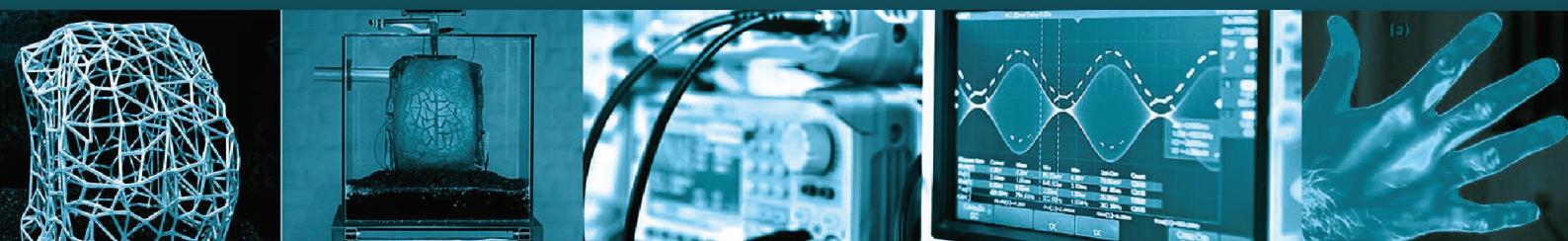


Станьо Колев

**МЕТОДИ И СРЕДСТВА
ЗА РЕГИСТРИРАНЕ, ИЗМЕРВАНЕ,
ОБРАБОТКА И ОЦЕНКА
НА ТЕРМОГРАФСКА ИНФОРМАЦИЯ
С ПРИЛОЖЕНИЕ В СИСТЕМИ
ЗА МЕДИЦИНСКА ДИАГНОСТИКА
И ЕКОЛОГИЯ**



EUT + Academic Press

Станьо Колев

**МЕТОДИ И СРЕДСТВА ЗА РЕГИСТРИРАНЕ,
ИЗМЕРВАНЕ, ОБРАБОТКА И ОЦЕНКА НА
ТЕРМОГРАФСКА ИНФОРМАЦИЯ С ПРИЛОЖЕНИЕ В
СИСТЕМИ ЗА МЕДИЦИНСКА ДИАГНОСТИКА И
ЕКОЛОГИЯ**

МОНОГРАФИЯ

София 2022

EUT+ Academic Press

Автор: © Станьо Веселинов Колев

Рецензенти:

проф. д-р инж. Александър Бекярски

доц. д-р инж. Иво Драганов

Стилов редактор: Ивайло Пеев

Дизайн на корицата: д-р Александър Радославов



Stanyo Kolev

© 2022 by Stanyo Kolev. "Methods and means for registration, measurement, processing and evaluation of thermographic information with application in systems for medical diagnostics and ecology".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-Non-commercial-No Derivatives 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Монографията е издадена с финансовата подкрепа на НИС при Техническият университет – София.

Copyright © 2022 EUT+ Academic Press

София, 2022 г.

ISBN: 978-619-92237-4-1 - мека подвързия

ISBN: 978-619-92237-5-8 - pdf

Stanyo Kolev

**METHODS AND MEANS FOR REGISTRATION,
MEASUREMENT, PROCESSING AND EVALUATION OF
THERMOGRAPHIC INFORMATION WITH
APPLICATION IN SYSTEMS FOR MEDICAL
DIAGNOSTICS AND ECOLOGY**

MONOGRAPH

Sofia 2022

EUT+ Academic Press

Author: © Stanyo Vesselinov Kolev

Reviewers:

Prof. Eng. PhD Alexandar Bekyarski

Assoc. Prof. Eng. PhD Ivo Draganov

Proofreader: Ivaylo Peev

Cover design: PhD Alexandar Radoslavov



Stanyo Kolev

© 2022 by Stanyo Kolev. "Methods and means for registration, measurement, processing and evaluation of thermographic information with application in systems for medical diagnostics and ecology".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-Non-commercial-No Derivatives 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

The monograph was published with the financial support by the RDS at the Technical University of Sofia.

Copyright © 2022 EUT+ Academic Press

Sofia, 2022

ISBN: 978-619-92237-4-1 - paperback

ISBN: 978-619-92237-5-8 - pdf

Съдържание

Резюме.....	4
Abstract.....	7
Въведение	10
Introduction.....	12
1. Общи принципи в методите и средствата за регистриране, измерване и обработка на термографска информация.....	13
2. Разработване на методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение в системи за медицинска диагностика.....	32
3. Разработване на методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение в екологични системи.....	52
3.1 Създаване на модул за безконтактно измерване на повърхностна температура на разпределени обекти.....	53
3.2. Регистрация на преминаващи обекти: методика, основаваща се на инфрачервено излъчване.....	56
3.3. Разработване на методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение в екологични системи за опазване на диви животни.....	60
3.4. Разработване на методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение в екологични системи за екологична оценка и контрол на растителна среда.....	76
3.5. Използване на наноспътници и специализирани дроневи за изследване на растения и горски насаждения.....	95
4. Изводи и заключение.	101
Списък на публикациите, свързани с монографията.	103
Използвана литература.....	104

РЕЗЮМЕ

В тази монография се разглеждат основните методи и средства за обработка на термографска информация, получена от системи с приложение в медицинската диагностика и екологията.

Глава 1. Общи принципи в методите и средствата за регистриране, измерване и обработка на термографска информация

В тази глава са извършени следните дейности:

- Представени са приложенията на термографията, основно в областта на медицината и екологията;
- Разгледани са проблемите, свързани с точността на измерването с инфрачервена камера;
- Описани са външни (атмосфера, физически характеристики на телесните покрития, геометрични фактори, околна среда, инфрачервени характеристики на изследвания обект и поведенчески фактор) и вътрешни (стресор, кръвообращение, физическа активност, потоотделяне и др.) фактори, които влияят върху точността на измерване;
- Анализирани са причините, водещи до грешки при термографски измервания, като основните от тях са: водните пари, озонът и въглеродният диоксид в атмосферата;
- Направен е анализ на методите и средствата за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение, насочено в областта на медицинската диагностика и екологията;
- Разгледани са методите за диагностициране чрез анализ на данните, предоставени от термичната камера;
- Предложен е подход, използващ система от малки спътници и специализирани дроне за екологичен мониторинг.

От направения анализ проличава актуалността и широкото приложение на термографията в области като медицина, екология, индустрия и много други. В представените в литературата съществуващи методи и средства слабо са застъпени тези, които се предлагат в монографията. Въз основа на направените изводи в настоящата монография, се предлага да бъдат разработени следните нови методи и средства в областта на термографията:

1. Разработване на методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение в системи за медицинска диагностика;

2. Разработване на методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение в екологични системи.

Глава 2. Разработване на методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение в системи за медицинска диагностика

В тази глава е изследвано влиянието на умственото натоварване върху отклоненията в инфрачервената термография на човешкото лице. Разработена е методика, при която чрез термографско заснемане на промяната на повърхностната температура на кожата на определени области от човешкото лице, позволява регистриране на промяната в мозъчната активност. Прилага се в надеждни механизми за оценка на въздействието на различни мисловни процеси върху ума, а оттам и на физиологичните реакции на човешкото тяло. Предложените методики биха допринесли за подобряване на диагностиката, посредством биофидбек системи.

Глава 3. Разработване на методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение в екологични системи

1. Предложен е модел, използващ множество сензори, за измерване на различни обекти или области. Това дава възможност да се намали грешката при измерване на един и същ участък от съответния обект. Изчислено е намалението на дисперсията на резултатния сигнал при увеличаване на броя на независимо измерващите сензори.

2. Разработена е блокова схема на модул за безконтактно измерване на повърхностна температура на разпределени обекти в топлинна зона в рамките на помещение в сграда. Модулът е създаден и е интегриран като част от по-голяма система за енергийна ефективност, мониторинг и управление на сгради. Реализирано е измерване едновременно на няколко зони на интерес с цел търсене на връзки, свързани с охлаждане или загряване.

3. Разработен е модел на оптоелектронна система за отчитане на преминаващи обекти, в частност автомобили. Описани са част от проблемите и съответните им решения при създаване прототип на система за броене на обекти на база оптично излъчване. Проведени са експериментални научни изследвания, свързани с отброяване на автомобили с цел отчитане на трафика и неговото редуциране.

4. Разработена е методика, която позволява покриване на големи площи и много обекти, използваща инфрачервена термография, за откриване на обекти с

температури, значително различни от тези на околната среда. Използва се за преброяване на популациите, откриване на районите на местообитанията, изследване на миграционните процеси, идентифициране на правилата за придвижване в големи стада, изучаване на естественото местообитание на определени групи и породи диви животни.

5. Разработена е интелигентна система за измерване и следене на основните параметри на пчелните кошери: влага, температура, шум, тегло на магазина (пчелни пити), съдържание на пестициди във въздуха и др. Това би довело до повишаването на медодобива, оптимизиране на дейността в тази сфера и удължаване на живота на пчелните семейства, както и предпазването им от неблагоприятни външни въздействия. Ползата от системата е възможността: в реално време да се проследява температурата и влажността в кошера спрямо същите параметри извън него, при необходимост да се реагира на време, с цел кошера да не прегрее вследствие на тежки атмосферни условия и да загине. Системата е приложима в голяма степен, особено ако може да се предотврати най-лошото за пчелното семейство, защото в днешно време те са застрашени в огромна степен.

6. Проектирана и реализирана е система за Интелигентно земеделие, включваща модули за измерване на влага, температура и рН на почвата и въздуха. Целта е автоматизиране и оптимизиране на земеделския труд. Ефективното земеделие е сложен комплекс от множество фактори. Основните цели са: намаляването на разходите за напояване и торене, за гориво на селскостопанската техника; Увеличаването на добивите с от 50% до 70%; Повишаване на качеството на реколтата и намаляване на бракуваната продукция; Грижата за земята и опазването на природата благодарение на по-малката употреба на изкуствени торове; Помага за борбата с болестите по растенията и намаляване на употребата на пестициди.

7. Предложена е система, състояща се от наносателити и специализирани дронове, която може да се използва за: Детекция на горски пожари, развитие на горски насъждения и др.; Екологичен мониторинг – измерване на замърсяването на въздух и почва; Теч на газ по магистрални газопроводи. Предстои реализирането на системата.

Глава 4. Изводи и заключение

Обобщени са резултатите и насоките, представени в предходните глави. Поставени са задачите, свързани с бъдещи разработки в областта на медицината и екологията.

ABSTRACT

This monograph discusses the basic methods and tools for processing thermographic information obtained from systems with applications in medical diagnostics and ecology.

Chapter 1. General principles in methods and means for recording, measuring and processing thermographic information

Applications of thermography, mainly in the fields of medicine and ecology, are presented. Problems related to the accuracy of measurement with an infrared camera are discussed. External (Atmosphere, Physical characteristics of body coverings, Geometric factors, Environment, Infrared characteristics of the object under study and Behavioral factors) and internal (Stressor, Blood circulation, Physical activity, Sweating, etc.) factors that affect the accuracy of measurement are described. The causes leading to errors in thermographic measurements are analyzed, the main ones being: water vapor, ozone and carbon dioxide in the atmosphere. An analysis is made of the methods and means of recording, measuring, processing and evaluating thermographic information with applications directed to the fields of medical diagnostics and ecology. Methods of diagnosis by analysis of data provided by the thermal camera are discussed. An approach using a system of small satellites and specialized drones for environmental monitoring is proposed. The analysis shows the relevance and wide application of thermography in fields such as medicine, ecology, industry and many others. The existing methods and tools presented in the literature poorly cover those proposed in the monograph. Based on the findings, this monograph proposes to develop the following new methods and tools in the field of thermography:

1. Development of methods and tools for recording, measuring, processing and evaluating thermographic information for application in medical diagnostic systems.
2. Development of methods and means for recording, measuring, processing and evaluating thermographic information for application in environmental systems.

Chapter 2. Development of methods and means for recording, measuring, processing and evaluation of thermographic information for application in medical diagnostic systems.

The influence of mental workload on deviations in infrared thermography of the human face is investigated. A methodology has been developed whereby thermographic imaging of the change in skin surface temperature of specific areas of the human face allows the recording of the change in brain activity. It has been applied in reliable mechanisms to assess the impact of various thought processes on the mind and hence on the physiological responses of the human body. The proposed methodologies would contribute to the improvement of diagnostics using biofeedback systems.

Chapter 3. Development of methods and tools for recording, measuring, processing and evaluation of thermographic information for application in ecological systems.

1. A model using multiple sensors to measure different objects or areas is proposed. This allows to reduce the measurement error of the same area of the object in question. The reduction of the variance of the resulting signal when the number of independently measuring sensors increases is calculated.

2. A block diagram of a module for non-contact surface temperature measurement of distributed objects in a thermal zone within a room in a building is developed. The module has been designed and integrated as part of a larger building energy efficiency, monitoring and management system. Measurement of several zones of interest simultaneously is implemented in order to search for connections related to cooling or heating.

3. An optoelectronic system model has been developed for sensing passing objects, in particular vehicles. Some of the problems and their corresponding solutions in creating a prototype system for counting objects based on optical emission are described. Experimental research related to the counting of cars for the purpose of traffic counting its reduction is conducted.

4. A methodology has been developed to cover large areas and many objects using infrared thermography to detect objects with temperatures significantly different from ambient. It has been used to count populations, detect habitat areas, study migration processes, identify movement patterns in large herds, and study the natural habitat of particular groups and breeds of wildlife.

5. An intelligent system has been developed to measure and monitor the main parameters of beehives: moisture, temperature, noise, store weight(honeycombs), pesticide content in the air, etc. This would lead to an increase in honey production, optimization of the activity in this field and prolongation of the life of bee colonies, as well as their protection from adverse external influences. The benefit of the system is the ability to: monitor in real time the temperature and humidity inside the hive against the same parameters outside, reacting in time if necessary to prevent the hive from overheating due to severe weather conditions and perishing. The system is very applicable, especially if the worst can be prevented for the bee colony, because nowadays they are endangered to a huge extent.

6. Designed and implemented a Smart Farming system including modules for measuring soil and air moisture, temperature and pH. The aim is to automate and optimize agricultural labor. Efficient farming is a complex set of multiple factors. The main objectives are: reducing the cost of irrigation and fertilization , fuel for agricultural machinery; Increasing yields by 50% to 70%; Increasing crop quality and

reducing culling; Taking care of the land and preserving nature thanks to less use of artificial fertilizers; Helping to fight plant diseases and reducing the use of pesticides.

7. A system consisting of nanosatellites and specialized drones is proposed which can be used for: Detection of forest fires, forest plantation development, etc.; Environmental monitoring - measurement of air and soil pollution; Gas leakage on highway gas pipelines. The system is to be implemented.

Chapter 4. Conclusions

The results and guidelines presented in the previous chapters are summarized. The tasks related to future developments in the field of medicine and ecology are set.

ВЪВЕДЕНИЕ

С развитието на техниката и технологиите всеки ден пред нас се откриват нови перспективи в здравеопазването – както диагностично, така и терапевтично. В последните години се наблюдава все по-активно навлизане на апаратура на основа на инфрачервени датчици и термичен анализ на изображенията предимно в диагностичното звено. Възможностите на тази техника все още са относително слабо изследвани и същественият напредък в тази посока тепърва предстои да бъде наблюдаван.

Телесната температура е съществен показател за здравето на хората, поради което е отделено особено внимание за нейното определяне. Измерване на температура с инфрачервени камери има предимства за лекари и пациенти. Като безконтактна и неинвазивна процедура за диагностика, термографията осигурява не само лесно и точно измерване на температурата, но и дава подробно изображение за разпределение на телесната температура на пациентите. Могат да бъдат диагностицирани много заболявания чрез информация за разпределението на температурата на организма [1, 7].

Много от болестните процеси в тялото остават скрити, поради липса на външни прояви и защото в началните си фази, болестните изменения може да не провокират симптоматика. Това обаче не означава, че те не може да бъдат открити и диагностицирани. Всяко заболяване, което протича с възпалителен процес, промяна в локалната телесна температура, може да бъде диагностицирано в максимално ранен етап с помощта на термографията. Разработена като средство за прилагане във военното дело, през последните години термографията се прилага все по-широко в медицинската практика. Една от най-честите сфери на приложението ѝ е за проследяване развитието на рак на гърдата и за отчитане ефекта от лечението му [2, 7].

Така термографията се явява изключително удобен метод за допълнително изследване и получаване на по-обща картина за състоянието на всеки пациент. Методът е безопасен и може да се прилага редовно според нуждите на отделните случаи. Изследването не включва инвазивни процедури и изисква единствено леки промени в хранителния режим и козметичните грижи в деня преди провеждането му.

Прилагането на термография в хуманната медицина е гъвкав и ефикасен метод, който има следните предимства:

- Термографията е безконтактен и неинвазивен процес за пациентите;
- Инфрачервени камери дават подробна картина на разпределението на температурата на тялото по ефективен начин;
- Гъвкаво използване на термография на различни заболявания;

- Изображения на най-малките температурни разлики с висока разделителна способност.

Целта на монографията е да се разработят нови и специализирани методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение, насочено в областта на медицинската диагностика и екология.

INTRODUCTION

With the development of technique and technology, new healthcare perspectives - diagnostic and therapeutic - are opening up to us every day. In recent years, there has been an increasingly active penetration of equipment based on infrared sensors and thermal image analysis primarily in the diagnostic unit. The capabilities of this technique are still relatively poorly explored and significant progress in this direction has yet to be observed.

Body temperature is an essential indicator of human health, which is why special attention is paid to determining it. Measuring temperature with infrared cameras has advantages for doctors and patients. As a non-contact and non-invasive diagnostic procedure, thermography not only provides easy and accurate temperature measurement, but also gives a detailed image of patients' body temperature distribution. The results thus obtained can help diagnose many diseases [1, 7].

Many disease processes in the body remain unnoticed due to a lack of external manifestations and because in their initial phases, disease changes may not provoke symptomatology. However, this does not mean that they cannot be detected and diagnosed. Thermography can help diagnose at the earliest possible stage any disease that proceeds with an inflammatory process, a change in local body temperature. Originally devised as a tool for military applications, in recent years thermography has been increasingly applied in medical practice. One of the most common areas of application is to monitor the process of development of breast cancer and to report the effect of the treatment [2, 7].

Thus, thermography appears to be an extremely convenient method for further examination and obtaining a more general picture of the condition of each patient. The method is safe and can be applied regularly according to the needs of every individual case. The examination does not involve invasive procedures and requires only slight changes in diet and some cosmetic care the day before it is conducted.

The application of thermography in human medicine is a flexible and efficient method that has the following advantages:

- Thermography is a non-contact and non-invasive process for patients
- Infrared cameras provide a detailed picture of body temperature distribution in an efficient manner
- Flexible use of thermography for various diseases
- High resolution images of the smallest temperature differences.

The aim of this monograph is to develop new and specialized methods and tools for recording, measuring, processing and evaluating thermographic information with applications aimed at the field of medical diagnostics and ecology.

ГЛАВА ПЪРВА

ОБЩИ ПРИНЦИПИ В МЕТОДИТЕ И СРЕДСТВАТА ЗА РЕГИСТРИРАНЕ, ИЗМЕРВАНЕ И ОБРАБОТКА НА ТЕРМОГРАФСКА ИНФОРМАЦИЯ. АКТУАЛНОСТ НА ПРОБЛЕМА

Всички обекти при температура над абсолютната нула излъчват електромагнитни радиации спонтанно; това е известно като физическо или топлинното излъчване.

