

ПРИЛОЖЕНИЯ НА ТЕРМОВИЗИОННИТЕ КАМЕРИ
Иван Маслинков, Евгени Петров и Стоянка Маджарова
Университет по хранителни технологии – Пловдив

APPLICATIONS OF THE INFRARED CAMERAS
Ivan Maslinkov, Evgeni Petrov and Stoyanka Madzharova
University of Food Technologies – Plovdiv

Abstract: This paper is an overview. Various applications of infrared cameras (thermography measurements, IR-technologies) are described and analyzed briefly. Special attention is paid to their use in the food and biotechnology industry. There are identification and some prospects for future development.

Key words: *infrared camera, thermography measurement, overview.*

УВОД

В 21-ви век нашият свят е изправен пред редица сериозни предизвикателства като: усилено покачване на човешката популация (в по-слабо развитите държави); демографски проблеми (в напредналите индустриални страни); неефективно потребление на все по-оскъдните и съответно по-скъпи природни ресурси (особено от страна на бързо развиващите се страни като Китай, Индия и Бразилия); климатични проблеми; финансово-икономически кризи; война в Близкия изток и пр. Важен елемент от намирането на изход от тези проблеми е постигането на т.нар. устойчив растеж, т.е. днешните поколения да не лишават бъдещите от ресурси, били те финансови или природни. Реализацията на това съдбоносно и стратегическо решение е свързано с науката, технологиите, икономиката, образованието и др. Чрез нарочни директиви, рамкови програми, стандарти и пр. [17, 48] в Европейския съюз се насърчават технологии, водещи към устойчиво развитие, например към постигане на по-висока енергийна ефективност, намаляването на въглеродните емисии и др.

ЦЕЛ И АКТУАЛНОСТ

В годината на светлината и светлинно базираните технологии (решение на ООН – IYL 2015), настоящият обзор е посветен на приложението на една актуална технология, тясно свързана с енергийната ефективност – *термовизията* (термографията или IR-технологията). От възникването си до днес, термовизионните камери са се превърнали в широко разпространен инструмент за диагностика на енергийни загуби и течове в сгради и съоръжения, за инспекции, профилактика и коригиращи дейности в редица индустрии, за окачествяване на суровини и продукти в хранително-вкусовата промишленост, за дейности свързани със здравето и безопасността на хората и заобикалящата ни среда и пр.

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП НА ДЕЙСТВИЕ

На фиг. 1 [31, 32] е показано устройството на термовизионна камера. Обектът (А) излъчва светлина в инфрачервения спектър. Оптика (В) фокусира и евентуално филтрира инфрачервените лъчи, които попадат върху сензор (С), който ги преобразува в електрически



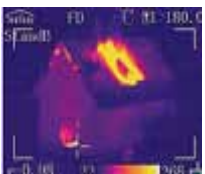
ПРИЛОЖЕНИЯ НА ТЕРМОВИЗИОННИТЕ КАМЕРИ

Приложенията в сферата на сигурността са свързани първоначално с военните - нощно виждане, виждане през прегради, а понастоящем – с охрана на летища, гари и др. На фиг. 2 се вижда човек с повишена температура на охранявано с термовизионна камера обществено място [20, 28, 40].

Пожароизвестилни уредби и спасителни операции. Най-ценното тук е диагностиката (фиг. 3) на комини и коминни тела, на камини, пещи и др. и евентуалното предотвратяване на пожар в тях. Друго ценно приложение на термовизионните камери при пожар е откриването на хора за по-бързото им спасяване. Освен виждане нощем, на тъмно и през прегради, инфрачервените лъчи по-лесно минават през дим, пушек, прах [20, 27, 46] и др.



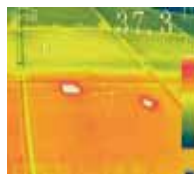
Фиг. 2 [20]



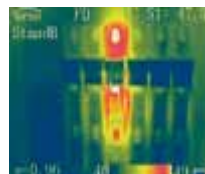
Фиг. 3 [20]



Фиг. 4 [20]



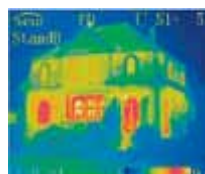
Фиг. 5 [20]



Фиг. 6 [20]



Фиг. 7 [20]



Фиг. 8 [20]

Приложенията в енергетиката [19, 32] са свързани с дистанционна проверка в електроцентрали, трафопостове и др., както и с безконтактна проверка на панелите на фотоволтаични системи, на инверторите и др. Неправилната работа на тези съоръжения, на части от тях, на свързващи и управляващи елементи и пр. води до повишаване на температурата им, което лесно се диагностицира (вижда, регистрира) с термовизионна камера. На фиг. 5 е показан фотоволтаичен панел, който има неправилно работещи или дефектирали елементи. Също така се вижда, че целият панел е по-топъл от съседните [20].

