ходене“, „стоене“, „седене“, „лежане“, „падане“ и прехода между дейностите, наречен „промяна на действието“. Точността на тяхната класификация, комбинираща данните от двата сензора, достига 97%.

Сравнителен анализ на изследванията, използващи инфрачервени матрични сензори с ниска резолюция за откриване на човешки дейности в помещения, е представено в Таблица 2. При този сценарий по-добри резултати се постигат чрез използване на 2 или 3 IR матрични сензора с подходящо разположение в стаята.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статията представя преглед на приложенията на инфрачервени матрични сензори с ниска резолюция в системи за мониторинг в дома и е фокусирана върху

два основни сценария: откриване, локализиране и броене на хора в помещения; откриване и разпознаване на човешка активност. За всички сценарии е постижима висока точност (над 95%). Анализът на резултатите от изследванията показва, че използването на няколко IR сензори с ниска резолюция повишава точността, като същевременно се запазва поверителността на потребителя. Когато е необходимо наблюдение в по-широка зона в дома, IR сензори могат да се разположат в решетката на тавана или да се поставят отделно на входа на помещенията или на места определени като критични или потенциално опасни в жилището. Такива са помещения с топлинни източници, например спалнята, ако има поставена отоплителна печка, радиатор, духалка; за детекция на запалена цигара и забравена (или паднала) в леглото и около леглото, което е типична критична ситуация при пушачи; за детектиране на падане в тоалетни, бани, съблекални, където изискването за запазване на поверителност и ненавлизане в личното пространство е водещо; на преходните места – вход на баня/тоалетна, вход на спалнята или входната врата на жилището. Типични примери за опасни ситуации са: забравен включен котлон със/без съд върху него; забравено спиране на водата в кухня/баня.

Бъдещите изследвания са насочени към: Анализ и провеждане на изследвания за определяне на оптималното разположение и необходимата резолюция на всеки от използваните IR матрични сензори за детектиране на критични и опасни ситуации; Създаване на база данни в Sensor Cloud с реални изображения от инфрачервените матрични сензори; Разработване и изследване на алгоритми за разпознаване, детектиране и категоризиране на опасните ситуации в дома, на база текущо сравняване на сканираните изображения.



Благодарности

Това изследване е финансирано от Европейския фонд за регионално развитие в рамките на ОП „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, Ch. Morikawa, I. M. Petra, “State of the art of smart homes,” Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 25, 7, 2012, pp. 1313-1321, ISSN 0952-1976, <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2012.05.002>
- [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 2015, 15, 12959-12982; doi:10.3390/s150612959.
- [3] F. Benetazzo et al., “AAL technologies for independent life of elderly people,” Biosystems & Biorobotics, 2015, vol.11, pp. 329-343.
- [4] 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,” May 2021 IEEE Access PP(99):1-1, DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3084926.
- [5] C. Basu, A. Rowe, “Tracking motion and proxemics using thermal-sensor array,” arXiv 2015, Available online: abs/1511.08166
- [6] A. A. Trofimova, A. Masciadri, F. Veronese, F. Salice, “Indoor human detection based on thermal array sensor data and adaptive background estimation,” J. Comput. Commun. 2017, 5, pp.16–28.
- [7] H. Mohammadmoradi, S. Munir, O. Gnawali, C. Shelton, “Measuring people-flow through doorways using easy-to-install IR array sensors,” In Proceedings of the 2017 13th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), Ottawa, ON, Canada, 2017; pp. 35–43.
- [8] D. Qu, B. Yang, N. Gu, “Indoor multiple human targets localization and tracking using thermopile sensor,” Infrared Phys. Technol., 2019, 97, pp. 349–359.
- [9] S. Savazzi, V. Rampa, S. Kianoush, A. Minora, L. Costa, “Occupancy pattern recognition with infrared array sensors: A Bayesian approach to multi-body tracking,” ICASSP 2019 - IEEE Int. Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, DOI: 10.1109/ICASSP.2019.8682214
- [10] S. Singh and B. Aksanli, “Non-intrusive presence detection and position tracking for multiple people using low-resolution thermal sensors,” J. Sens. Actuator Netw. 2019, 8, 40; doi:10.3390/jsan8030040
- [11] M. Maaspuro, “A low-resolution IR-array as a doorway occupancy counter in a smart building,” Int. J. Online Biomed. Eng. (iJOE), 2020, 16, doi:10.3991/ijoe.v16i06.13915
- [12] B. Doherty et al., “The shakedown: Developing an indoor-localization system for quantifying toilet usage in offices,” Archit. Sci. Rev. 2020, 63, pp. 325–338.
- [13] M. Bouazizi and T. Ohtsuki, “An infrared array sensor-based method for localizing and counting people for health care and monitoring,” 42nd Annual Int. Conf. of the IEEE Eng. in Medicine and Biology Soc., Montreal, QC, Canada, 2020, pp. 4151-4155.
- [14] Cr. Perra, et al., “Monitoring indoor people presence in buildings using low-cost infrared sensor array in doorways,” Sensors 2021, 21, 4062. <https://doi.org/10.3390/s21124062>.
- [15] S. Mashiyama, J. Hong, and T. Ohtsuki, “Activity recognition using low resolution infrared array sensor,” in Proc. IEEE Int. Conf. on Communications, June 2015, pp. 495–500.
- [16] Y. Karayaneva, S. Baker, B. Tan, and Y. Jing, “Use of low-resolution infrared pixel array for passive human motion movement and recognition,” Proceedings of British HCI 2018, <http://dx.doi.org/10.14236/ewic/HCI2018.143>
- [17] K. Kobayashi, T. Ohtsuki, K. Toyoda, “Human activity recognition by infrared sensor arrays considering positional relation between user and sensors,” in Proc. Smart City based on the Ambient Intelligence, 2018.
- [18] L. Tao, et al., “Home activity monitoring using low resolution infrared sensor array,” arXiv18, 2018.