Инфрачервената термография се базира на физичното явление, характерно за всички тела, да излъчват електромагнитни вълни със строго определена дължина, в зависимост от температурата си. Всички тела, топли или студени, излъчват електромагнитна енергия с дължина на вълната по-голяма от 0.7 микрометра. Поради факта, че видимият диапазон за човешкото око от електромагнитния спектър е в тесния интервал от 0.4 до 0.7 микрометра, в повечето случаи енергията е невидима за нас. Излъчването се осъществява за сметка на преобразуването на енергията на топлинното движение на атомите и молекулите на тялото в енергия на излъчването. Топлинното излъчване има непрекъснат спектър, но интензитетът на излъчваната от телата радиация е в пряка зависимост от температурата им, т.е. с повишаване на температурата на едно тяло пропорционално се увеличава и неговата излъчвателна способност. За най-добри източници на топлинна енергия се смятат телата, които имат свойството изцяло да поглъщат попадналите върху тях електромагнитни вълни. Тези тела се приемат за идеално черни и при термодинамично равновесие тези тела излъчват най-интензивно [1,2,5].

Инфрачервеното излъчване е енергията, излъчвана от повърхността на даден обект, чиято температура е над абсолютната нула. Излъчената радиация е функция от температурата на материала; колкото е по-висока температурата, толкова по-голяма е интензивността на излъчваната инфрачервена енергия [2].

Енергийният изход на повърхността е общо енергията, която излиза през повърхността от вътрешността. За случая на АЧТ (Абсолютно черно тяло) има изведена връзка между радиационния енергиен изход, дължината на вълната и температурата (закон на Планк) [2,5].

$$M^{bb}(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5 \left[\left(\frac{c_2}{\lambda T} \right) - 1 \right]}, \quad (1.1)$$

където $c_1 = 3,74 \cdot 10^{-16} W m^2$ и $c_2 = 1,44 \cdot 10^{-16} K m$ са константи.

$M^{bb}(\lambda, T)$ е радиационният енергиен изход, λ – дължина на вълната и T – температура.

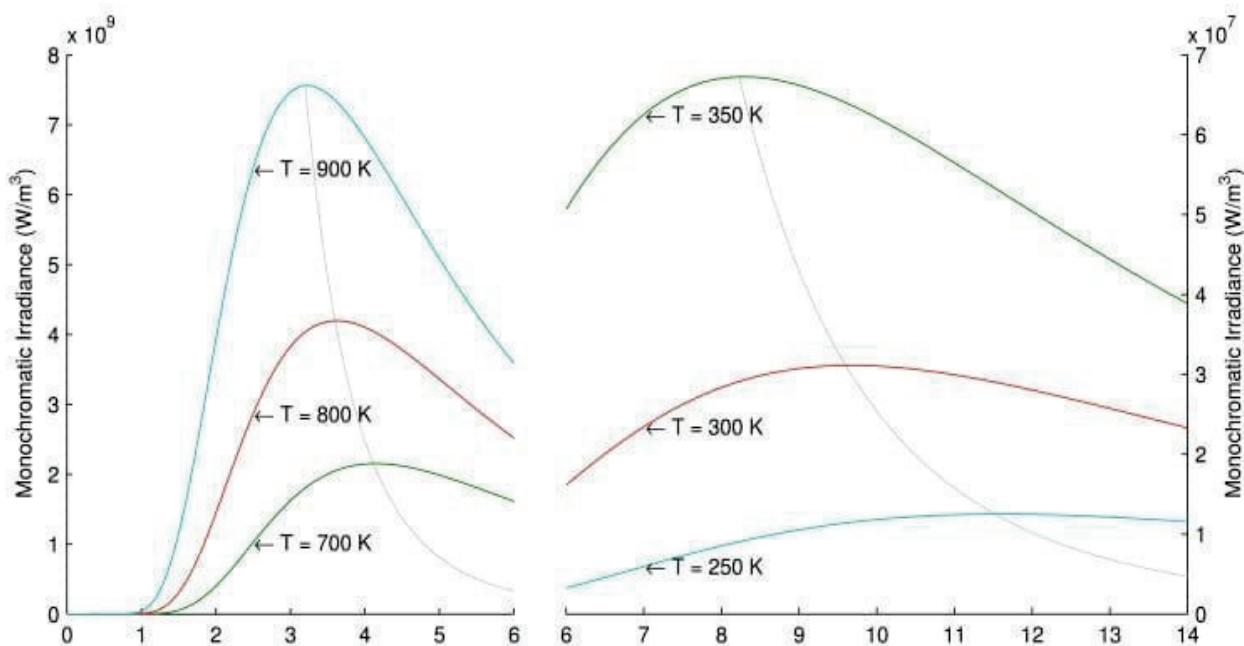
Ако приемем, че имаме линейно преобразуване на оптичния поток в напрежение, то на изхода на оптоелектронния преобразувател (детектора) ще имаме напрежение, пропорционално на четвъртата степен на температурата [2]:

$$U_D \sim T^4 \quad (1.2)$$

За да намерим връзка между температурата и λ_m , е необходимо да диференцираме и да приравним на нула. Често използвано решение е

$$\lambda_m[\mu m] \approx \frac{2898}{T[K]} \quad (1.3)$$

Фигура 1.1 показва разпределението на електромагнитната радиация, излъчвана от черно тяло при различни температури. Кривите показват, колко енергия е излъчена на всяка дължина на вълната. Както се вижда, върхът на кривата за по-горещ обект е по-голям, т.е. е на по-високо. В допълнение има обратна връзка между температурата и дължината на вълната на пика на емисиите. Дължината на вълната, при която се излъчва електромагнитно излъчване, зависи от температурата на обекта; по-висока температура, по-кратка дължина на вълната. Върхът на вълната за определена температурна стойност може да се изчисли с помощта на закона на Вин [2].



а) Обекти с по-висока температура излъчват повечето от радиацията в средната инфрачервена вълна

б) Обекти с по-ниска температура излъчват повечето от радиацията в дългите инфрачервени вълни

Фигура 1.1. Разпределението на електромагнитната радиация, излъчвана от черно тяло при различни температури [2].

Ако цялата радиационна енергия попадаща върху даден обект, се абсорбира (няма предаване), абсорбцията е единица. При постоянна температура, цялата погълнатата енергия трябва да бъде повторно излъчвана, така че емисионната способност на такъв орган да бъде единица. Следователно абсорбцията в черното тяло е равна на емисионната способност, която е единица. По принцип, според закона на Кирхоф излъчвателната (емисионната) и абсорбцията на всякакви материали са равни при всяка определена температура и дължина на вълната. Това може да бъде изразено като уравнение (1.4):

$$\varepsilon_{\lambda} = \alpha_{\lambda} \quad (1.4)$$

Електромагнитният спектър е разделен на няколко региона или ленти според дължината на вълната. Регионите не са определени рязко, и те се различават в различните дисциплини. Инфрачервената област е приблизително определена от 0,8 μm до 1000 μm , тоест от края на видимата светлина до микровълни [2, 5].

Голяма част от инфрачервения диапазон на електромагнитния спектър не е полезна в Инфрачервената Термография (*ИРТ*), защото е блокирана от атмосферата. Останалите части определят използваемата част от инфрачервения диапазон от ИРТ [5]:

- Близко до инфрачервения диапазон - от 0,8 μm до 1,7 μm ;
- Къса дължина на инфрачервената вълна (*SWIR*) - от 1 μm до 2,5 μm ;
- Средна дължина на инфрачервената вълна (*MWIR*) - от 2 μm до 5 μm ;
- Дълга дължина на инфрачервената вълна (*LWIR*) - от 8 μm до 14 μm .

Инфрачервената технология намира приложението си в най-различни области като:

- ✓ Медицина;
- ✓ Оптични комуникации – за пренос на данни;
- ✓ Почистване – на картини, мозайки, културни паметници;
- ✓ СПА процедури – сауна, физиотерапия, рехабилитация;
- ✓ Наука - за анализиране на вещества и проби;
- ✓ Метеорология – за прогнозиране на времето, в краткосрочен план и на климатични промени;
- ✓ Астрономия – богат набор от приложения поради големите дължини на вълните;
- ✓ Фотография – за заснемане на образи и картини, които спектърът на човешкото око не може да улови;
- ✓ Масажни процедури – затоплянето на мускулите и тъканите в човешкото тяло води до отвеждане на токсини и мъртви клетки;
- ✓ Военното дело и областта на сигурност;

✓ Поддръжка на съоръжения.

През последните години инфрачервената термография все по-успешно се налага във функцията на мощен диагностичен инструмент за прогнозируема поддръжка на съоръжения от различни инженерни области. Чрез откриването на аномалии, често невидими за човешкото око, инфрачервената термография дава възможност да се предприемат коригиращи въздействия, преди работата на съответните електрически, механични съоръжения и производствени линии да излезе извън номиналните експлоатационни параметри [1, 6].

Медицинската термография (цифрова инфрачервена термовизионна - DITI) се използва като метод за изследване, за ранно диагностициране и контрол по време на лечението на голям спектър заболявания.

Медицински приложения на DITI са обширни, по-специално в областта на денталната медицина, ревматологията, неврологията, онкологията, ендокринологията, хирургията, физиотерапията и спортната медицина.

Инфрачервената термография е лесно приложим, неинвазивен и обективен метод за диагностика, без контраиндикации, който намира множество приложения в денталната медицина [1, 6]:

- Диагностика на фокална инфекция;
- Оценка на опорни зъби и импланти – прогноза относно възможността за натоварване;
- Алергологични изследвания – обективно отчитане на резултатите;
- Оздравителен процес – проследяване на оздравителния процес след хирургични интервенции;
- Скрининг (Визуализация) на цялото тяло – за налични, безсимптомно протичащи, патологични процеси.

Като съвременен обективен метод за огнищна диагностика, инфрачервената термография се отличава с добра информативност, с възможност за прецизен софтуерен анализ на регистрираните данни и с директен електронен трансфер на резултатите, което улеснява комуникацията между различните специалисти [4, 7].

Термографията е много точен метод за изследване, който позволява идентифицирането на новообразувания в гърдите на по-ранен етап, понякога в продължение на няколко години. Преди това става възможно с други методи за изследване. Принципът на термографията при диагностицирането на рака на гърдата се основава на визуализирането на области и съдове с повишена температура в/и около тъканта на гърдата, в сравнение със здравата гърда. Термографията широко се използва за диагностициране на различни заболявания на щитовидната жлеза. Според различни научни изследвания, термографията намира приложение в ревматологичната практика. Термографията може да се

използва в диагностиката на: ревматоиден артрит; други артрити и спондилити; активирана остеоартроза; рефлексна симпатикова дистрофия; синдром на Рейно; костна патология. Температурата над възпалените стави определя степента на възпаление на ставите. Чрез термографията най-често се изследват колената, глезените, китките, лакътните стави [4, 5, 7]. Използването на термографията във физиотерапията е започнала в Европа за определяне на полезността на инфрачервените лъчи в медицината. Чрез записване на изображения на температурата на кожата на пациента се идентифицират топлинни модели, които предоставят информация за определяне на подходящи действия, които да бъдат предприети в преди, и след оперативни ситуации. Едно от най-големите предимства на термографските камери е, че те правят ясно това, което не се вижда с просто око. Те са много полезни при определянето на размера на възпалената област или мускулна деформация [1, 6, 7].

Димът е по-прозрачен за инфрачервените лъчи, отколкото за видимата светлина. Затова пожарникарите използват уреди за получаване на образи чрез инфрачервена светлина, когато работят в много задимени места. Инфрачервените лъчи се използват и за пренасяне на данни между близки компютърни устройства и преносими апарати като мобилни телефони, органайзери и др. Подобни устройства, както и дистанционните управления на телевизори, музикални уредби, климатици, използват диоди, излъчващи инфрачервена светлина, която се превръща в насочен лъч от специална леща. В инфрачервената фотография се използват инфрачервени филтри, за да се улови *само* инфрачервеният спектър. За тази цел се използват филтри, пропускащи инфрачервената светлина и спиращи видимата и ултравиолетовата светлина. В астрономията, поради наличието на прахови облаци и мъглявини, прякото оптично наблюдение на някои звезди, галактики и други космически обекти не е възможно, докато инфрачервената светлина е с по-голяма дължина на вълната и преминава по-лесно през тези прегради [1, 4, 5].

Проблеми, свързани с точността на измерването с инфрачервена камера.

На температурата като основен носител на информация при термографията влияят много и различни фактори както в положителна посока, така и във възможното създаване на проблеми, свързани с точността на измерванията. Ограничения произтичат от тези фактори, невъзможността да се предвиди или контролира в някои случаи поведението на изследваните обекти, а така също недостатъци на хардуера. За да се минимизира грешката, трябва да се отчита влиянието на външните и вътрешни фактори, при измерване на обекта. Основни параметри на камерата за качеството на изображението, което основно се определя от размера на пикселната матрица. Започват от 40x40, 160x120, 320x240, 640x480 и достигат до 1024x720 пиксела. За да се направи качествена

снимка, са от значение доста фактори. Температурният работен диапазон е от -40 до 2000 °C [1, 4]. Има външни и вътрешни фактори, които влияят върху точността на измерване. Външните фактори са: *атмосфера, физически характеристики на телесните покрития, геометрични фактори, околна среда, инфрачервени характеристики на изследвания обект и поведенчески фактор*. Вътрешните фактори са: *стресор, кръвообращение, физическа активност, потоотделяне и др.* Термографията е изключително чувствителен индикатор за регистриране на промени в повърхностната температура. Поради тази причина термограмите също могат лесно да бъдат повлияни от външни фактори, които могат да доведат до по-големи различия в резултатите. Това налага термографските изследвания да се провеждат в строго контролирани условия [47-49]. Въпреки че атмосферата е част от фактора околна среда, поради големия и обем и многопосочните и въздействия върху инфрачервената термография като изследователски метод, ще я разгледаме като самостоятелен фактор. Метеорологичните условия - фактори като слънчевата радиация, валежите, вятъра и влажността на въздуха значително се отразяват на резултатите от термографските измервания.

Съществено значение върху повърхностната температура на изследвания обект има и околната температура (околната среда), също така и относителната влажност на въздуха има значимо влияние. Затова би било добре тези фактори да се вземе предвид при калибрирането на термокамерата за конкретното изследване. Известни са добрите термоизолационни свойства при наличие на телесни покрития: козина или перушина, което води до грешка при термографското обследване, дори животните, които имат дебела кожа или козина, са слабо видими за инфрачервеното измерване. Чистотата и оцветеността също имат значение, например наличието на влага, омазняване или прах оказват влияние на измерването, а също така и на някои вътрешни фактори, като потоотделянето и изпарението [50, 51].

Съществено влияние оказват геометричните фактори: размерът, формата на изследвания обект и разстоянието до него. Когато имаме ограничена видимост и/или излъчването от обекта е минимално, измерване на повърхностната температура може да бъде направена точно от разстояние не повече от няколко метра, защото се получава грешка от намалена атмосферна пропускливост. От съществено значение са инфрачервените характеристики: способностите на изследвания обект да отразява, да поглъща и да излъчва енергия. Трябва да се вземат под внимание разстоянието до изследвания обект, околната температура и относителната влажност по време на измерването, също така и материалите, от които се състои изследвания обект и неговата форма. Поведенческият фактор също е от значение за точността на измерване. Изследователите не са в състояние

да контролират резултата от термографски измервания, извършвани върху животните, поради различното им поведение, реакцията им, особено на дивите животински видове, породена от промяна във факторите на околната среда, което не може да бъде предсказано. Вътрешни фактори, като стресът, васкуларна перфузия, локален тъканен метаболизъм, движението непосредствено преди извършването на температурни измервания, водят до повишаване на циркулацията в периферната кръвоносна система, което внася смущение в точността на данните и затова е необходим период на покой около десет минути преди измерванията [4,8,47].

Кръвните потоци влияят на температурата на тялото, те са основен фактор в термодинамиката му. При различни движения, тренировки и друга физическа активност се освобождава топлина в тялото, което повишава и неговата повърхностна температура. За да се сведе до минимум възможността за грешка, изследваните обекти не трябва да извършват физическа активност и трябва да се аклиматизират в експериментални помещения преди измерването [50,51].

Грешките при термографски измервания се дължат на няколко основни обективни причини, които лесно могат да се коригират [2, 4, 5]. Поглъщането на инфрачервеното излъчване от триатомните газове – главно водните пари, озона и въглеродния диоксид в атмосферата. То е от значение, предимно когато се правят измервания на големи разстояния. За елиминиране на породената от този фактор грешка, повечето термокамери могат автоматично да внесат корекция, базирана на зададено отстояние от обекта и въздушна влажност. Различна излъчвателна способност на наблюдаваните тела. Законът на Планк дефинира само излъчването на хипотетично абсолютно черно тяло. Реалните обекти имат различно от идеалното топлинно излъчване, поради което при необходимост от висока точност на термокамерата, трябва да се зададе корекция - т.нар. коефициент на излъчване. Несъвършенства на приборите: Разбира се, по-прецизните измервателни камери дават и по-точните резултати. При високи изисквания за максимално точни данни, се използва методът на диференциалната термография. Излъчването на наблюдавания обект се сравнява със специално еталонно черно тяло, което се разполага в полезрението на термокамерата. Това позволява апаратната грешка да бъде сведена до минимум [2,4, 5].

1.1. Анализ на методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение насочено в областта на медицинската диагностика.

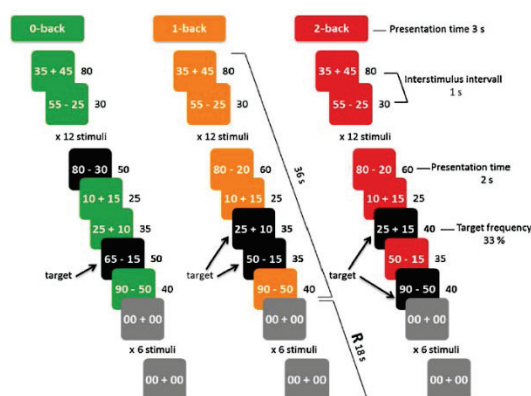
Разгледани са методите за диагностициране чрез анализ на данните, предоставени от термична камера [9-21]. Основният анализ, успореден на този, извършен чрез инфрачервено измерване, е ЕЕГ [22-24].

През последните няколко години все по-голямо приложение намира методът с паралелното измерване на EEG и IR по различни точки от тялото.

Инфрачервената термография е неинвазивен метод за функционално изобразяване, даващ допълнителна възможност за наблюдаване на различни физиологични процеси и ранна диагностика на редица заболявания. Много патологични процеси при хората се проявяват като локални промени в производството на топлинна енергия, като променят и модела на кръвния поток при засегнатите органи или тъкани. Благодарение на кръвотока и проводимото прехвърляне на топлина от дълбочина на тялото до повърхността му, инфрачервени изображения се смятат за способни да отразяват дълбоко топлинните процеси в тялото.