Термография на промишлени електросъоръжения, електрически системи и инсталации, електронни устройства, платки, компоненти и др. Както вече беше казано по-горе, неправилната работа на всяко електросъоръжение, на част от него, на свързващи и (или) управляващи елементи и пр. много често води до повишаване на температурата му, което лесно се диагностицира (вижда, регистрира) с термовизионна камера [1, 31, 35 ÷ 37]. За да се приложи на практика разглежданата тук технология е важно кое е по-ценно - термовизионната камера или обектът, за който тя се използва, както и да се докаже съответната ефективност [17]. На фиг. 6 са показани „лоши” връзки в индустриално електрическо табло [20].

Контрол на течове и енергийни загуби в отоплителни, охладителни и водопроводни инсталации. Това е типично приложение на термовизионните камери в промишлеността (включително в хранително-вкусовата и биотехнологичната промишлености) [20, 22, 25]. Много производства изразходват голямо количество енергия за подготовка, пренасяне, използване и т.н. на различни течности (както и на вода). Някои от тях са нагряти, а други – охладени. На фиг. 7 е показана инспекция на тръбопроводи в индустриално предприятие.

Енергийна оценка на сгради, откриване на течове в сгради и пр. е друго типично приложение на термовизионните камери [21, 32, 57]. На фиг. 8 е показана къща, в чиято топлинна изолация има пропуски [20]. На енергийна оценка с термокамери могат да се подложат и промишлени, обществени и др. сгради, както и водопроводната, отоплителната и охлаждащата системи (ако ги има всичките или тези от тях, които са налични).

Приложения при окачествяване на суровини и продукти в хранително-вкусовата и биотехнологичната промишлености. От години Университетът по хранителни технологии – гр. Пловдив е водещ в научните изследвания и приложението на инфрачервените лъчи при окачествяването на суровини и продукти по цвят [13, 18, 41, 45, 48]. Започва се с окачествяване на зрелостта на домати [24, 52]. Най-много разработки има за окачествяване на картофи, доколкото това е зеленчукът, произвеждан в най-големи количества у нас и по света [5, 9, 13, 38, 39, 56]. Разглеждат се въпроси свързани с окачествяването на други зеленчуци и плодове, като грах, кромид, ябълки, праскови и др. [4, 7, 9, 15, 26, 39, 56], а също и кайма, яйца и други видове продукти и суровини [11, 33, 55]. Трябва изрично да се подчертае, че стандартни серийно произвеждани термовизионни камери не могат да се използват за такива цели. Обикновено обектът, който ще се окачествява се облъчва със силен сноп бяла светлина и светлинни филтри пропускат една или две информативни дължини на вълните в инфрачервената област на спектъра за усилване и преобразуване в електрически сигнал [5, 13, 15]. По-често се работи с преминалата през обекта светлина (която е по-информативна) [16, 24, 33, 39, 56] и по-рядко се използва отразената [5, 7, 11, 13]. С развитието на техниката и технологиите са изследвани различни методи на обработка на информацията с цел поточно окачествяване, както и разделяне на по-голям брой качества [2, 3, 5, 10]. Обръща се внимание и на намаляване на смущенията и изкривяванията, дължащи се на механиката, оптиката и електрониката [6, 8, 9, 14, 18].

Приложения, свързани с околната среда. От космоса или от земята термовизионната технология се използва за климатични изследвания [53]. Изследват се облаци, океански течения, ледници и пр. с цел проучване на климата, затоплянето на земята, предизвестяване на бури, урагани, наводнения и др.

Други приложения на термовизионните камери са: в транспорта за предотвратяване на катастрофи, задействане на спирачки, системи за безопасност и др. [44, 49]; при заваряването, за да се следи за качеството на заварката [30]; в аеродинамиката се следи за обтичането на телата и загряването на критични точки и повърхности [43, 50]; в археологията за разчитане през слоеве и прегради [23, 54].