- [19] N. Gu, B. Yang, T. Zhang, “Dynamic fuzzy background removal for indoor human target perception based on thermopile array sensor,” IEEE Sens. J., 2019, 20, pp. 67–76.

ТАБЛИЦА 1. Изследвания, използващи IR матрични сензори с ниска разделителна способност, за откриване и локализиране на хора в помещения

Изследване, година	Резолуция на IR сензор	Методи и техники за обработка на изображенията	Постигната точност	Приложение за
Basu and Rowe, [5], 2015	8×8	a support vector machine algorithm	80%	Проследяване (на посоката) на движение на човек
Trofimova et al., [6], 2017	8×8	noise removal technique based on Kalman filter	Up to 95%	Детектиране на хора
Mohammadmoradi et al., [7], 2017	8×8	a threshold-based technique (Otsu's binarization) and temperature filtering technique	93%	Брояч на хора в помещение или човекопоток през врата
Qu et al., [8], 2019	8×8	adaptive threshold technique and Kalman filter	-	Локализиране и проследяване на хора
Savazzi et al., [9], 2019	8×8 на тавана	Bayesian filtering combined with adaptive background subtraction	97%	проследяване на хора
Singh and Aksanli [10], 2019	3 sensors 4×16	window size algorithm and connected component algorithm	100 %	Детектиране на броя на хората в помещение и проследяване на техните позиции
Maaspuro, [11], 2020	8×8	Kalman filter tracking algorithm	89% - 92%	Брояч на човекопоток
Doherty et al., [12], 2020	8×8	logistic regression, K-Nearest neighbours, support vector machine, and a feedforward neural network	98% - 99%	Присъствие на човек в помещение
Bouazizi and Ohtsuki, [13], 2020	24×32	Deep learning algorithms	97% -100%	Човешко присъствие/отсъствие в помещение
Perra et al. [14], 2021	8×8	Pattern recognition algorithm based on moving average threshold	> 95%	Брояч на хора в помещение или човекопоток през врата

ТАБЛИЦА 2. Изследвания, използващи IR матрични сензори с ниска разделителна способност, за откриване на човешки дейности в помещения

Изследване, година	Резолуция на IR сензор	Методи и техники за обработка на изображенията	Постигната точност	Приложение за
Mashiyama et al., [15], 2015	8×8	support vector machine	94.7% с изключение на сядане (78%)	откриване на човешка дейност (спиране, ходене, сядане, падане)
Karayaneva et al. [16], 2018	1, 2, 3 сензора 8×8	different classification algorithms (support vector classifier, random for-est and k-nearest-neighbor)	82%-100%	откриване и разпознаване на човешка дейност (стоене, сядане и ходене)
Kobayashi et al., [17], 2018	8×8	support vector machine	> 90%	откриване на човешка дейност (спиране, ходене, сядане, падане)
Singh and Aksanli [10], 2019	2 сензора 4×16 свързани с 8×16	noise removal, background subtraction, extracting multiple regions of interest (RoI), separating each RoI, resizing each RoI, five machine learning algorithms	до 97.5%	проследяване на позицията и откриване на статични дейности (стоене, седене на стол, седене на земята и лежане на земята); на броя на хората в околната среда
Tao et al., [18], 2018	8×8	discrete cosine transform for temporal and spatial feature extraction	87.50% за 1 сензор > 93% за 3 сензора	разпознаване на ежедневните човешки дейности (падане, седене неподвижно, преход от седнало в изправено положение, стоене неподвижно, преход от стоене в седнало положение, ходене отляво надясно, ходене отляво наляво)
Gu et al., [19], 2019	24×32	remove non-human thermal disturbances in the background	-	разпознаване на човешката активност



Съфинансирано от
Европейския съюз

Изпълнителна агенция
„Програма за образование“



ПРОГРАМА
НАУЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ,
ИНОВАЦИИ И ДИГИТАЛИЗАЦИЯ ЗА
ИНТЕЛИГЕНТНА ТРАНСФОРМАЦИЯ

Muthukumar et al., [4], 2021	2 сензора 24 × 32	hybrid deep learning classification technique, Convolutional Neural Network (CNN), LSTM	97%	разпознаване на човешка активност (ходене, стоене, седене, лежане, падане)
------------------------------	----------------------	---	-----	--