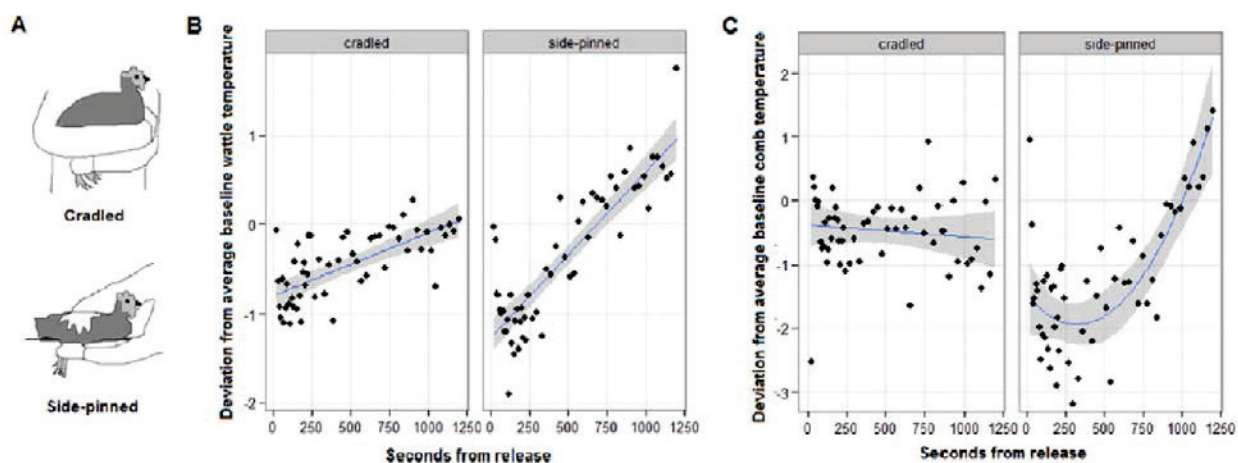
В [9, 13, 14, 19, 23] са разгледани методи за оценка и търсене на връзка между температурата на кожата и умствено натоварване, стрес, емоции и други психически когнитивни стресори. Направени са два експеримента, включващи измерване на диаметъра на зеницата, сърдечно-съдови и префронтални измервания на кислорода. Участниците изпълняват задача, която интензивно ангажира както работната памет, така и процесите на умствено изчисляване под заплахата (или не) от непредсказуеми неприятни звуци. Резултатите разкриват, че по-високата трудност на задачата влошава ефективността и предизвиква увеличен диаметър на тоничната зеница, сърдечна честота и активност в страничната префронтална кора, както и намалена фазова реакция на зеницата и вариабилност на сърдечната честота [13]. Тук се правят проучвания, как психическото напрежение и стресът повлияват на изпълнението на задачата, реакцията на ученика (проучване 1), сърдечно-съдовата дейност (проучване 1 и 2) и префронталното оксигениране на кортекс (проучване 2). По-високата трудност на задачата (по-високо ниво n) увеличава трудността на възприемане, влошава представянето и провокира увеличен диаметър на тоничната зеница.

Направени са изследвания при следните умствени изчисления:



Фиг. 1.2. Пример за опити с комбинирани умствени изчисления. Блоковете на задачите 0-, 1- и 2 продължават 36 s. Участниците отговарят чрез натискане на един от двата различни бутона [13].

В [19] са изследвани различни области на интерес от тялото, резултатите са показани на следващата графика.



Фиг. 1.3. Графиките показват отклонение на температурата, сравнена със собствената базова температура (A), за перата (B) и гребена (C), като е показана средната стойност за моментен интервал на вземане на проби (точки) [19].

При по-голям интензитет на стресора се забелязва по-забавено затопляне на кожата. Охлаждането и затоплянето на кожата са възможности за количествено определяне на стреса, чрез използване на термографията.

Целта на проучването в [14] е да се оценят потенциалните промени в електродермалната активност (EDA), за да се даде възможност за откриване на вариации в симпатиковата нервна система по време на психично натоварване и период на възстановяване. В [19] използват ИРТ технология, като неинвазивен и непрекъснат метод за оценка на стреса при животни. В [23] се използва термография за изследване на когнитивната невропсихология на емоциите, използвайки я като соматичен маркер на субективно преживяване по време на емоционални задачи. Получените резултати показват значителна корелация между промените в температурата на лицето и психическото настроение.

В [10] е направено ЕЕГ изследване на работната памет (WM) чрез решаване на аритметични задачи на 6 и 7-годишни деца. Проведено е пространствено обучение, което е облагодетелствало символичната аритметична производителност чрез подобряване на способността за визуализация

В [11] е предложен метод за откриване на различия в умственото натоварване между традиционните и едноразрезни лапароскопски процедури, измерени с вторична задача. При анализа на получените резултати се вижда, че процедурите на SILS са значително по-взискателни в сравнение с традиционните лапароскопски процедури, потвърдени от резултатите от първичните и вторичните задачи и субективните оценки.

В [12] проучването се изследва ефектът на умственото натоварване върху електрокардиограмата (ЕКГ) на участниците шофьори, изпълняващи задачата за смяна на лентата (LCT). За бъдещи изследвания се препоръчва комбинация от функции, за да се постигне най-добра диагностика за различни нива на умствено натоварване.

Целта на проучването в [14] е да се оценят потенциалните промени в електродермалната активност (EDA), за да се даде възможност за откриване на вариации в симпатиковата нервна система по време на психично натоварване и период на възстановяване. Подробните познания за регулаторните механизми на EDA, свързани със стреса, могат да предоставят важна информация, свързана с автономната дисрегулация.

В [15] е направено изследване, което показва, че умственото изчисление на абакус индуцира специални модели на мозъчна реакция и прости, и сложни задачи се поддържат от разединени мозъчни вериги, съответно между темпоралната и теменната кора.

В [16] целта е да се изследват ранните промени, свързани с потенциални събития (ERP), по време на задачата за изчисляване на умствената аритметика при пациенти с леко когнитивно увреждане в сравнение със здрави възрастни хора. Пациентите с леко когнитивно увреждане са имали дефицит при просто изчисление.

Целта на проучването в [17] е да се изследва, дали ефектът от двустранната транскраниалната стимулация с постоянен ток, върху изпълнението на умствените изчисления се различава сред индивидите според функционалната латерализация на париеталната активност, наблюдавана по време на задача за умствено изчисление. Париеталната активност по време на задача за умствено изчисляване е оценена с помощта на функционално магнитно резонансно изображение.

В [18] е изследвана интракраниално записана гама активност по време на изчислителни задачи, за да се разбере по-добре кортикалната динамика на изчислението. Възложените задачи за изчисляване са събиране и изваждане, включващи цели числа между 1 и 17.

В [20] се изследва, дали фенотипните вариации имат прогностични последици при ювенилната миоклонична епилепсия (JME). Повторението на ЕЕГ / видео-ЕЕГ разкрива паралелна еволюция на изчезването на рефлексните черти и контрол на припадъците.

В [21] е представан нов метод за откриване на промени в умственото натоварване с помощта на видеокадри, получени от евтина уебкамера. Това проучване предлага увеличаване на приложимостта на дистанционни и евтини средства за откриването на умствено натоварване.

В [22] е направена оценка на нивото на умственото натоварване в реално време, което може да доведе до значителни подобрения в дизайна и експлоатацията на бъдещите пилотни кабинни. Това изследване разглежда връзката между умственото натоварване, вариацията в работата и обективните физиологични мерки.

В [23] се използва термография за изследване на когнитивната невропсихология на емоциите, използвайки я като соматичен маркер на субективно преживяване по време на емоционални задачи. Получените резултати показват значителна корелация между промените в температурата на лицето и психическото настроение.

В [24] и [25] е изследвана промяната на температурата на лицето по време на ЕЕГ сесия, чрез инфрачервена термография.

В [26] анализа на данните от инфрачервена видео термография дава важна информация за микросъдовата (артериоларна) функция на кожата и жизненоважните органи по време на операция. Този нов набор от параметри на микросъдовата функция подобрява оценката за сърдечно-съдовата система при хронични заболявания, напр. при хипертония и диабет.

В [27] са разгледани основните методи за оценка и измерване, включително обхват, източници на грешки, приложение и валидност. Това издание включва техники за обработка на изображения, триене на кожата, бариерни функции и др.

Биофийдбек методите измерват електромагнитна активност на мозъка (чрез ЕЕГ и инфрачервена термография), дишане, сърдечна честота, вариабилност на сърдечната честота, кръвоток и др. Изследванията в последните декади показват ясно, че биофийдбек самостоятелно или в комбинация с други поведенчески терапии е ефективен за лечението на различни медицински и физиологични нарушения, от главоболие през високо кръвно налягане до дефицит на вниманието и хиперактивност. Използва се от лекари, психолози, ерготерапевти, консултанти, физиотерапевти, трудови терапевти, логопеди и др. Биофийдбек методите позволяват да се увеличи личният принос към поддържането на добро здраве.

1.2. Анализ на методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение, насочено в областта на екологията.

Термографското обследване на сгради е ефективен метод за оценка на енергийната ефективност на ограждащата конструкция, но той не позволява да се пресъздадат специфичните атмосферни условия, при които се наблюдават засилване на въздушните течения през сградната обвивка. Инфрачервената термо-

графия е много полезен инструмент в ръцете на енергийните одитори и позволява да се визуализират температурните аномалии, свързани с топлинни загуби от непрекъснати термомостове и въздушни течове [35-38], [40].

Най-чистата енергия е неизразходваната енергия. Едни от ключовете за енергоспестяване са интелигентното управление и енергийният мениджмънт. Това са едни от най-ефективните стратегии за спестяването на електричество и топлинна енергия. Необходимо е постоянно да се ограничава консумацията и да се повишава енергийната ефективност. Това се постига, като се следи потреблението на енергия със системи за енергиен мениджмънт, както и чрез интегрирането на енергоспестяващи продукти и решения в сградите, индустрията и обществения транспорт [34-39]. В комбинация всички тези мерки допринасят за един устойчив енергиен баланс в бъдеще.

В [S1, S2] целта е разработване на модел на оптоелектронна система за отчитане на преминаващи обекти, в частност автомобили. Описани са част от проблемите и съответните им решения при създаване прототип на система за броене на обекти на база оптично излъчване. Проведени са експериментални научни изследвания. Крайната цел е създаване на относително евтина и надеждна система.

В статия [34] е представена нова техника, базирана на инфрачервена термография, за да се следи ефективността на терморегулацията на индивида и нивата на топлинен комфорт чрез измерване на температурата на кожата в няколко точки на човешкото лице, което има висока плътност на кръвоносните съдове.

В [35] целта е изследване на топлинните характеристики на обвивката на сградата по време на строителния процес с помощта на термография. Ранното идентифициране на проблемите в новите сгради дава възможност да се извършат своевременно и по подходящ начин корекции.

В статия [36] е представен нов интелигентен диагностичен метод за класифициране на различни видове електрическото оборудване, използващ данни, получени от инфрачервени изображения. Целта е да се премахне ръчният анализ на инфрачервените изображения за откриване на дефекти и класифициране на състоянието на оборудването, което отнема много време и усилия и може да доведе до неправилна диагностика.

В [37] се използва ИРТ за откриване на разслояване в бетонни мостови палуби. Използвани са множество регресионни анализи за генериране на модели за прогнозиране, които търсят връзка между условията на околната среда и температурните градиенти на тестовите плочи, прикрепени към целевия мост.

Проектирана е измервателна система, която да характеризира лъчистата енергийна ефективност на инфрачервените нагревателни елементи. Системата

също така позволява измерване на разпределението на лъчистия топлинен поток, излъчен от лъчисти нагревателни възли [38].

В [39,41] са разгледани принципът на действие и основните топлопреносни процеси в невентилируема стена на Тромб, както и на някои от най-известните динамични и квазистационарни модели на този тип пасивен слънчев елемент. Направена е оценка на сложността и приложимостта на тези модели, като акцентът е поставен върху квазистационарните модели.

Използване на малки спътници и специализирани дроне в системи за екологичен мониторинг

През последните години интересът към малките спътници от типовете на пико-, нано- и микроспътниците нараства. Така наречените малки сателити доказват ефективност, съпоставима с класическите сателитни системи, особено след направени тестове на LEO стационарна орбита (около 2000 км от Земята). Друго основно тяхно предимство са ниската цена и малкото тегло, което довежда до висока финансова ефективност. Малките сателити са ключова платформа за разработването на нови космически технологии, обвързани са със системи, за изстрелване на обекти в Космоса с научна цел, свързване на университетски мрежи по цял свят и достъп на обикновения човек до Космоса. Използването на оптични и инфрачервени камери при малките сателити предоставя големи възможности за изследване на различни видове горски насаждения и растения. Проследява се тяхното развитие и наличие на болести, което от своя страна може да е предпоставка за потенциални пожари в горските насаждения. Чрез инфрачервени спектрометри се извършва екологичен мониторинг и на околната среда, като се измерва замърсяването на въздуха и почвата.

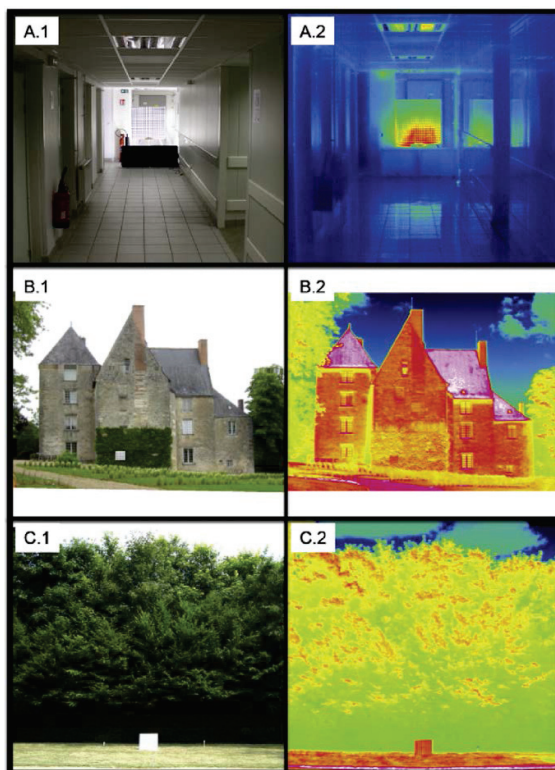
1.2.1. Анализ на методи и средства, използвани при изследване на животни.

В съвременното инфрачервената радиометрия навлезе в много сектори: хуманна и ветеринарна медицина, селско стопанство, животновъдство, енергетика, строителство, сигурност, отбрана и военни дейности, търсене и сигурност, контрол на държавната граница, космически изследвания и др.

Инфрачервената радиометрия позволява да се наблюдава и контролира здравословното състояние на животните в дивата природа [47-49]. Здравият организъм се характеризира с равномерно разпределение на температурата между различните части на тялото. Много патологични процеси и заболявания възникват чрез локални промени в производството на топлина, променящи модела на притока на кръв в засегнатите органи или тъкани. Благодарение на кръвния поток и проводимия пренос на топлина от дълбочината на тялото към повърхността, му се смята, че инфрачервените изображения могат да отразяват дълбоко процесите на тялото [50, 51].

В дивата природа радиометрията може да се използва за ранна диагностика и мониторинг на тежки заразни болести, например бяс и шап. Установено е, че повишаване на телесната температура може да настъпи преди появата на клиничните симптоми. Има изследвания, показващи възможностите на инфрачервената радиометрия за откриване на много сериозни и смъртоносни заболявания при животни като чума, грип, туберкулоза и други. За медицината, екологията, животновъдството и всички свързани науки, и икономиката, е важно да се получи бърза и надеждна информация за факторите, които влияят на популациите на животните и взаимодействието им със заобикалящата ги среда [47].

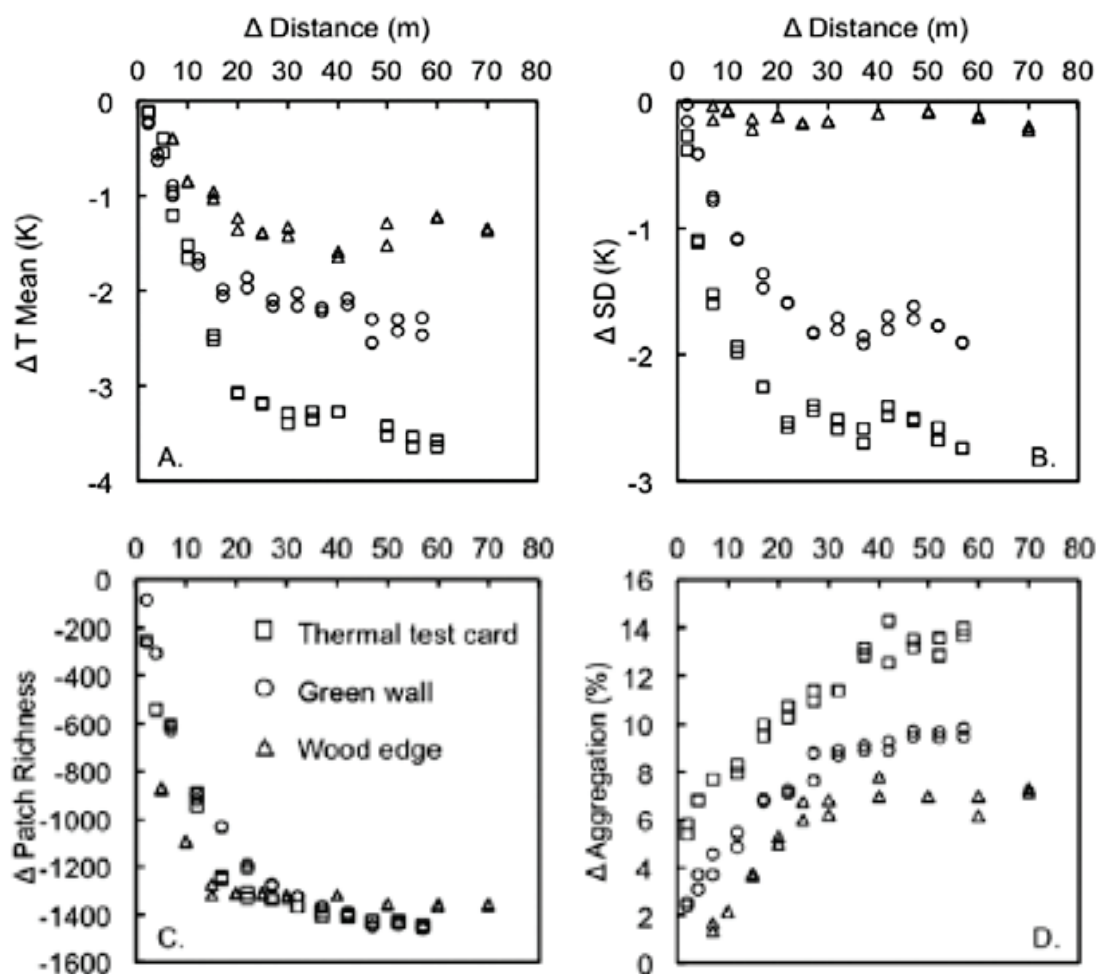
В [43, 44, 46, 47, 48 и 49] са представени методи за изследване на терморегулацията при животните, за анализ на ефекта на факторите на околната среда върху поведението на животните, за локализиране на индивиди и техните местообитания. Направени са общи насоки за еколозите за свеждане до минимум на неточностите, причинени от разстоянието до изследваната повърхност при термографията. Разглеждат се начини за индивидуалното управление и управлението на стадата, новопоявяващите се заболявания в различни популации от диви животни, ефектът от загубата и унищожаването на местообитанията върху дивите видове. Използват ИРТ за оценка на повърхностната температура на животните при изследване на терморегулацията. Освен температурата на повърхността на отделни точки по тялото, се изследва и нейният градиент по цялата обвивка на тялото.