Накрая, термовизионните камери трябва за подготовка на кадрите [47], които да ги конструират, изработват, усъвършенстват, използват, поддържат и пр.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Макар и бегло са разгледани редица приложения на термовизионните камери, термовизията (термографията) или IR-технологията. Дадена е богата библиография. Както при много други нови, интересни и скъпи технологии и тук първите разработки са започнали като такива за военни цели. Сигурно и сега и в бъдеще ще се работи за военните и съответно резултатите ще са секретни. Доколкото става въпрос за нова и скъпа технология, цивилните фирми и изследователи не съобщават съществени подробности за своята продукция и резултати. Бъдеще, обаче пред тези технологии, не липсва.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Андонова, А. Метод на термично обследване в електрониката чрез инфрачервена термография, Електроника и Електротехника, 2000, 47:2-9, <http://epluse.fnts.bg/Abstracts-2012-9-10.pdf>.
- [2] Бадев, Й. Синтез и усъвършенстване на невронни класификатори за плодове и зеленчуци, Автореферат на дисертация по научна специалност 02.21.08 - „Автоматизация на производството (по отрасли)“, София, 2007.
- [3] Бадев, Й., Б. Марков, Ив. Маслинов. Выбор MLP нейронных сетей для классификаторов оптических изображений сельскохозяйственных продуктов, Первая международная научно-практическая конференция актуальные проблемы качества и конкурентоспособности товаров и услуг, 22 марта 2013 г., г. Набережные Челны, Россия, 219-225.
- [4] Дамянов, Ч., А. Георгиев, Й. Бадев. Неразрушаващо оценяване качеството на лук чрез невронна мрежа. Научни трудове на ВИХВП – Пловдив, Том XLIII, свитък 3, 313-320, 1998.
- [5] Катранджиев, Н. Оптикоелектронна система за прецизно сортиране на картофи по метода „Виждане през слоеве“, Автореферат на дисертация по научна специалност 02.21.11 „Управляващи изчислителни машини и системи“, София, 2004.
- [6] Катранджиев, Н. Изследване на отражаемостта на различни материали с цел намаляване на вътрешното отражение в оптико-електронната система, Научна конференция с международно участие „Хранителна наука, техника и технологии 2007“, 19-20.10.2007.
- [7] Катранджиев Н. Прилагане на метода „виждане през слоеве“ за виртуално обелване на праскови, Сборник доклади от годишна университетска научна конференция с международно участие, 23-24.06.2011, НБУ „Васил Левски“, В. Търново, ISSN 1314-1937, Том 6, 154-159.
- [8] Катранджиев, Н. Изследване влиянието на храняващото напрежение на халогенният прожектор върху сигналите в оптикоелектронната система NQAT01LAB, сп. „Хранителна наука, техника и технологии“, ISSN 1314-3913, 2011, Том 1, 111-116.
- [9] Катранджиев, Н. Измерване пропуснатата/излъчена енергия при осветяване на ябълки и картофи, Хранителна наука, техника и технологии, ISSN 1314-3913, 2011, Том 2, 74-79.
- [10] Колев, К., Бързо преобразуване на Хартли за обработка на изображения, Научна конференция с международно участие „Хранителна наука, техника и технологии 2005“, 13-14 октомври 2005, УХТ-Пловдив, Научни трудове, Том LI, Свитък 3, 214-218.
- [11] Колев, К. Безконтактни обективни методи за компютърно окачествяване на месни заготовки, Научни трудове на УХТ-Пловдив, 2012, т. LIX, 724-729.