Фиг. 1.4. RGB изображения (A.1, B.1 и C.1) и термографски изображения (A.2, B.2 и C.2) в трите среди (лаборатория А., зелена стена В. и дърво С.) [48].

В [48] се изследват три различни среди, получени са следните резултати:

Изследването е направено на разстояние от 0,3 до 80 м при различни термични метрики (средна температура, стандартно отклонение, многообразие на палитри и агрегация) при различни времеви условия и за различна структурна сложност на изследваните типове повърхности (различни повърхности с растителност). Установено е, че разстоянието е ключов модификатор на температурата, измерена чрез термична инфрачервена камера [48].



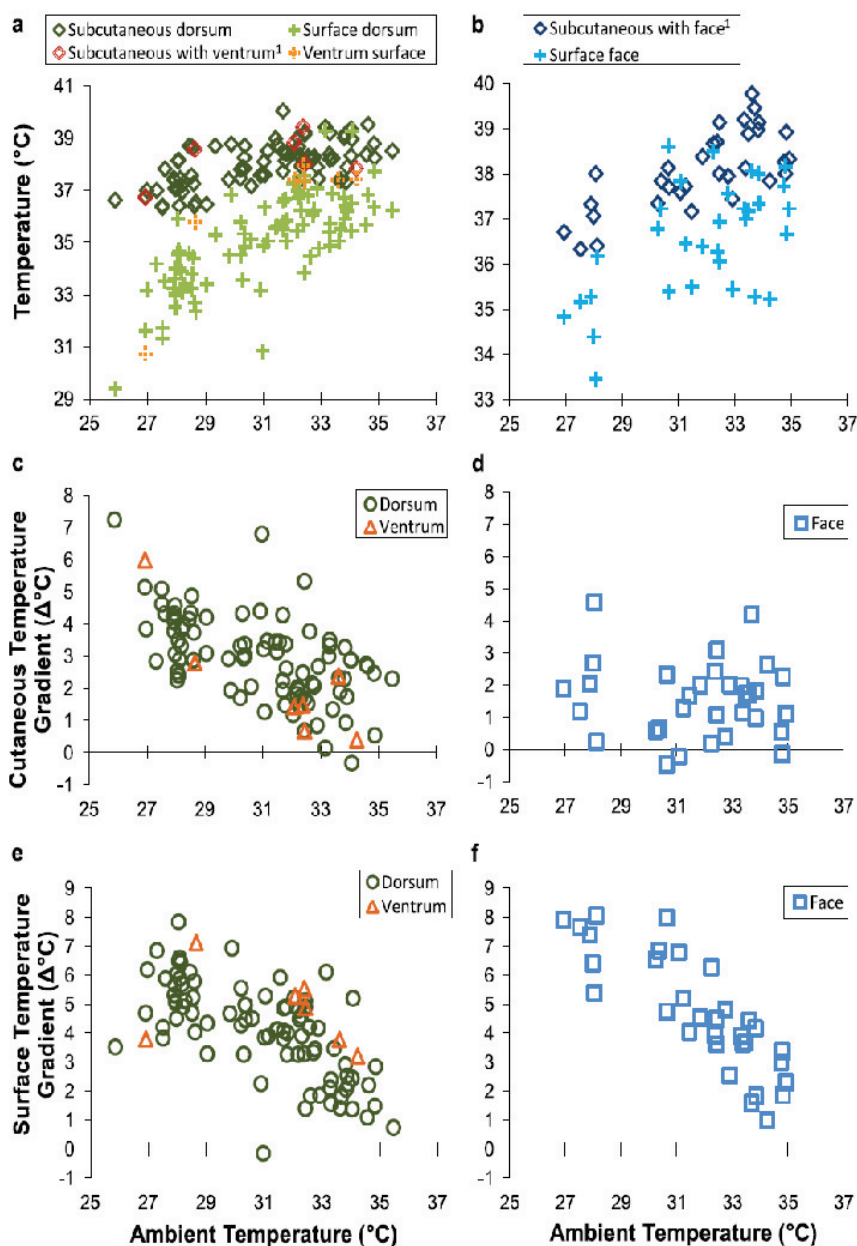
Фиг. 1.5. Графики на отклонението на термичните показатели между изображенията на мобилни и фиксирани термокамери за зелена стена, спрямо Δ разстояние (m) - разстоянието между двете термокамери (мобилна и фиксирана)[48].

Разпределението на температурата е нормално, като се използва Гаусова функция.

$$F = \alpha + be \left[-0.5 \left(\frac{T_{ex} - c}{d} \right)^2 \right] \quad (1.5)$$

където a , b , c и d са фиксирани параметри, F - прогнозираната честота и T_{ex} превишението на температурата в К.

В [49] се изследват диви животни, като резултатите при термографското измерване са показани на следващата графика.



Фиг. 1.6. Връзка между подкожни и повърхностни градиенти на температурата на лицето и гърба и температурата на околната среда за маймуни. Всички подкожни температури са регистрирани в гърба. Отчита се връзка между изменението на температурата на гърба и лицето [49].

В [42] използват инфрачервената термография като инструмент за оценка на прилягането на седлото при състезателни коне. Изследването показва, че натоварването, възрастта на коня и интензивността на тренировката влияят върху разпределението на налягането в състезателните седла.

В [45] се фокусират върху оптичната (видима и термична) радиометрия, в частност при сателитни наблюдения.

В [46] се разглеждат начини за индивидуалното управление и управлението на стадата, новопоявяващите се заболявания в различни популации от диви животни, ефектът от загубата и унищожаването на местообитанията върху дивите видове.

1.2.2. Анализ на методи и средства, използвани при изследване на растения.

IR радиометрията се използва за планиране на напояване, за оценка на взаимодействието между растенията и патогените чрез аналитични модели на температурата на повърхността на растението и за цялостно наблюдение на тяхното взаимодействие с околната среда [54]. Липсата на контакт с изследвания обект прави този вид термография особено предпочитан, тъй като е максимално безвреден за растенията и тяхната среда.

IR термографията се използва успешно за изследване на температурни стресови процеси в растенията, тяхната адаптация, способност за аклиматизация, издръжливост и оцеляване в условията на преохлаждане и замръзване през студените сезони. Целта е да се открият, запишат и визуализират промените в повърхностната температура на изследвания обект.

Различни вредители и болести възпрепятстват растежа и намаляват доходите от култури [52, 60]. Те могат да променят температурата и водния баланс на растенията. Радиометрията може да се използва за разработване на модели на различни болести или инфекция с вредители, както и тяхното откриване преди появата на синдроми на видимия спектър [53]. Този тип термография е полезен и за полеви работи, за локализиране [63] на райони, където културата е поповредена и съответно изисква по-бърза намеса, той също така дава възможност за наблюдение на различните хранителни вещества, съдържащи се в културите, като по този начин се гарантира, че процесите на торене и въвеждане на съставките, необходими за растежа на растенията, са навременни и подходящи.

В [53, 54, 56, 58, 60] се изследва стомалната проводимост към водни пари ($g\ s$) и / или транспирация (E). Използва се дистанционно измерване с ИРТ, защото при контактно измерване се пречи на правилното функциониране на листата. Независимо от това, променливостта на околната среда (напр. интензивността на светлината, температурата, относителната влажност, скоростта на вятъра) влияе върху точността на измерванията на термичните изображения. Изследването на стомалната проводимост е необходим параметър при определяне на напоителните процедури [54]. Резултатите показват, че термовизионни изображения могат да се използват за планиране на напояване и мониторинг на производителността на културите. В [56] се разглежда потенциалното използване на термично дистанционно наблюдение в селското стопанство, което включва наблюдение на разсадници и оранжерии, планиране на напояване, откриване на болести по

растенията, оценка на добива на плодове, оценка на зрелостта на плодовете и откриване на натъртвания в плодовете и зеленчуците. В [58, 60] чрез ИРТ се правят неинвазивни анализи на метаболизма на растенията. Проучена е възможността, чрез използване на инфрачервена термография, за да се предскаже дали семето ще покълне, или не при поемане на вода.

В [52, 60] е разработена нова методика за измерване на излъчването на листа с помощта на инфрачервен термометър с инфрачервен сензор и термодвойка. Емисиите на листата на три култури са изчислени чрез математическото уравнение, разработено в това проучване. Средните коефициенти на излъчване са 0.9809, 0.9783, 0.981 и 0.9848 за листа на кестен и двете орхидеи. В [60] се анализира променливостта на стойностите на емисионност на девет от най-характерните градинарски култури от оранжерийната продуктивна система в средиземноморския регион.

В [61] е разработена методика за оценка на топлинната емисия на твърди полимери, базиран на метода ATR-FT-IR. Топлинната емисия, изчислена по този метод, е в съответствие с референтните стойности, получени при използване на пещ с черно тяло и може да се прилага за полимерни материали с произволни форми.

В [65] е представено най-съвременното оптично дистанционно наблюдение, прилагано за получаване на данни при изследване на морския климат. Представени са изисквания за генериране на записи на климатични данни от сателитни измервания на океана, както и основни принципи на радиометрията, сателитна видима и термична инфрачервена радиометрия, обхващаща проектиране, характеризирание и калибриране преди и след старта.

На база на критичният анализ са направени изводи, че е необходимо разработване на нови и специализирани модули, методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение, насочено в областта на медицинската диагностика и екология.

ИЗВОДИ:

В [9, 13, 14, 19, 23] са разгледани методи за оценка и търсене на връзка между температурата на кожата и умствено натоварване, стрес, емоции и други психически когнитивни стресори. Направени са два експеримента, включващи измерване на диаметъра на зеницата, сърдечно-съдови и префронтални измервания на кислорода. В [13] се проучва работата на човека при стрес и голямо натоварване, използвайки диаметър на зеницата, сърдечно-съдови и префронтални измервания на оксигенацията, но не е изследвано изменението на температурата на кожата на лицето и изменението на мозъчните вълни.

От написаното дотук се разбира актуалността и широкото приложение на термографията в области като медицина, екология, индустрия и много други. Термографията е гъвкав и ефикасен метод, който със своите предимства, безконтактност и неинвазивност, бързо навлиза в медицината, индустрията и екологията.

В представените в литературата съществуващи методи и средства слабо са застъпени тези, които се предлагат в монографията. Затова въз основа на направените изводи, в настоящата монография се предлага да бъдат разработени следните нови методи и средства в областта на термографията:

1. Разработване на методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение в системи за медицинска диагностика.

2. Разработване на методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация, с приложение в екологични системи.

ГЛАВА ВТОРА

РАЗРАБОТВАНЕ НА МЕТОДИ И СРЕДСТВА ЗА РЕГИСТРИРАНЕ, ИЗМЕРВАНЕ, ОБРАБОТКА И ОЦЕНКА НА ТЕРМОГРАФСКА ИНФОРМАЦИЯ С ПРИЛОЖЕНИЕ В СИСТЕМИ ЗА МЕДИЦИНСКА ДИАГНОСТИКА

Тъй като технологията се развива всеки ден, ние се сблъскваме с нови перспективи в областта на здравеопазването - диагностика и терапия. Това, което се наблюдава през последните няколко години, е значително приложение на инфрачервените изображения, обикновено в областта на диагностиката. Потенциалът на тази технология в съвременната медицина тепърва ще се изследва по-подробно. Настоящата глава е опит за разширяване на възгледа и задълбочаване на разбирането на някои от съществуващите диагнози чрез анализ на данните, предоставени от термична камера [9-21]. Основният анализ, успореден на този, извършен чрез инфрачервено измерване, е ЕЕГ [22-24].

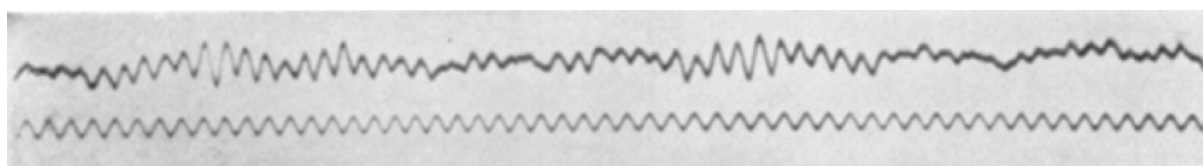
През последните няколко години все по-голямо приложение намира методът с паралелното измерване на ЕЕГ и IR по различни точки от тялото

Много патологични процесите у хората се проявяват като локални промени в производството на топлинна енергия, като променят и модела на кръвния поток при засегнатите органи или тъкани. Благодарение на кръвотока и проводимото прехвърляне на топлина от дълбочина на тялото до повърхността му, инфрачервени изображения се смятат за способни да отразяват дълбоко топлинните процеси в тялото.

Технология

Електроенцефалограмата (ЕЕГ, EEG) е изследване, използвано за електрофизиологично наблюдение и записване на електрическата активност на мозъка. В повечето случаи е неинвазивно, което го прави предпочитан метод за изследване на мозъчна активност.

Първото изследване от подобен тип се случва през 1924-а година в Германия.



Фиг. 2.1. Първата ЕЕГ картина [17]

Самият метод се състои в поставяне на електроди на скалпа, чрез които се засичат мозъчните сигнали. Скалпът преди това бива обработен с проводящ слой гел или паста. Възможно е да се наложи и лека обработка с абразивно вещество

заради наличието на мъртви клетки. Електричният заряд на мозъка като единична система се поддържа от милиарди неврони. Невроните пренасят електричен заряд чрез протеини. Заради нуждата от изравняване на потенциала, невроните винаги обменят йони с външно клетъчни мембрани. При този обмен, след достигане на йоните до скалпа, е възможно улавянето им от електроди. Измерването на подобни заряди за определен период от време, между два електрода в своята същност е ЕЕГ изследването.

Някои системи за електроенцефалография използват отделни единични електроди. При нуждата от повече точки за изследване (по-голяма плътност и покритие на изследвания регион) се използва мрежа с прикачени електроди.

Най-често разположението на електродите следва международната 10-20 система. Този начин подsigурява консистентност на обозначенията на електродите [17].

В повечето медицински изследвания се използват 19 електрода (+заземяване). Възможно е добавянето и на по-голям брой при нуждата от по-висока чистота на сигналите в дадена област от мозъка. Съществуват установки за ЕЕГ с над 256 електрода.

Всеки електрод е свързан с един вход на диференциален усилвател. Той се използва за усилване на сигнала с между 60 - 100 dB. При аналоговата електроенцефалография, след усилването, сигналът се филтрира и се визуализира с помощта на мастило и движеща се хартия. В днешно време обаче, повечето от ЕЕГ системите са дигитални и усиленият сигнал се преобразува от аналогов използвайки аналогово - цифров преобразувател.

Цифровата ЕЕГ се съхранява електронно и може да бъде филтрирана преди изобразяването. Често се използват високо или нискочестотни филтри (с граници, съответно 0.5 - 1 Hz и 35 - 70 Hz). Високочестотните филтри изолират бавни артефакти от ЕЕГ картината като движения на очите, неволния трептения на тялото и др. Нискочестотните филтри служат за обратното, най-вече изолиране на електромиографски сигнали (сигнали от скелетно-мускулната система).

Съществуват вариации на ЕЕГ, които изискват по-инвазивен подход. При изследвания за епилепсия може да се наложи приближаването на електродите по-близо до повърхността на мозъка. Този метод има наименованието "електрокортикография". Възможно е и по-дълбоко изследване чрез поставяне на електродите в амигдалата или хипокампуса - части от мозъка, за които се предполага, че са обвързани с епилепсията. Стандартната амплитуда на сигнал от ЕЕГ за възрастен човек е между 10 и 100 μV , а за ЕКГ 10 - 20 mV.

Тъй като ЕЕГ сигналът представлява разлика между напрежението на два електрода, съществуват два начина на монтаж: последователен и референтен. При последователния монтаж се използва разликата между два съседни

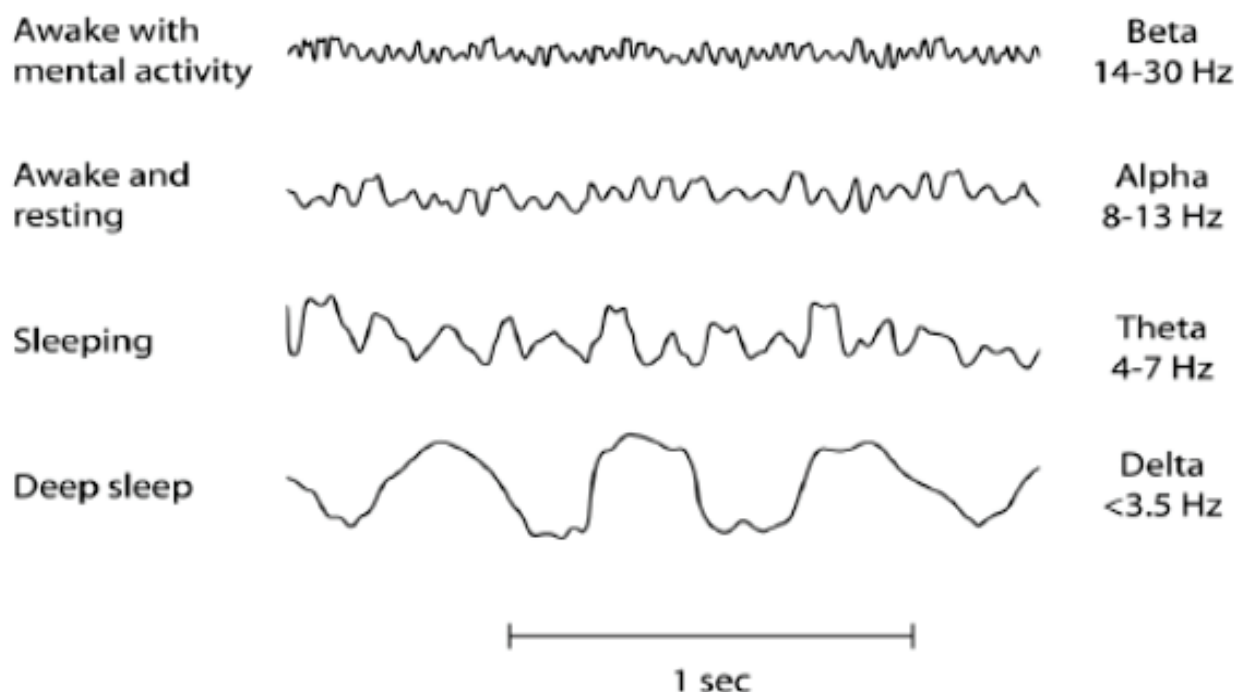
електрода, като цялата установка се представя като серия от тези канали. При референтния монтаж, всеки електрод се сравнява с друг, предварително избран, *референтен*.

В сферата на медицинските изследвания процедурата често се провежда, след индуциране на стандартна или нестандартна мозъчна активност (хипервентилация, осветяване на очите, отваряне и затваряне на очите, изострена липса на сън, необичайни движения на крайниците и др.)

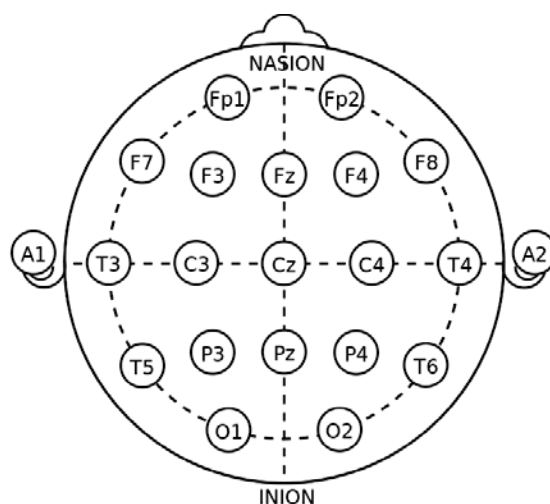
Както казахме, невроните пренасят електричен заряд чрез протеини и поради нуждата от изравняване на потенциала, те винаги обменят йони с външно клетъчни мембрани. При този обмен, след достигане на йоните до скалпа, е възможно улавянето им от електроди. Измерването между два електрода в своята същност е ЕЕГ изследването.

Някои системи за електроенцефалография използват отделни единични електроди. При нуждата от повече точки за изследване (по-голяма плътност и покритие на изследвания регион) се използва мрежа с прикачени електроди.

В сферата на медицинските изследвания процедурата често се провежда, след индуциране на стандартна или нестандартна мозъчна активност (хипервентилация, осветяване на очите, отваряне и затваряне на очите, изострена липса на сън, необичайни движения на крайниците и др.)



Фиг. 2.2. Получен сигнал от различни състояния след подходяща филтрация [17]



Фиг 2.3. Разположение на електродите върху главата

Международната 10-20 система е одобрен метод за разположение на електродите в контекста на ЕЕГ изследванията. Методът е разработен с цел консистентност на данните при проучвания в различни лаборатории.

“10” и “20” се отнасят за разстоянието между електродите, което е 10% или 20% от дължината / ширината на черепа.

Останалите обозначения са както следва:

1. Т - Темпорална част;
2. Р - Париедална част;
3. Рf - Префронтална част;
4. F - Фронтална част;
5. Окципитална част;
6. С - Централна част.

При това разположение на електродите не е задължително използването на централна част, тъй като сигналите, произлизащи от тази област, често се улавят от съседни електроди. Често се добавят и допълнителни Z-електроди, близо до всеки от гореизброените, за достигане на по-голяма точност. При обозначението се използват четни цифри за дясната част на главата, а нечетни за лявата.

Ограничения: Съществуват множество ограничения на ЕЕГ модела. Най-сериозен от които е пространствената резолюция. Малката повърхност на черепа (скалпа) не е достатъчна за улавянето на всички сигнали от комплексен източник, като мозъка. Методът е най-добър за отчитането на набор от сигнали, които произлизат от конкретен брой места в мозъка. Дендритите, които се намират по-надълбоко или произвеждат напречни сигнали, не подпомагат картината и не допринасят с почти никаква информация.

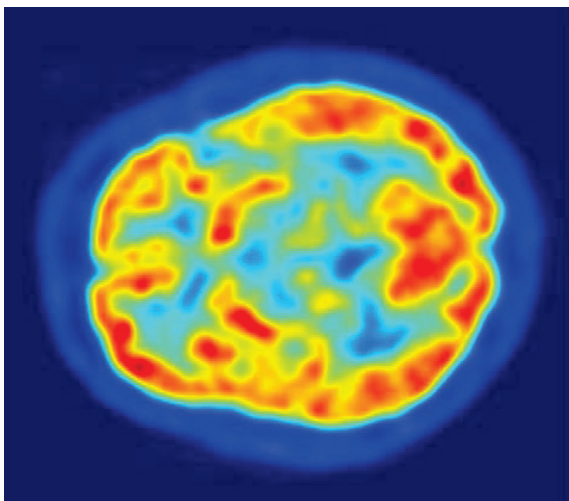
Друга сериозна лимитация на ЕЕГ модела е, че улавянето на сигнали се случва почти експлицитно от производни на дендритите, вместо аксоните.

Поради този факт е общоприето, че не може да се съди за глобална мозъчна активност, базирано на ЕЕГ изследване.

Сравнение с други системи

Независимо от лимитациите, ЕЕГ предоставя и множество плюсове, най-значим от които възможността за засичане на промени в рамките на милисекунди (взимайки предвид разпространението на сигнала за ~ 0.2 милисекунди през цялата дължина на един неврон. За сравнение, промяна на цялостната картина при позитрон-емисионна томография (РЕТ) и функционален магнитен резонанс (fMRI) отнема секунди или дори минути.

За компенсация на ниската пространствена резолюция, ЕЕГ картините често се правят в комбинация с някои от гореизброените методи, както и инфрачервена спектроскопия.



Фиг. 2.4. Изображение получено чрез РЕТ [7]

За сравнение, промяна на цялостната картина при позитрон-емисионна томография (РЕТ) и функционален магнитен резонанс (fMRI) отнема секунди или минути.

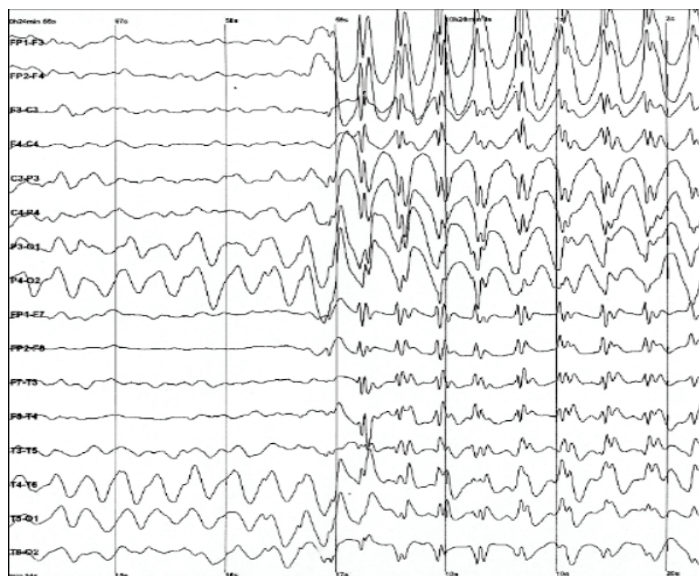
За компенсация на ниската пространствена резолюция, ЕЕГ картините често се правят в комбинация с някои от гореизброените методи, както и инфрачервена спектроскопия

Приложения

Стандартното ЕЕГ изследване отнема не повече от един час, което го прави изключително удобно. Рутинното му използване е честа практика при диагностицирането на епилептични пристъпи и други причинители на припадъци (характеризирани се с аномална мозъчна активност). ЕЕГ изследванията се прилагат и за проверка на силата на упойка, с въвеждане на външен дразнител в дадена част от тялото, след прилагане на упойката.

За по-сложни аналитични задачи върху извлечените от ЕЕГ данни се използва допълнителна филтрация на сигналите. Например при тестове за

емоции, пораждащи конкретни сигнали, се филтрират движенията на очите и неволни трептения на тялото, след което се инкорпорират различни техники от сферата на изкуствения интелект [17].



Фиг. 2.5. Анормална активност на мозъка при епилептичен пристъп [6].

Устройство и принцип на работа на електроенцефалограф

В основата си електроенцефалограма работи както всеки друг апарат, измерващ биопотенциали.



Фиг. 2.6. Обща блокова схема на апарат за измерване на биопотенциали

Метод на провеждане на изследването:

Електроенцефалограмата може да се извърши в болница или в лекарския кабинет, като разчитането на записа се извършва от лекар специалист по нервни болести — невролог.

Изследването се извършва по следния начин:

- Ще бъдете помолени да легнете по гръб на кушетка или да седнете удобно в полулегнало положение в кресло, да затворите очи и да се отпуснете;
- Ще ви бъдат поставени между 16 и 25 плоски метални дискове (електроди) на различни места по главата, като за прикрепването им се използва

специален препарат/гел. При новородени обикновено се използват по-малък брой електроди.

- През цялото време на изследването трябва да сте със затворени очи, да останете спокойни и да не говорите, освен ако не се налага;

- Възможно е изследването да се прекъсва през определени интервали от време, което ще позволи да се раздвижите или смените положението на тялото;

- Възможно е изследващият да ви помоли да направите различни неща по време на теста, като през това време ще проследи промените в електрическата активност на мозъка

- Електроенцефалограмата може да отнеме от 45 минути до 2 часа, като след теста може да се върнете към обичайните си дейности.

Други изследвания, които могат да се направят заедно с ЕЕГ, включват:

- видео ЕЕГ:

Записва пристъпите върху видео носител или на компютър, което позволява на лекуващия лекар да види, какво се случва непосредствено преди, след, както и по време на пристъп.

Това изследване може да бъде много полезно при локализирането на конкретната област на мозък, в която евентуално възникват пристъпите.

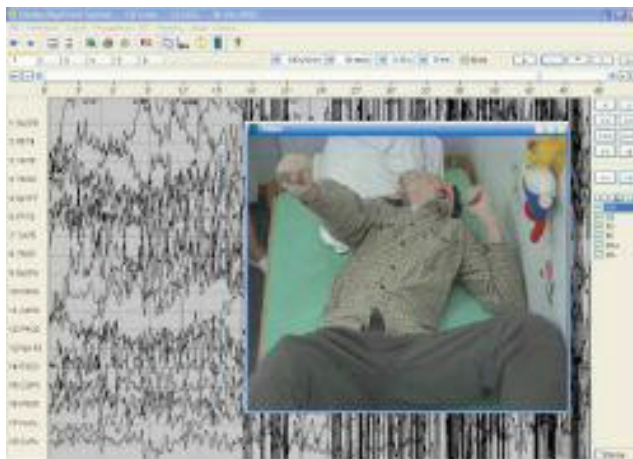
Видео ЕЕГ е полезно и за диагностициране на психогенни пристъпи, които могат да изглеждат като същински такива, но не повлияват електрическата активност на мозъка.

Видео електроенцефалограмата може да се използва както в краткосрочен, така и в дългосрочен план:

- ✓ краткосрочният мониторинг се извършва в амбулаторни условия и може да продължи до 6 часа;

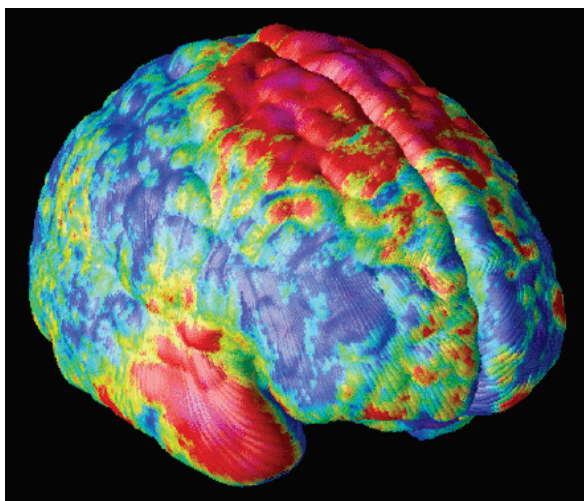
- ✓ дългосрочното наблюдение се извършва в болница и може да продължи от 3 до 7 дни

- картографиране на мозъка:



Фиг. 2.7. Пациент с епилептичен пристъп [11]

Това е сравнително нов метод, който много наподобява ЕЕГ. При мозъчното картографиране също се поставят електроди върху скалпа на пациента, чрез които електрическата активност на мозъка се предава към компютър, изработващ цветна карта на мозъчните сигнали.



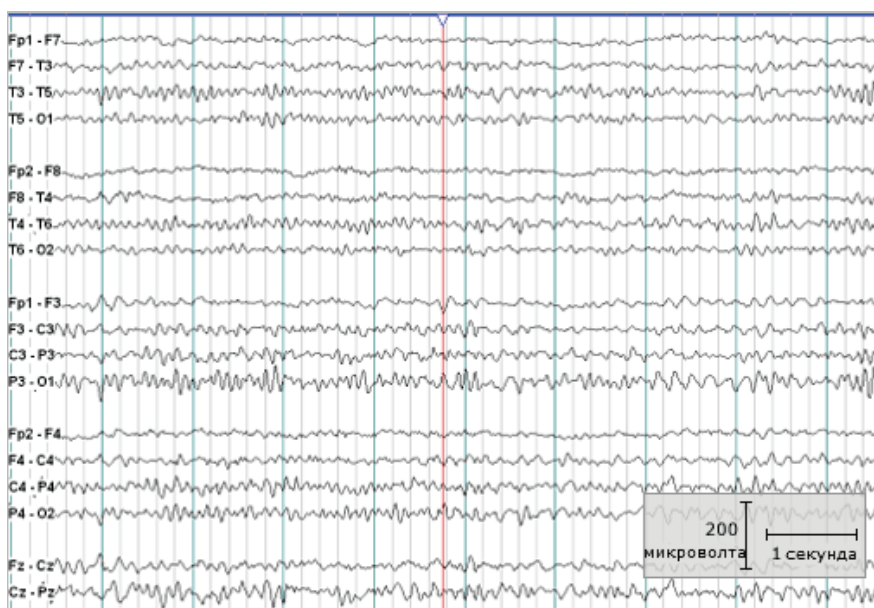
Фиг 2.8. Инфрочервено изображение на мозък [7]

- амбулаторно ЕЕГ мониториране:

При това изследване пациентът е в състояние да се движи, като тестът дава възможност за продължителен запис на електрическата активност на мозъка. Използват се по-малко на брой електроди, като пациентът носи малко, преносимо записващо устройство.

Записът може да продължи цял ден или повече, като на изследвания е позволено да напуска болницата.

Амбулаторното ЕЕГ проследяване не е толкова прецизно като стандартната електроенцефалограма.



Фиг 2.9. Стандартно ЕЕГ изследване

Нормални стойности:

- ✓ При възрастни, които са будни, се установяват предимно алфа и бета-вълни
- ✓ Двете половини на мозъка показват сходен модел на електрическа активност
- ✓ Не се установяват отклонения в електрическата активност на мозъка, както и наличие на бавни мозъчни вълни
- ✓ При използване на мигащи светлини (стробоскопична стимулация) по време на изследването, при една част от мозъка (тилната област) могат да се установят краткотрайни промени, но като цяло мозъчната активност остава нормална

Приложение на инфрачервената термография в Биофийдбек системи:

Биофийдбек е метод, който позволява на човек да се научи да повлиява на своите физиологични процеси, за да подобри своето здраве и постижения. Информация за физиологичните процеси се връща към човек като по безконтактни методи. Този метод обаче използва данни от времеви серии и е начин да се изостря вниманието му към тях и той се научава да ги контролира съзнателно.

Технологиите за биологична обратна връзка или биофийдбек се използват при третирането на психосоматични, психични и неврологични разстройства – едно широко поле от приложения. Също така се прилагат с голям успех при управлението на стреса и подобряване на представянето в професионалния живот, спорта, бизнеса и изкуството.

Методика за изследване на топлинното поле на човешко лице:

методика, основана на ЕЕГ

Чрез анализ на данните, предоставени от термична камера, в тази глава се прави опит да се разшири възгледът и да се задълбочи разбирането на някои от съществуващите диагнози [9-21]. Основният анализ, успореден на този, извършен чрез инфрачервено измерване, е ЕЕГ [22-24]. Изследванията, които сега се правят, са фокусирани основно върху една диагностична процедура без паралелно диагностициране с термокамера. Търсенето на зависимости (корелации) между различни процеси или точки от тялото е сравнително рядко [25, 26]. Това е причината да се проведе проучване в тази област. ИР термографията не влияе на основната ЕЕГ процедура и няма специални изисквания, освен общите болнични правила. Тази процедура за измерване на температура на кожата е неинвазивна, освен това в повечето случаи е пасивна и е най-безопасна за човека, в сравнение с рентгенография, ехография, компютърна томография, ЯМР и други. Поради това че ИР и ЕЕГ са неинвазивни, това дава възможност да се провеждат измервания извън болницата [27].

Термографската камера, използвана в измерванията на температурата на човешката кожа, е FLIR E40, с чувствителност $<0,07^{\circ}\text{C}$ и температурен диапазон $(-20^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C})$ [28]. Камерата е фиксирана на стойка, за да бъде точността максимална. Използван е коефициент 0.98 за корекция на изображението на човешката кожа, като е избрана таблица с коефициенти за корекция [5].

Експериментални резултати: Направени са серия от изображения при следните пакети от интервални процедури: умствено натоварване 5 минути и релакс 5 минути. С инфрачервд камерата са направени снимки през 20 секунди за 5 минути, по 15 снимки за всеки от пакетите умствено натоварване и релакс.

По време на експеримента са направени 4 групи x 15 снимки: 2 групи при умствено натоварване (по 5 минути) и 2 групи при релакс (по 5 минути).

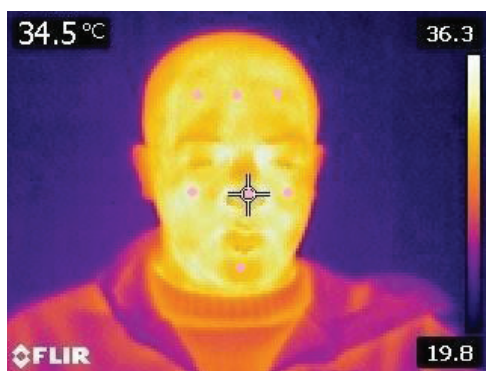
Експериментът се извършва в тиха стая в седнало неподвижно положение при температура в помещението 20°C след аклиматизация от 20 минути и относителната влажност показва стабилни стойности във времето [27].

На фиг 2.4. е показана една от снимките на първия участник. На фиг. 2.10a 2.10e са показани снимки на част от останалите участници. Общият брой участници е 35.

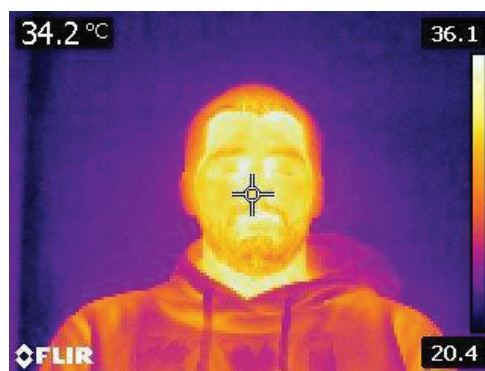
При умствено натоварване се използват задачи от типа - премахване на числото, например 7 или 5 от 200, другият тип задачи са събиране на числото 7 до 210. Целта е този тип изчисления да са средно трудни.

Показани са обобщени резултати на избрани точки на всички участници.

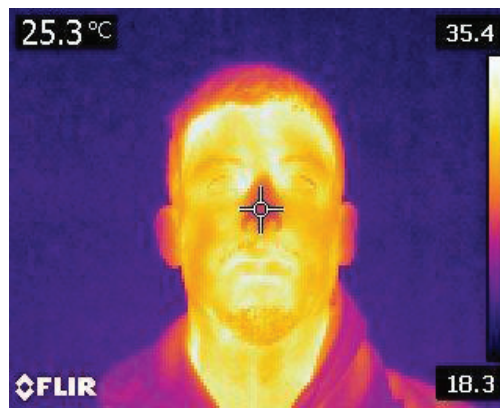
Радиационният коефициент в наблюдаваните зони на човешката кожа е избран със стойност 0,98. Обработката е извършена с оригиналния софтуер на камерата - версия FLIR Tools + 5.3.1. Осем интересни позиции са избрани на лицето: E11, E12, E13 - на челото; E14, E16 - в областта на бузите; E15 - на върха на носа; E17 - на брадичката; E18 - на шията; Избрахме елипси, а не точки, за да премахнем шумове и вероятните малки движения по време на експеримента.