- [12] Костов, П., К. Атанасов, С. Калчев, Ч. Николов. Определяне на топлинните загуби в потлопровода чрез използване на термовизионна камера, Топлотехника, 2012, т.3, 3, 56-60.
- [13] Кривошиев, Г. Метод и фотометрична камера за неразрушаващо класифициране и/или сортиране на плодове и зеленчуци според вътрешното им качество независимо от качеството на кората, BG. Pat. 62304, 1998.
- [14] Маслинов И., Н. Катранджиев. Коригиране на сигналите от сканиране на падащи плодове и зеленчуци през фотометрична камера, Научна конференция с международно участие „Хранителна наука, техника и технологии 2004“, 27-29.10.2004, Научни трудове на УХТ - Пловдив, Том LI, Свитък 4, 391-396.
- [15] Мукарев, М., Ч. Дамянов. Портативен NIR-спектрометър за оценяване зрелостта на грах, Юбилейна научна конференция с международно участие - „Хранителна наука, техника и технологии - 2003“, 50 год. Университет по хранителни технологии, 15-17.10.2003, том L, свитък 4, 233-242.
- [16] Мукарев, М., Р. Чалъкова, Г. Кривошиев, В. Калинов. Определяне на качествени показатели на плодове и зеленчуци със спектроскопия в близката инфрачервена област, Научни трудове на ВИХВП - Пловдив, 1998, том XLIII, свитък 1, 291-296.
- [17] Никовски, Пл. Сравнителен анализ на методите за измерване на енергийна ефективност на асинхронни двигатели в стандарта IEC 60034-2-1, I и II части, Наука и технологии, 2015, том V, бр. 4, 79-88.
- [18] Проект № 39/04-Н, НИС при УХТ, Пловдив, Електронно устройство и алгоритъм за коригиране на сигналите от сканиране на падащи плодове и зеленчуци през фотометрична камера, 2004/05.
- [19] Силови трансформатори СрН/НН, ЕЛЕКТРОПАРАТУРА, Инженеринг ревю, 2009, бр. 4, Май.
- [20] Термовизионни камери от Testboy, Ритбул ЕООД, www.rittbul.bg.
- [21] Albatici, R., A. M. Tonelli, M. Chiogna. A comprehensive experimental approach for the validation of quantitative infrared thermography in the evaluation of building thermal transmittance, Applied Energy, 2014, 141, 218-228.
- [22] Bagavathiappan, S., B.B. Lahiri, T. Saravanan, John Philip, T. Jayakumar. Infrared thermography for condition monitoring – A review Infrared Physics & Technology, 2013, 60, 35–55.
- [23] Bodna, J. L., J. C. Candore, G. L. Nicolas, G. Szatanik, V. Detalle, J. M. Vallet. Stimulated infrared thermography applied to help restoring mural paintings, NDT&E International, 2012, 49, 40–46.
- [24] Chalucova, R., G. Krivoshev. Color changes of hothouse grown tomatoes during storage, Journal of Food Science, 1978, 43, 218-221.
- [25] Chrzanowski, K., S. N. Park. Evaluation of thermal cameras for non-destructive thermal testing applications, Infrared Physics & Technology, 2001, 42, 101–105.
- [26] Costa, G., C. Andreotti, O. Misericocchi, M. Noferini, and G. Smith, Near infra-red (NIR) methods to determine kiwifruit field harvest date and maturity parameters in cool store. Acta Hort. (ISHS), 1999, 498:231-238.
- [27] Cutler, R., L. Davis. Robust real-time periodic motion detection analysis and applications, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell, 2000, 22, 781–797.
- [28] Deans, J., J. Gerhard, L. J. Carter. Analysis of a thermal imaging method for landmine detection, using infrared heating of the sand surface, Infrared Physics & Technology, 2005, 48, 202-216.
- [29] Fernandez-Cuevas, I., J. C. B. Marins, J. A. Lastras, P. M. G. Carmona, S. P. Cano, M. A. Garcia-Concepcion, M.