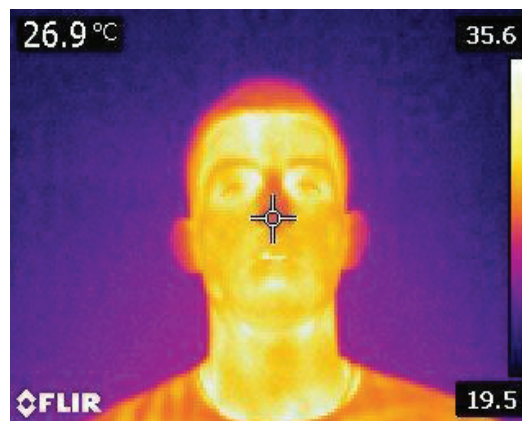
Фиг. 2.10a Инфрачервено изображение, направено по време на експеримента с първият участник в областта на интерес



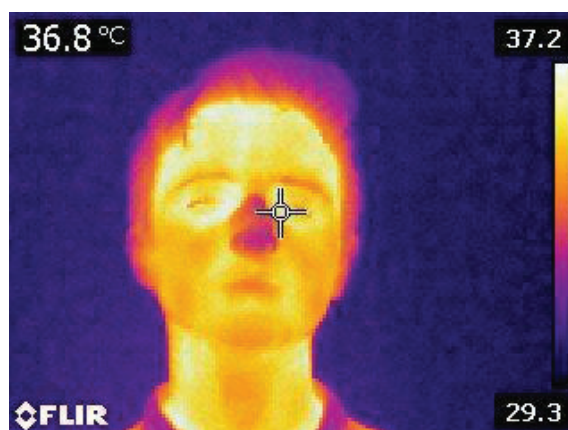
Фиг. 2.10b. Инфрачервено изображение, направено по време на експеримента с вторият участник в областта на интерес



Фиг. 2.10с. Инфрачервено изображение, направено по време на експеримента с третия участник в областта на интерес



Фиг. 2.10d. Инфрачервено изображение, направено по време на експеримента с четвъртия участник в областта на интерес.



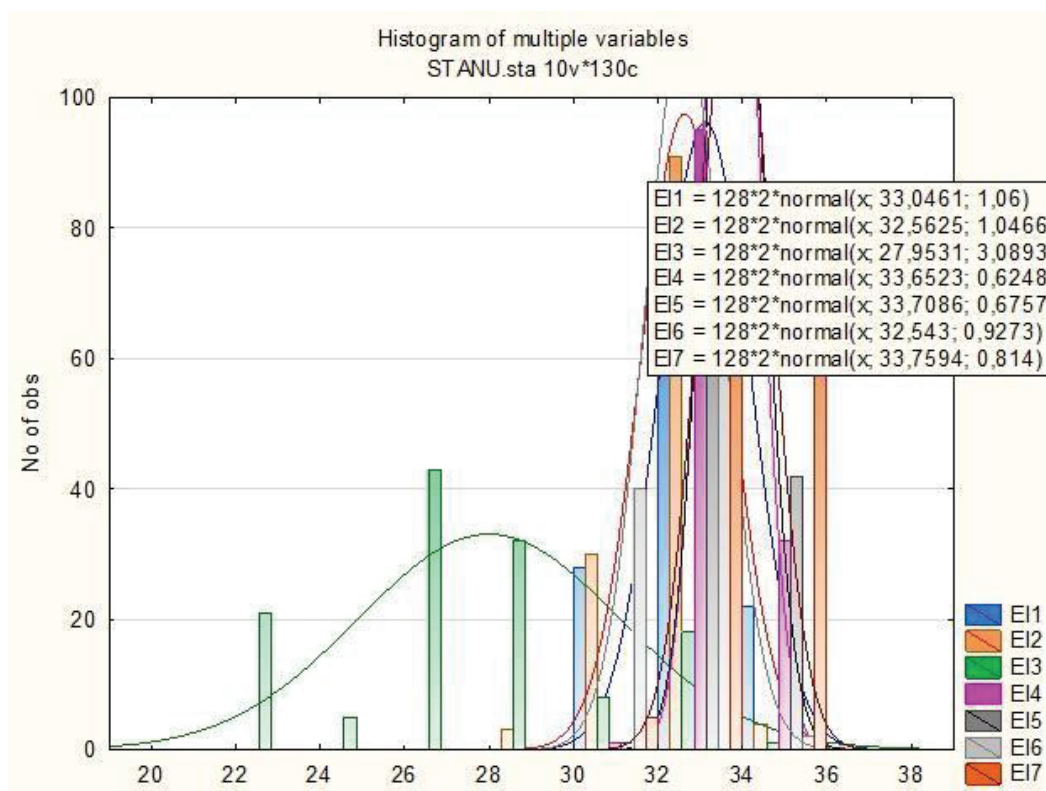
Фиг. 2.10е. Инфрачервено изображение, направено по време на експеримента с петнадесетия участник в областта на интерес

Анализ на получените резултати

Фигура 2.15 показва всички данни, получени след обработката на информацията

Табл. 2.1

Descriptive Statistics							
	Valid N	Mean	Confidence - - 95,000%	Confidence - 95,000%	Minimum	Maximum	Std.Dev.
E11	128	33,04609	32,86069	33,23149	30,70000	34,70000	1,060003
E12	128	32,56250	32,37944	32,74556	29,80000	34,30000	1,046629
E13	128	27,95313	27,41279	28,49346	22,20000	34,10000	3,089325
E14	128	33,65234	33,54306	33,76163	31,40000	35,20000	0,624811
E15	128	33,70859	33,59041	33,82677	31,10000	35,20000	0,675677
E16	128	32,54297	32,38077	32,70516	30,10000	34,50000	0,927335
E17	128	33,75937	33,61700	33,90175	31,70000	35,00000	0,813995



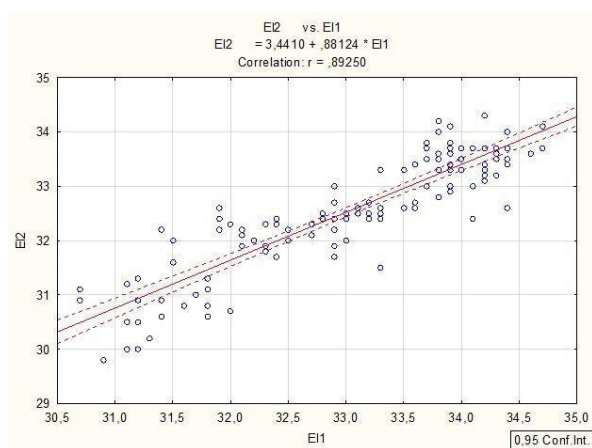
Фиг. 2.15. Хистограма на множество променливи

Сравнение с графиките на теоретичния Гаусов (нормален) закон на разпределение. На фиг. 2.15 е представена хистограма на множеството променливи и за сравнение е показана графиката на очакваното идеално Гаусово разпределение.

Табл. 2.2

Regression Summary for Dependent Variable: E11						
	b*	Std.Err. - of b*	b	Std.Err. - of b	t(126)	p-value
Intercept			3,612690	1,325837	2,72484	0,007348
E12	0,892501	0,040182	0,903905	0,040696	22,21124	0,0000001

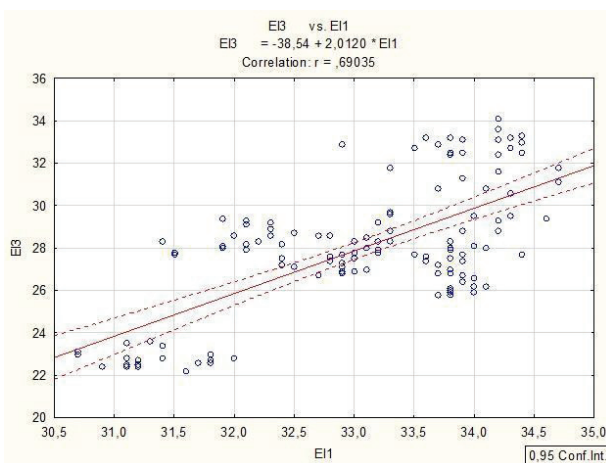
Зависимост между повишаване на измерените температури в различни предварително определени точки на интерес, при изследване на реакцията на организма, следствие натоварване на централната нервна система. На фиг. 2.16 по-долу са показани експерименталните данни, получени при измерването на различни двойки точки.



Фиг. 2.16. Експериментално определени зависимости между E11 и E12.

Табл. 2.3

Regression Summary for Dependent Variable: E11						
	b*	Std.Err. - of b*	b	Std.Err. - of b	t(126)	p-value
Intercept			26,42480	0,621912	42,48962	0,0000001
E13	0,690349	0,064452	0,23687	0,022115	10,71099	0,0000001



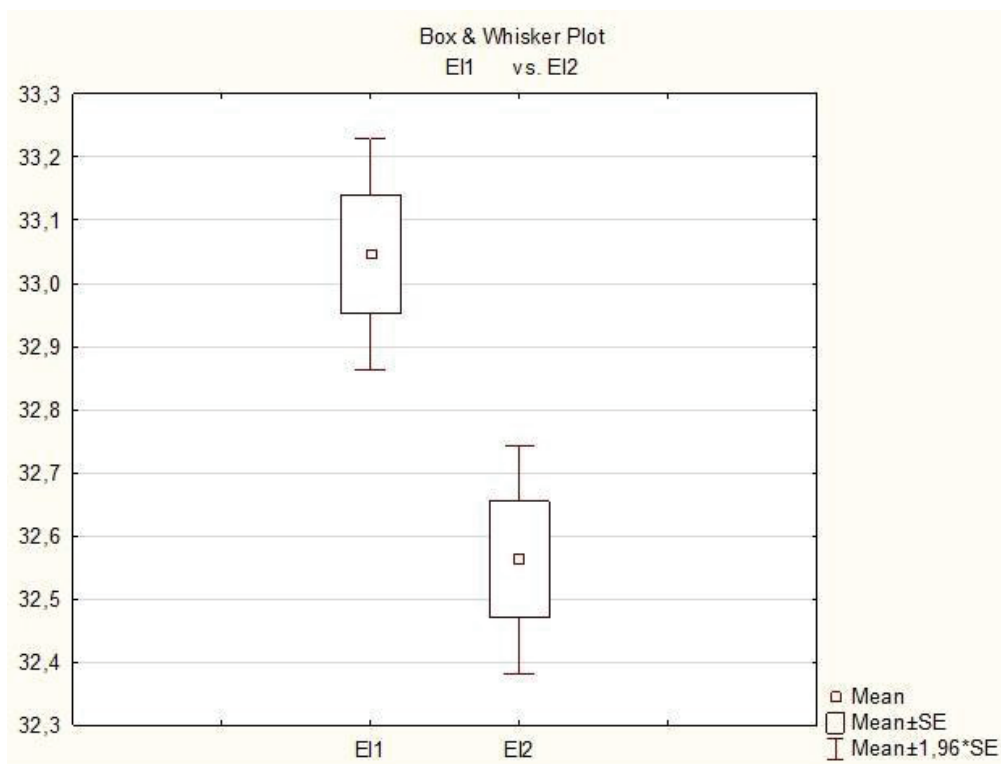
Фиг. 2.17. Експериментално определени зависимости между E11 и E13

Изследване при други точки на интерес.

Получени въз основа на статистическа обработка, доверителни интервали са представени на фиг. 2.18 по-долу.

Табл. 2.4

T-test for Independent Samples Note: Variables were treated as independent samples					
	Mean - Group 1	Mean - Group 2	t-value	df	p
E11 vs. E12	33,04609	32,56250	3,672849	254	0,000292



Фиг. 2.18. Доверителни интервали при апроксимация на експерименталните данни

Анализираните данни предоставят друга гледна точка за безброй приложения на термични изображения за медицински цели. Такъв анализ може да бъде много полезен при предоставянето на ново разбиране на широко използваната технология по отношение на безопасността и ефективността на физиотерапията. Тъй като IR изобразяването е неинвазивно и не носи никакви рискове, може да се използва, където е полезно и осъществимо. Освен това то има голям потенциал за диагностична медицина да търси връзки между различни температурни точки и при напълно различни явления.

Влияние на умственото натоварване върху отклоненията в инфрачервената термография на човешкото лице: оценка

Целта на това проучване е да се открият връзките между температурите на различните зони на лицето при психическо натоварване (MWL). Потърсени са корелации между точки и области и оценки на средните стойности и отклонения

по време на експеримента с група хора. Мозъците на тези хора първоначално са били в покой, а след това са били натоварени с аритметични изчисления.

В наши дни често се използват бутоните на калкулаторите, които улесняват нашия живот. Това несъмнено ще се увеличи в бъдеще, тъй като програмите стават все по-усъвършенствани и скоростта на машините се увеличава, а размерът и цените им намаляват. За съжаление, това доведе до разчитане на калкулатора дори и за прости изчисления: ученикът автоматично посяга към своя калкулатор, веднага щом види въпрос за добавяне или умножение, който трябва да се направи.

Зависимостта от калкулаторите, вместо естествените умствени умения на хората, може да доведе до загуба на интелектуална способност. Тъй като калкулаторите стават все по-сложни, те могат да вършат все по-сложни задачи: да рисуват графики, да решават уравнения и да диференцират и интегрират. В крайна сметка, всички математически процеси, на които умът е способен, биха могли да се извършват с калкулатора. Това показва, че ние не практикуваме само математика, която калкулаторът не може да направи, а че практикуваме математика заради нейната способност да развива ума [9-14].

Вродената способност на хората да решават математически задачи, без да се отнасят до приложенията, е известен във времето метод за поддържане на ума си стимулиран [14-17]. Човек става по-запознат с това как си взаимодействат числата. Ако някой не може да добави и извади без помощта на калкулатор, това със сигурност може да се отрази негативно на конгнитивното му развитие. Това е фактът, че калкулаторите са най-полезни в обстановка, която изисква изчисления, които са по същество невъзможни за човешкия мозък, като например да се изчисли с голяма скорост или да бъдат направени доста голям брой изчисления.

Увеличаването на умственото натоварване, което е следствие от способността за решаване на аритметични задачи, е подходящо за оценка на промените в процесите на човешкото тяло [18-22]. Тук се изследват температурните полета, отразени чрез промени върху човешкото лице [23]. В нашата изследователска група сме изследвали идеи за оценка и оценка на корелациите, използвайки лицеви термични изображения, измерени чрез инфрачервена термография [24, 25].

Технологиите за термично изображение са широко използвани в индустрията за откриване на неизправности в операционни компоненти или системи [26-32]. Освен това технологията може да бъде разширена и за разпознаване на лична идентификация [32]. Тук проучваме как разпределението на кръвния поток в повърхностните кръвоносни съдове причинява промените на локалната температура на кожата. Това лесно се вижда върху човешкото лице, където плътта е много тънка [26, 27]. Човешкото лице и тяло излъчват както средните, така и

далечните инфрачервени (8-12 μm) лъчи. Следователно, средните и далечните инфрачервени термокамери могат да уловят температурните разпределения в лицето на разстояние, за да произведат топлинни изображения.

Предимството на използването на температурата на кожата е, че за разлика от измерването на електрофизиологичните показатели, методът премахва необходимостта от закрепване на сензори, поради което е възможно да се измери умственото натоварване чрез използване на малко ограничени и безконтактни методи. Този метод обаче използва данни от времеви серии и е относителна оценка, базирана на сравнението на почивка и натоварване със задачи, като по този начин предоставя обратна информация за резултатите от анализа и отнема много време.

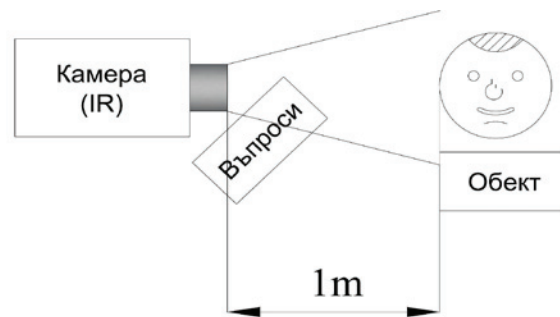
Всеки обект с температура по-висока от абсолютна нулева стойност ще излъчва електромагнитно лъчение [29]. Това е известно като естествено или топлинно излъчване. По дефиниция, цялата падаща радиация ще бъде погълната от черно тяло в непрекъснат спектър според Планк [2]. Много методи се основават на екстракцията на температурата на челото и носа за извършване на оценката [33]. Този подход обаче не отчита връзката между различни точки / области.

Предлаганото проучване дава възможност за улавяне на части или области на промяна на температурата, различни от носа. Това предоставя възможността за точна оценка. Като цяло физиологичните индекси често се използват като индикация за вегетативна нервна активност, получена от показатели като пулс, дишане, кръвно налягане, миоелектрични свойства и електроенцефалограма (ЕЕГ) .

Резултати, получени при провеждане на експериментите

Направена е оценката на физиологичното психическо състояние, за да се определи умственото натоварване с помощта на топлинно изображение на температурата от кожата на цялото лице, измерено чрез инфрачервена термография (фиг.2.19).

За натоварване са използвани задачи с изваждане и добавяне на числа [10]. По време на експеримента бяха използвани задачи, отпечатани на обикновена хартия А4. Избрана е тази опция, за да се избегне допълнителното влияние от екрана на компютъра. В началото кожата на всички участници трябваше да се темперира, за да се избегне влиянието на предишната външна температура. Процесът на темперирание продължи 20 минути, беше осигурена постоянна температура на околната среда и относителна влажност, без принудително движение на въздуха и близко разположени системи за топлина или охлаждане.



a)



b)

Фиг. 2.19. Експериментална настройка а-позиции в пространството, б-време на експеримента

По този начин само психологическите фактори влияят на резултатите при промяна на температурата, т.е. влиянието на околната среда е сведено до минимум.

Експериментът се провежда сравнително лесно и е евтин, тъй като дизайна е опростен, освен това може да се проведе извън болничното заведение.

Всичко това, в съчетание с откритостта на лицето на човека като част от човешкото тяло, прави този метод подходящ, достъпен и обещаващ за много различни бъдещи изследвания. Измерването е безконтактно, неинвазивно и безопасно за участниците и околната среда и не зависи от яркостта във видимия спектър, което го прави лесно да се приложи. По време на експеримента се прави запис на IR изображението и след това се проследява промяната в реакцията на мозъка и нервната система съответно на кръвообращението и метаболизма, изразена чрез съответна промяна в температурата на определени части от човешкото лице. Използва се инфрачервена камера FLIR E40.

Направени са експерименти с участието на повече от 35 души. На всеки човек са направени 21 снимки. 10 в състояние на покой и 11 в състояние на MWL. Снимките са обработени с FLIR инструменти, версия 5.12.17041.2002. В настройките използвахме 0,98 като стойност за коефициент на излъчване [32]. Избрани са 7 региона по интерес, както се вижда от фиг 2.20. Изборът е направен след анализ на геометриката на човешкото лице. От всяка зона е взета средна стойност на температурата и след това е подредена в таблица.