- Sillero-Quintana, Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review, *Infrared Physics & Technology*, 2015, 71, 28-55.
- [30] Fidali, M., W. Jamrozik. Diagnostic method of welding process based on fused infrared and vision images, *Infrared Physics & Technology*, 2013, 61, 241–253.
- [31] FLIR®, CAЩ, Термовизионно ръководство за индустриални приложения, 2011, www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_EN.pdf.
- [32] FLIR®, CAЩ, Термовизионно ръководство за приложения при сгради и БЕИ, 2011, www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820325/T820325_EN.pdf.
- [33] Herrera, J., A. Guesalaga and E. Agosin. Short-wave near infrared spectroscopy for non-destructive determination of maturity of wine grapes. *Meas. Sci. Technol.* 2003, 14, 689-697.
- [34] Hildebrandt, C., C. Raschner, K. Ammer, An Overview of Recent Application of Medical Infrared Thermography in Sports Medicine in Austria, *Sensors*, 2010, 10, 4700-4715.
- [35] Huda, A. S. N., S. Taib. Suitable features selection for monitoring thermal condition of electrical equipment using infrared thermography, *Infrared Physics & Technology*, 2013, 61, 184–191.
- [36] Jadin, M. S., S. Taib. Recent progress in diagnosing the reliability of electrical equipment by using infrared thermography, *Infrared Physics & Technology*, 2012, 55, 236–245.
- [37] Jadin, M. S., S. Taib, K. H. Ghazali. Finding region of interest in the infrared image of electrical installation, *Infrared Physics & Technology*, 2015, 71, 329–338.
- [38] Katrandzhiev, N., R. Chalucova, G. Krivoshiev, P. Bozhilov, A. Lyungov. The non-destructive assessment of the potatoes internal quality by using the method „Seeing Through Layers“ STL, „ELECTRONICS - ET 2003“, September 22-26, 2003, Sozopol, Bulgaria, 126-131.
- [39] Kawano S., Non-destructive NIR quality evaluation of fruits and vegetables in Japan. *NIR news*, 5, No. 6, 10-12, 1994
- [40] Kim, D.S., K. H. Lee. Segment-based region of interest generation for pedestrian detection in far-infrared images, *Infrared Physics & Technology*, 2013, 61, 120-128.
- [41] Krivoshiev, G., Device for recognition and/or sorting of fruit or vegetables, method and related utilization. Patent FR No.2, 710 564, 1994.
- [42] Lahiri, B.B., S. Bagavathiappan, T. Jayakumar, J. Philpp. Medical applications of infrared thermography: A review, *Infrared Physics & Technology*, 2012, 55, 221-235.
- [43] Lamanna, Gr., H. Kamoun, B. Arnold, K. Schlottke, B. Weigand, J. Steelant. Differential infrared thermography (DIT) in a flashing jet: A feasibility study, *Quantitative InfraRed Thermography Journal*, 2013, 6, 10(1), 112-131.
- [44] Liu, Q., J. Zhuang, J. Ma. Robust and fast pedestrian detection method for far-infrared automotive driving assistance systems, *Infrared Physics & Technology*, 2013, 60, 288-299.
- [45] Method and apparatus for sorting tomatoes by color, Pat. No 1 370 147, GB; Pat. No 3 781 554, USA; Pat. No 2 147 611, BRD; Pat. No 953 187, IT; Pat. No 773 102, BG; Pat. No 2 108 225, Fr.
- [46] Mohan, A., T. Poggio, Example-based object detection in images by components, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 2011, 23, 349–361.
- [47] Möllmann, Kl.-P., M. Vollmer. Infrared thermal imaging as a tool in university physics education, *European Journal of Physics*, 2007, Vol. 28, Number 3, 37-50.
- [48] “Non-Destructive NIR Technology for Fruits and Vegetables Internal Quality Assessment, eliminating the skin disturbing effect”, International Project QLK1-2000-00455 Funded by the European Commission under the Thematic Programme “Quality of Life and Management of Living Resources” at Institute of Horticulture and Canned Foods (IHCF).
- [49] O’Malley, R., E. Jones, M. Glavin. Detection of pedestrians in far-infrared automotive night vision using region-growing and clothing distortion compensation, *Infrared Physics & Technology*, 2010, 53, 439-449.
- [50] Rahammer, M., P. Menner, G. Busse. Thermal waves for NDE of aircraft: Comparison of lockin thermography and lockin interferometry, *Quantitative InfraRed Thermography Journal*, 2013, 6, 10(1), 42-54.
- [51] Ring, E.F.J. Pioneering progress in infrared imaging in medicine, *Quantitative InfraRed Thermography Journal*, 2014, 1, 11(1), 57-65.
- [52] Slaughter D. C., Barret D. and Boersig M., Nondestructive determination of soluble solids in tomatoes using near infrared spectroscopy, *Journal of Food Science*, 1996, vol. 61, No. 4, 695-697.
- [53] Smith, St., R. Toumi. Measuring Cloud Cover and Brightness Temperature with a Ground-Based Thermal Infrared Camera, Space & Atmospheric Physics Group, Blackett Laboratory, Imperial College London, London, SW7 2AZ, UK, October 11, 2006; Final Form: May 15, 2007.
- [54] Tavukcuoglu, A., A. Duzgunes, E. N. Caner-Saltık, S. Demirci. Use of IR thermography for the assessment of surface-water drainage problems in a historical building, *Agzikarahan (Aksaray), Turkey, NDT&E International*, 2005, 38, 402–410.
- [55] Titova, T., Nachev V., Damyanov Ch. and Nikovski Pl. Intelligent Classifiers for Non-Destructive Determination of Food Quality, *Facta Universitatis, Series: Automatic Control and Robotics*, 2013, Vol. 12, No 1, 19-30.
- [56] Tongming J., L. Ling, C. Hang, Z. Xiangyang and W. Duojia, Application of near infrared spectroscopy for quality evaluation of vegetables in China. In *Near Infrared Spectroscopy, Proceedings of the 9th International conference* (Eds. A.M.C. Davis and R. Giangiacomo), NIR Publications, Chichester, 2000, 907-910.
- [57] Vavilov, VI. P. Reply to Comment on “How accurate is the IR thermographic evaluation of heat losses from buildings?”, *Quantitative InfraRed Thermography Journal*, 2011, 6, 8(1), 109-109.
- [58] Williams, T. L. *Thermal Imaging Cameras Characteristics and Performance*, ISBN 9781420071856, CRC Press, New York, 2009, 238.