Тъй като таблицата е повече от 100 реда, не е представена тук.



Фиг. 2.20. Пример за инфрачервено изображение, направено по време на експериментите.

В Таблица 2.5 е представено обобщение на температурите (min, max и средни стойности) за всички участници, за всички зони на интерес.

Табл. 2.5.

Резюме на температурите в зони (ellipses)

	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17
min	30,7	29,8	22,2	31,4	31,1	30,1	31,7
max	34,7	34,3	34,1	35,2	35,2	34,5	35,0
average	33,0	32,6	28,0	33,7	33,7	32,5	33,8

Установено е, че абсолютната температура в различните зони на различните участници варира в широки граници. Поради тази причина са използвани централни статистически моменти. Изчислени са отклонения за всеки човек, разделени за случаи „почивка“ и „MWL“, табл. 2.6

Табл. 2.6.

Отклонения

person	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17
rest 1	0,008	0,041	0,473	0,009	0,039	0,044	0,007
mwl 1	0,016	0,037	0,138	0,060	0,027	0,052	0,007
rest 2	0,020	0,043	0,255	0,035	0,026	0,023	0,022
mwl 2	0,016	0,089	0,121	0,054	0,369	0,014	0,016
rest 3	0,144	0,314	0,662	0,390	0,063	0,103	0,035

mwl 3	0,071	0,073	3,527	0,197	0,071	0,149	0,036
rest 4	0,294	0,312	0,637	0,094	0,092	0,325	0,056
mwl 4	0,084	0,109	0,134	0,081	0,038	0,053	0,044
rest 5	0,187	0,078	0,326	0,076	0,072	0,007	0,025
mwl 5	0,046	0,047	0,522	0,040	0,038	0,086	0,010
rest 6	0,172	0,127	0,134	0,431	0,171	0,389	0,048
mwl 6	0,112	0,193	0,129	0,401	0,173	0,385	0,020

Извадени са стойностите на дисперсия, в случая „MWL“ на стойностите в „rest“. Тези стойности са показани в таблица 2.7.

Табл. 2.7.

Изведени ВАРИАНТИ - (CASE REST MINUS CASE MWL)

prsn	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17
1	-0,007	0,004	0,335	-0,051	0,012	-0,009	0,000
2	0,004	-0,046	0,135	-0,019	-0,342	0,009	0,007
3	0,073	0,241	-2,865	0,193	-0,008	-0,046	-0,001
4	0,210	0,203	0,503	0,013	0,054	0,273	0,012
5	0,140	0,031	-0,196	0,035	0,034	-0,079	0,015
6	0,060	-0,066	0,006	0,030	-0,002	0,004	0,028

Забелязва се, че само области E11 и E17 са показателни. Накрая са изчислени съотношението между различните зони за всички измервания (таблица 2.8).

Табл. 2.8.

Корелиране между зони

E11-E12	E11-E13	E11-E14	E11-E15	E11-E16	E11-E17
0,9	0,7	0,7	0,4	0,9	0,9
E12-E13	E12-E14	E12-E15	E12-E16	E12-E17	
0,7	0,5	0,3	0,8	0,9	
E13-E14	E13-E15	E13-E16	E13-E17		
0,4	0,3	0,7	0,8		
E14-E15	E14-E16	E14-E17	E15-E16	E15-E17	E16-E17
1,0	1,0	0,6	0,9	0,4	0,9

ИЗВОДИ

1. Анализирани са данните от фиг. 2.10а, получени след обработката им в области E11 до E18 при изследвани 60 снимки, направени след комбинация от четири групи изследвания. Забелязва се увеличение на температурата на лицето в областта на измерване при умствено натоварване.

2. Направени са експерименти за всеки човек, разделени за случаи „почивка“ и „MWL“, таблица 2.6. Изведени са стойностите на дисперсия, в случая „MWL“ на стойностите в „rest“. Тези стойности са в Таблица 2.7. Накрая са изчислени съотношението между различните зони за всички измервания Таблица 2.8. Резултатите показват, че само области E11 и E17 са показателни.

3. Разработена е методика, при която чрез IR заснемането на промяна на повърхностната температура на кожата на определени области от човешкото лице позволява регистриране на промяната в мозъчната активност фиг 2.19. Прилагат се в надеждни механизми за оценка на въздействието на различни мисловни процеси върху ума, а оттам и на физиологичните реакции на човешкото тяло [S3, S5].

Предложените методики биха допринесли за подобряване на диагностиката, посредством биофийдбек системи.

Основните резултати, получени в глава 2, са публикувани в:

[S3] Kalin Dimitrov, **Stanio Kolev**, Igljka Andonova, Tsvetan Mitsev, „Infrared investigation on the thermal field of human face during the EEG session“ ICEST 2016 Ohrid Macedonia June 2016 pp. 479 -582.

[S5] Kalin Dimitrov, **Stanyo Kolev**, Hristo Hristov and Viktor Mihaylov, “ Evaluation of variances in infrared thermography of a human face during the mental workload” ICEST 2017, pp. 85-88

ГЛАВА ТРЕТА

РАЗРАБОТВАНЕ НА МЕТОДИ И СРЕДСТВА ЗА РЕГИСТРИРАНЕ, ИЗМЕРВАНЕ, ОБРАБОТКА И ОЦЕНКА НА ТЕРМОГРАФСКА ИНФОРМАЦИЯ С ПРИЛОЖЕНИЕ В ЕКОЛОГИЧНИ СИСТЕМИ

В индустриалните процеси често се налага да се правят сложни топлотехнически изчисления за топлинния товар от оборудването и съоръженията върху отоплителните и климатични системи. С помощта на термографска камера може да се създаде термичен модел на технологичното оборудване, като се изчисли какво ще бъде топлинното излъчване от повърхността на машината.

Термографското обследване на сгради е ефективен метод за оценка на енергийната ефективност на ограждащата конструкция, но той не позволява да се пресъздадат специфичните атмосферни условия, при които се наблюдават засилване на въздушните течения през сградната обвивка. Инфрачервената термография е много полезен инструмент в ръцете на енергийните одитори и позволява да се визуализират температурните аномалии, свързани с топлинни загуби от непрекъснати термомостове и въздушни течения

В много държави все още не се използват големите възможности, базирани на комуникационни технологии, за да се вземат сериозни мерки във връзка с енергийната ефективност. Проблемът с въвеждането на подобни технологии за управлението на енергията е, както едно предизвикателство, така и една голяма възможност. В глобален мащаб, ако не се намали употребата на енергия, цената ѝ ще продължи да се повишава, а ефектите от климатичните промени ще имат негативно отражение върху живота на хора.

Тази ситуация започва да се променя значително, благодарение на инициативите на научните среди и политическите процеси. Необходимо е да се анализират всички възможности с крайно ползване на енергия. Възможностите за спестяване възлизат на почти половината от сегашната употреба на енергия, въпреки че, в някои държави се достигат величини по-високи от средните.

Една от основните пречки за постигане на енергийна ефективност е липсата на знания и конкретни данни както за домовете и предприятията, така и във всички сфери на обществото, поради което е необходима една обща стратегия, чрез която да се предостави на всяка една от тези групи необходимият инструментариум за измерване, контрол и управление.

Най-чистата енергия е тази, която не е изразходвана. Едни от ключовете за енергоспестяване са интелигентното управление и енергийният мениджмънт. Това са едни от най-ефективните стратегии за спестяването на електричество и топлинна енергия. Необходимо е постоянно да се ограничава консумацията и да

се повишава енергийната ефективност. Това се постига, като се следи потреблението на енергия със системи за енергиен мениджмънт, както и чрез интегрирането на енергоспестяващи продукти и решения в сградите, индустрията и обществения транспорт [34-39]. В комбинация всички тези мерки допринасят за един устойчив енергиен баланс в бъдеще.

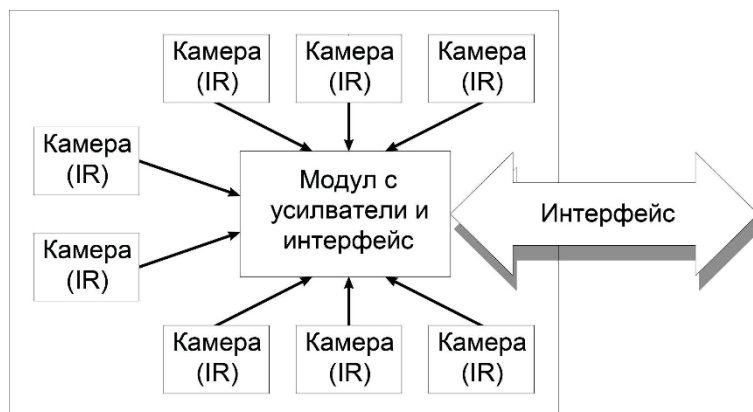
3.1. Създаване на модул за безконтактно измерване на повърхностна температура на разпределени обекти

В тази глава се разглежда модул за безконтактно измерване на повърхностна температура на разпределени обекти в топлинна зона в рамките на помещение в сграда. На базата на собственото излъчване на областите от обектите, попадащи в зоната на видимост на сензорите, се съди за тяхната температура. Взети са под внимание влиянието на страничните лъчения, излъчването от атмосферата, разстоянието, видът на сензорите и др. Модулът е част от по-голяма система за енергийна ефективност, мониторинг и управление на сгради. Модулът измерва едновременно няколко зони на интерес, като данните се предават за по-нататъшна обработка с цел търсене на връзки, установяване на проблеми, анализ, правене на изводи и др.

3.1.1 Теоретични и експериментални изследвания

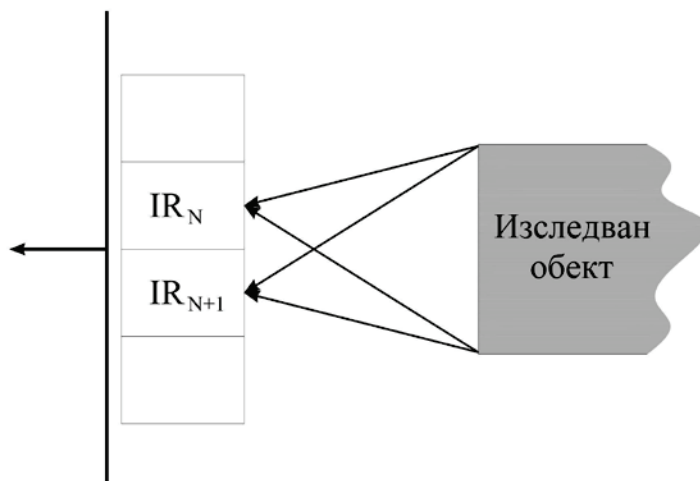
Модулът за безконтактно измерване на температурата е разработен във връзка със създаването на мониторингова система за енергийната ефективност. Системата се състои от диспечерска станция и мониторингови локални станции, разположени в наблюдаваните пространства – стаи, зали, коридори, абонатни станции и др. Модулът се разполага в близост до локалните станции и се свързва към тях с кабел, по който се захранва и към който предава данни от отделните сензори по токов кръг. Друг вариант е предаването по безжичен път, чрез радиомодули. В локалната станция данните се подлагат на първична обработка, като се филтрират и осредняват за зададен период от време, например 1 минута. Тези данни, заедно с данните от другите сензори, се предават към диспечерската станция по радиоканал, който може да бъде и GSM-GPRS/3G/4G. В диспечерската станция за всеки сензор се въвежда индивидуална калибровъчна крива. След това данните от модула се обработват съвместно, както и с отчитане на данни от други сензори за определяне на желаните параметри, свързани с енергийната ефективност. При зададени аварийни нива диспечерската станция алармира дежурния оператор и може да изпрати съобщение по GSM канал или по интернет. Данните от всички измервания се архивират и при необходимост се подлагат на допълнителна обработка.

Използването на множество сензори дава възможност да се измерват различни обекти или области (фиг. 3.1).



Фиг. 3.1. Блокова схема на модул за безконтактно измерване на повърхностна температура на разпределени обекти.

Използването на множество сензори дава възможност да се намали грешката при измерване на един и същ участък от съответния обект (фиг 3.2).



Фиг 3.2. Схема на разнесено приемане на оптичен поток от изследван обект

Обемът атмосфера, който се загражда от ъглите на виждане, в значителна част се различава в двата случая (фиг. 3.2). Това е причина за интерес по отношение на това, че при движение на въздуха в помещението се очаква да има нееднакви промени на атмосферната екстинкция и температура в двата обема. Оценката на влиянието на атмосферата се прави, като се използва уравнението на преноса на лъчиста енергия в разсейваща, поглъщаща и излъчваща среда [2] :

$$\frac{dL_\lambda}{dZ} = -(\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)})L_\lambda + \alpha^{(a)}L_{\lambda,black\ b.} + \left(\frac{\alpha^{(s)}}{4\pi}\right) \int_{4\pi} L_\lambda P_A d\Omega, \quad (3.1)$$

Където Z е текущото разстояние между обекта и приемника, $\alpha^{(s)}$ и $\alpha^{(a)}$ са характеристики на разсейването и поглъщането на атмосферата, P_A е индикатрисата

на разсейване, Ω_r е ъгълът на виждане и L_λ – енергийната яркост (с означението bb се представя енергийната яркост при случай с черно тяло). Най-общо, трите събираеми в дясната част могат да се характеризират, както следва: разсейване и поглъщане от атмосферата, собствено излъчване на атмосферата, разсейване на други лъчения в посока на приемника. На базата на (3.1), като са използвани, оправдани за голяма част от реалните случаи приближения [7], се получава връзката:

$$\begin{aligned} \Phi_r = \Phi_t + \Phi_a = A_r \Omega_r \tau_r \exp \exp[-(\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)})] V(T_t ; \lambda_1 \lambda_2) \\ + A_r \Omega_r \tau_r \frac{\alpha^{(a)}}{\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)}} \{1 - \exp[-(\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)})Z]\} V(T_a \lambda_1 \lambda_2), \end{aligned} \quad (3.2)$$

където A_r е входната апертура на приемника, ε_t е коефициентът на излъчване на изследвания обект, T_t е температурата на обекта, T_a е температурата на атмосферата. Функцията V се дефинира, като

$$V(T; \lambda_1 \lambda_2) = \frac{1}{\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M^{bb}(\lambda, T) d\lambda \quad (3.3)$$

За пресмятането на интеграла от (3.3) се използват числени методи [40].

Попадането на потока Φ_a в съответния приемник [9] води до преобразуването му в съответстващо напрежение U . Това напрежение е случайна величина, зависеща от случайните изменения на $\alpha^{(s)}$, $\alpha^{(a)}$ и T_a . Приемаме, че тези изменения са съществено независими в двата обема (фиг.3.2). Използваме осредняване на двете напрежения от двата сензора и като използваме [3], получаваме съответно резултати за математичните очаквания и дисперсиите

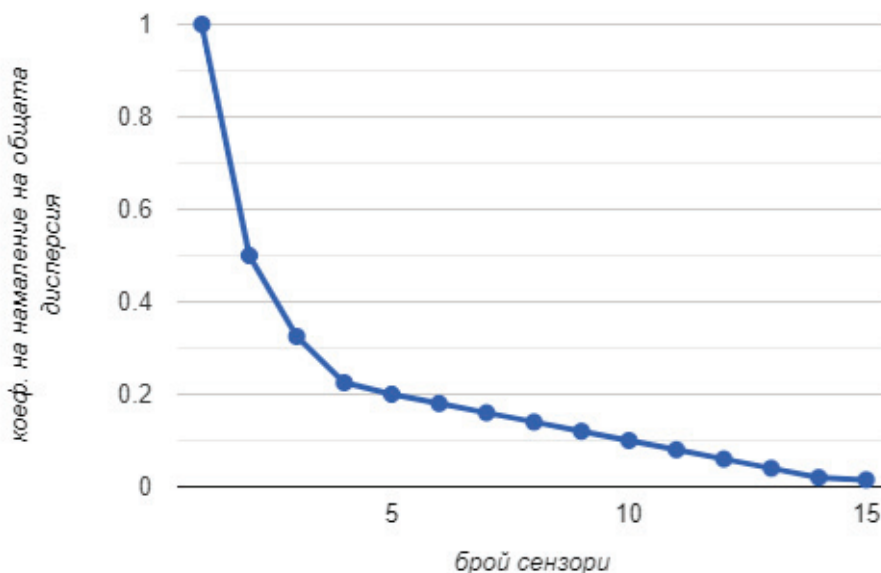
$$U = \frac{U_1 + U_2}{2} ; \quad m_u = \frac{m_{U_1} + m_{U_2}}{2} \quad \sigma_u^2 = \frac{\sigma_{U_1}^2 + \sigma_{U_2}^2}{4} \quad (3.4)$$

За разглеждания случай, ако приемем, че дисперсиите $\sigma_{U_1}^2$ и $\sigma_{U_2}^2$ са равни, имаме двойно намаление на σ_u^2 .

Ако обаче измененията в двата обема на фиг. 3.2 не са съществено независими, то в третото уравнение на (3.4) се появява допълнително събираемо, изразяващо връзката между случайните величини.

Идеализираният случай на намаление на дисперсията на резултатния сигнал при увеличаване на броя на независимо измерващите сензори е показан на фиг.3.3.

За да представляват не само теоретичен а и практически интерес тези отклонения, е необходим значителен обем въздух и значителна екстинкция.



Фиг 3.3. Намаление на общата дисперсия при увеличаване на броя на сензорите, даващи независими резултати

3.2. Регистрация на преминаващи обекти: методика, основаваща се на инфрачервено излъчване

Извършено е приложно изследване, с оглед отговаряне на потребностите на бизнеса. Описани са част от проблемите и съответните им решения при създаване прототип на система за броене на обекти на база оптично излъчване, също така са проведени и експериментални научни изследвания.

До момента са известни различни разработки с функционалност за броене на обекти (напр. автомобили), но тяхното предлагане на българския пазар е ограничено предимно до такива, използващи микровълново лъчение. Всяка една подобна система, в общия случай, се създава по конкретни експлоатационни изисквания и информацията около нейното създаване е фирмена тайна. Това води до значително повишаване на цената и до относително оскъдната информация в литературата.

Целта на представяната работа е на базата на общата теория на оптичните комуникационни системи [105] и на базата на теорията за оптичните комуникационни системи в широк смисъл (в частност оптични радиометрични измервания) [106-111] да се създава база за научни изследвания и обобщения на получените резултати. Друга важна причина за започването на дейностите е спецификата на работа на трансатмосферните оптични системи в различни климатични пояси.

Крайната цел е създаването на относително евтина (в сравнение с останалите) и надеждна (съобразена с местните български климатични и други условия) система. Разбира се, това е трудна задача, но публикуването на резултатите на

научни форуми като този значително би улеснило по-нататъшното доразвиване на проекта.

3.2.1. Описание на аналоговата част на системата

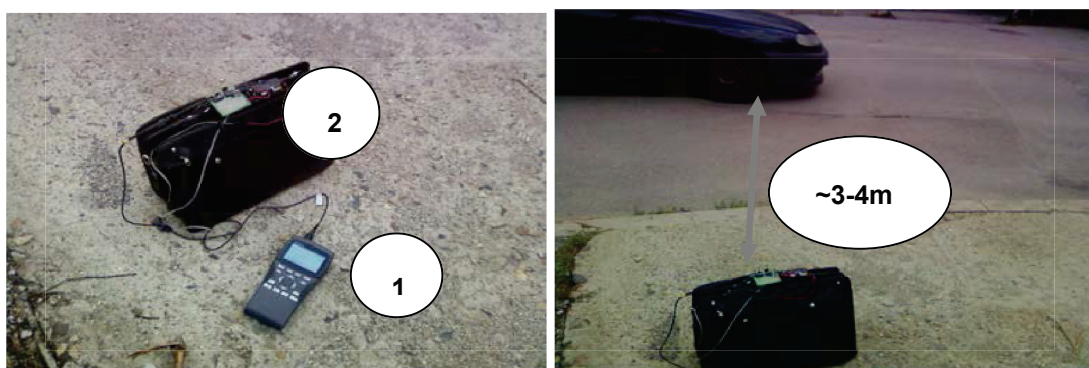
Подробно описание на аналоговата част предстои да се представи на международната научна конференция Телеком и по тази причина, тук ще се спрем само на касаещите ни в момента подробности.

Разработена е, и е тествана, аналоговата част на система за отчитане на преминаващи обекти, базирана на инфрачервен детектор тип thermopile [106, 107]. Като са изпълнени основните практически изисквания за еднополярно нисковолтово захранване, с относително ниска консумация (това е постигнато чрез използване на буферни стъпала и високоомни делители, както и чрез използване на съвременна елементна база на фирмите Texas Instruments и Microchip), висока устойчивост на синфазни смущения (това е постигнато чрез използване на специализиран измервателен инструментален усилвател INA126P).

3.2.2. Провеждане на изследвания в реални условия

За да се провери работоспособността на системата, преди да се продължи с разработването на цифровата част, бяха проведени практически експерименти в реални и лабораторни условия. За улеснение бяха използвани само блоковете от аналоговата част, гарантиращи необходимото усилване. Експериментите имат за цел и да се натрупат статистически данни за възможността да се отчитат автомобили. Решението на задачата изцяло теоретично би било много трудно, поради множеството влияещи случайни фактори. По-съществените от тези фактори са разпределение на температурното поле на автомобила и на фона, разпределение на полето на коефициентите на излъчване на автомобила и на фона, динамични характеристики на инфрачервения датчик и отклонения от диаграмата му на насочено действие по каталог, състояние на атмосферата, и др.

Тестовете в полеви условия бяха извършени на улица „проф. Г. Брадистилов“, в близост до паркинга на бл. 1 на ТУ (фиг.3.4). Беше проведено наблюдение на множество случайно преминаващи автомобили. Резултатът е, ясно наблюдаван пик от средната стойност (фиг.3.5), при преминаване на автомобила от датчика на разстояние до около 4 метра (фиг.3.4). Тук трябва да отбележим, че експериментът се провежда без допълнителна оптика (това се налага, поради поставените условия за ниска цена; използването на такава оптика – ZnSe или Ge тип ще осъществи значително бъдещата система).



Фиг.3.4. Тестове в полеви условия

1-осцилоскоп Velleman HPS10, 2-тестова система с thermopile датчик SMTIR9902



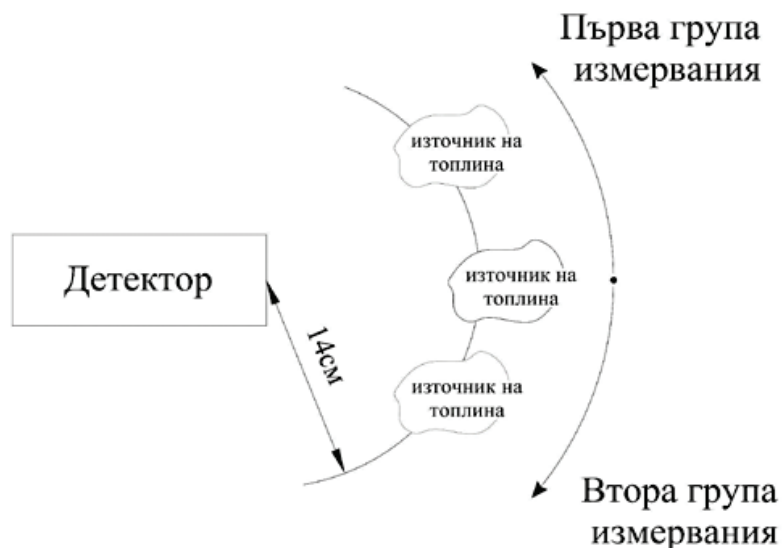
Фиг.3.5. Пик при преминаване на автомобил, наблюдаван на екрана на използвания мобилен осцилоскоп (Velleman HPS10)

3.2.3. Провеждане на изследвания в лабораторни условия

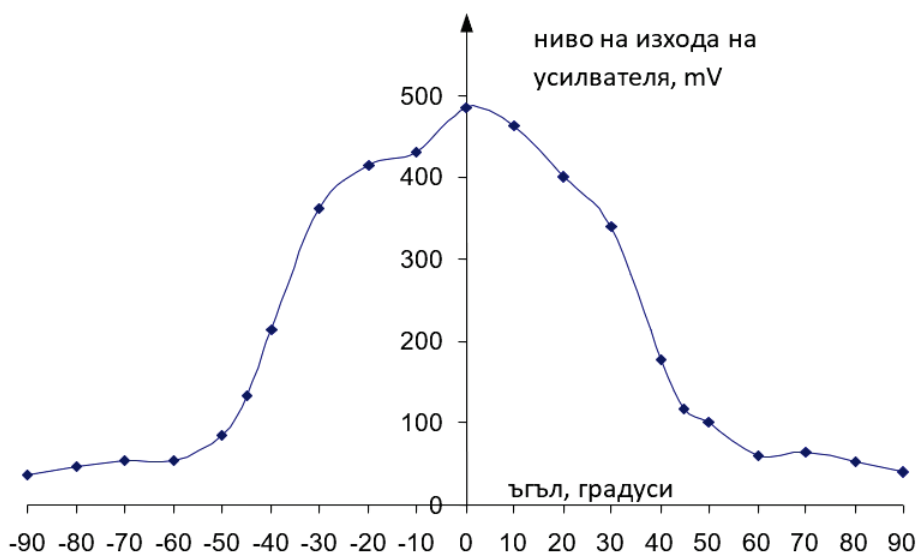
За да се провери потенциалната работоспособност на система с thermopile датчик SMTIR9902 при няколко пътни платна без допълнително ограничаване на диаграмата му на насочено действие (ъгъла на виждане), бяха проведени лабораторни експерименти за практическото ѝ определяне (фиг. 3.6, табл. 3.1, фиг. 3.7).

Табл. 3.1

ЪГЪЛ, градуси	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
НИВО на изхода, mV	485	430	414	362	214	133	85	54	55	46	37
НИВО на изхода, mV	485	463	400	340	178	116	101	60	65	52	41



Фиг.3.6. Експериментално приблизително определяне на диаграмата на насочено действие (ъгъла на виждане) на радиометричния приемник



Фиг. 3.7. Графична интерпретация на табл. 3.1

Проведените реални практически експерименти, показват, че е възможно да се създаде изключително нискобюджетна пасивна система за броење на автомобили без допълнителна оптика. Системата би работила добре за отчитане в рамките на едно платно. Лабораторните измервания на ъгъла на виждане показват, че при ъгъл от порядъка на 45 градуса и височина на датчика 4м, ширината на платното, трябва да е 8 метра за надеждна работа на системата. Последното е рядко срещано (типичната широчина на платно е между 3,25m и 4,50m). Това налага продължаване на експериментите с цел нискобюджетно компенсиране на ъгъла на виждане на радиометричния приемник.

3.3. Разработване на методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение в екологични системи за опазване на диви животни

3.3.1. Система за следене на оптималните параметри на пчелни кошери

Ние сме постоянно свързани в света, в който живеем днес. Представете си типичен „свързан“ ден, като днес. След това се отправяме към сутрешния джогинг, като всяка наша стъпка се проследява от приложение. Интернет на нещата (IoT) е навсякъде и е станал част от нашето ежедневие. Интернет на нещата се отнася за всяко устройство, което е свързано с интернет и събира или споделя данни. Данните от машина до машина (M2M), които се генерират чрез IoT, имат множество приложения, но най-често се разглеждат като начин за определяне на здравето и състоянието на нещата. То включва всичко от кафемашини, мобилни телефони, перални машини, преносими устройства и слушалки. Например, кафемашината може да ви каже кога кафето е готово, преносимите устройства определят вашето здраве и пералната машина може да ви извести по телефона кога дрехите са изпрани. Отнася се и за компоненти на машини като реактивен двигател на самолет. Най-вероятно, ако устройството има превключвател за включване и изключване към Интернет, той може да бъде част от IoT. Чрез комбиниране на свързаните устройства с автоматизирани системи е възможно да се събира информация за потребителя и да се научава от процес.

Примери за устройства от Интернет на нещата:

- Преносими устройства;
- Свързани коли;
- Интелигентен личен асистент;
- Интелигентно земеделие;
- Електрически уреди, свързани чрез приложение.

При Интернет на нещата всяко устройство си има различно предназначение. Много от тях се използват за събиране на данни. В световен мащаб популацията на пчелите намалява. Причините за това са многобройни – замърсяване на въздуха и околната среда, използване на пестициди в селското стопанство, радиация. Поради замърсяването на места в света, живи пчели няма и е създадена професията „опрашител“. Относно значимостта на пчелите за глобалната екосистема, може да цитираме Айнщайн – един от най-големите умове на 20-ти век [111- 112]: “If the bee disappeared off the surface of the globe, then man would have only four years of life left. No more bees, no more pollination, no more plants, no more

animals, no more man.”¹ Ако се подпомогне нарастването на пчелната популация по света, това може да донесе само ползи. Именно това и е идеята на тази система – да се улесни и подпомогне работата на пчеларите. Използването на ICT има за цел създаването на интелигентна IoT система, която да наблюдава отдалечено множество пчелни кошери. Известно е, че 30% от храната на хората е пряко зависима от наличието на пчелите и тяхната дейност по опрашване на растенията. Друг всеизвестен факт е, че през последните години количеството пчелни семейства драстично намалява поради различни причини. В резултат през 2012-2013 Европа губи 20% от пчелната си популация. Всичко това налага необходимостта от специални грижи за запазването и развитието на пчеларството като цяло и всяко пчелно семейство в частност. Именно това е основната мотивация за създаването на системата [113,114]. Предимство на системата: отдалечено и адекватно наблюдение и контрол; постоянен достъп и гарантирана сигурност; увеличение на добива и приходите. Грижите за пчелите са трудоемък и нелек процес. Усилията на пчеларите по цял свят са насочени основно в една и съща насока, а именно защита и опазване здравето и броя на пчелните семейства. Все повече расте смъртността им. Дали заради употребата на пестициди, или заради болести, тази тенденция се наблюдава в световен мащаб и цифрите го доказват. Ако населението на планетата се е удвоило, то броят на пчелните семейства е намалял с 30 % [115]. Също така работата на пчеларя е тежка и изцяло ангажираща, особено през активния сезон; рисков бизнес; трудно разпределяне на времето; необходимост от бърза и адекватна реакция; болести - критични за пчелите; трудна и късна диагностика; сигурност - кражби на кошери; щети и загуби от вредители. Микроклиматът в кошера има основно значение за развитие на пчелните семейства, като добавим и теглото на кошера то получаваме необходимата информация за работата на семейството и неговото състояние. Температурата дава информация за наличие/отсъствие на пило, дали семейството е изпаднало в роево състояние и недостатъчно вентилация през горещите дни; високата влажност в кошера води до заболявания или смърт на семейството, пчеларят трябва да вземе мерки за създаване на необходимата вентилация; теглото показва наличие на нектар, пълен магазин/корпус, необходимост от хранене; звуковият анализ дава информация за състоянието на пчелното семейство – пред роене или отсъствие на майка.

¹ „Ако пчелата изчезне от повърхността на земното кълбо, тогава на човека ще му останат само четири години живот. Няма повече пчели, няма повече опрашване, няма повече растения, няма повече животни, няма повече човек“

3.3.2. Кратка теория и определяне на основните параметри

Основните параметри, които ще бъдат следени, са: температурата и влагата в кошера - полезно е целогодишно, при нормално пребиваване пчелите се стремят да поддържат влагата и температурата в кошера относително постоянни. Проследяването на тези параметри дава индиректна индикация за състоянието на кошера, например ниска температура и повишена влага може да означават значително намален брой на пчелите, или пробив в корпуса на кошера.

Тегло на кошера – полезно е основно през лятото, когато пчелите събират мед, тъй като той е доста плътен и оказва силно влияние върху тежестта – така при голямо пчелно стопанство, вместо пчеларят да търси в кои кошери е събран мед, преглеждайки ги един по един, може просто да провери през потребителския интерфейс. Следенето на теглото не дава много информация за развитието на кошера през останалото време, тъй като вариацията на броя пчели оказва много малко влияние върху теглото на кошера в сравнение с пълното тегло.

Ниво на сироп – полезно е основно в края на зимата и началото на пролетта, когато останалият от лятото мед в кошера е на привършване и пчелите имат нужда от хранване със захарен сироп.

Шум – полезно е целогодишно, но особено през лятото, когато вероятността за роеж е по-висока. Опитен пчелар може да даде оценка на състоянието на кошера само по жуженето на рояка. Изработването на алгоритъм за анализа на шума би улеснило значително дейността на пчеларя, ако се подава сигнал в рисковата ситуация.

Изисквания към системата и сензорите: да не се разстройва нормалният ритъм в кошера – минимални стойности на електромагнитно излъчване, да няма ненатурални светлини в кошера; По възможност данните от сензорите да се предават безжично към централизирана система – пчелите обикновено са враждебни към чужди тела (напр. кабели и жички) в кошера – прояждането / прекъсването на последните може да доведе до компрометиране на коректната работа на системата и излишната смърт на пчели. Поради тези причини, предаването на данни трябва да е или безжично, или с много добре защитени и подсигурени проводници; Централизираната система, която събира и обработва данните от сензорите, да има връзка с интернет – връзката се осъществява чрез Wi-Fi, да има възможност за стрийм и анализ на данни в реално време. Свързвайки се с конкретна интернет страница, потребителят да има възможност да вижда данните и тенденциите във времето, да има възможност да избира кои данни да види, както и за кой период; Цената на системата да е ниска.

На база описаното по-горе техническо задание, конкретната реализация е система за проследяване на различни параметри в кошера за пчели, като температура и влажност, замърсяване, проследяване на това дали кошера е обърнат и

може да бъде надграден с още няколко датчика, в зависимост от това, какво желаем да следим. В тази работа ще бъде разгледан стандартът Zigbee, реализацията на проекта, както и ще бъдат анализирани резултатите.

Пчелите имат удивителната способност сами да поддържат в пчелното гнездо необходимите им условия за живот. Това те постигат чрез регулиране на температурата, влажността на въздуха, проветряването и др.

Необходимата температура в кошера се поддържа чрез отделяне на топлина от пчелите, в резултат на интензивна обмяна на веществата, вследствие на усиленото им хранене с мед и чрез извършване на слаби движения на гръдните мускули, крайниците и цялото тяло. При липса на пило в гнездото и при по-ниска от 14°C външна температура пчелите се събират плътно между питите и образуват пчелно кълбо. Вътре в него през зимата температурата е в границите от 14 до 28°C и само при много ниска външна температура, температурата в кълбото достига 32°C. За облекчаване на пчелите в това отношение е необходимо кошерите да са здрави, без пукнатини по тях, дъната да са добре прилегнали във фалцовете, входовете съответно намалени. Страничното и горното затопляне на кошера също така имат голямо значение за поддържането на необходимата топлина в кошера. В това отношение не е без значение и мястото, където е устроен пчелинът. То трябва да бъде запазено от студените зимни ветрове, да има южно изложение и да не задържа вода.

Лятно време при висока външна температура пчелите регулират вътрешната топлина чрез усилено проветряване на кошера, създавайки изкуствено условия за бърз въздухообмен. В този случай, за да ги подпомогне, пчеларят трябва да спуска дъната на кошерите 1-2 см надолу и да отваря изцяло входовете. Ако има допълнителна вентилация на дъната, тя също се открива. Добре е в такъв случай кошерите да се покриват отгоре, от южната и западната страна с дебел пласт трева, клонки и други подръчни материали. При много високи температури пчелите усилено пренасят вода, която се изпарява вътре в гнездото и го охлажда.

При отглеждане на пило, пчелите поддържат около него постоянна температура в границите 34-35°C. Извън питите с пило температурата е по-ниска и може да спадне до 30°C, а в крайните пити - до 25°C.

В пчелното гнездо пчелите поддържат определена влажност на въздуха. Тя се колебае в доста широки граници. Рано през пролетта и през есента, когато в кошерите не постъпва нектар, влажността на въздуха е в границите от 75 до 91%. По време на главната паша тя се движи в границите от 54 до 66%, като понякога за кратко време може да спадне значително по-ниско.

При висока температура в гнездото и намалена влажност, пчелите започват да изпаряват съдържащата се в тялото им вода чрез дихателните трахеи. По такъв начин телесната им температура се намалява с няколко градуса, температурата в

гнездото също, а влажността се повишава. През зимата, понякога, влажността на въздуха е много висока, получава се пренасищане с водни пари, в резултат на което могат да умрат много пчели. Ето защо трябва да се избягва зазимяването на пчелните семейства в ниски затворени котловини и блатисти места.

Пчелите се нуждаят непрекъснато от кислород. Особено много кислород е необходим при отглеждането на пило и когато в кошерите има много пчели. Притокът на свеж и излизането на замърсения въздух се осъществяват главно през входа на кошера.

Ето защо той трябва да се регулира така, че винаги да осигурява на пчелите достатъчно количество пресен въздух.

През зимата пчелите не отглеждат пило и се намират в относителен покой, вследствие на което нуждата им от кислород рязко намалява, но и през зимата той им е необходим. Ето защо пълното затваряне на входа е недопустимо. Най-добре е зимуването да става на горен вход, като долният се затвори плътно. При многокорпусния кошер зимуването трябва да става върху корпус с празни пити или само с рамки. Получава се така наречената въздушна възглавница, която осигурява правилно протичане на въздухообмена, при това без да се появяват влага и плесени в пчелното гнездо.

Като познава добре изискванията на пчелното семейство по отношение на температурата и влажността и нуждата от въздух, пчеларят трябва своевременно да съдейства за най-правилното им регулиране в кошера. С това той не само ще облекчи пчелните семейства, но и ще се намали разходът на храна и енергия от пчелите и ще се удължи животът им. Крайният резултат ще бъде по-високата им продуктивност. Това е причината за разработването на посочения модул. С него, освен че бихме могли да подобряваме живота и продуктивността на пчелите, можем също да спестим доста време, управлявайки системата и отчитайки данните отдалечено.

В схемата е свързан и външен сензор за отчитане на температура и влажност SHT21.

3.3.3. Стандарти за безжична комуникация

Както вече споменахме, освен Zigbee, има много други стандарти за безжична комуникация, които в зависимост от изискванията, могат да бъдат прилагани в различни случаи.

Zigbee стандартът е разработен да пренася информация през неблагоприятна радиочестотна среда, която изобилства от комерсиални и индустриални приложения. Той е изграден от две основни части. Стандартът IEEE 802.15.4

задава спецификацията за физическите параметри и радио-честотните характеристики от протокола, а Zigbee съюзът (Zigbee Alliance) определя мрежовите настройки и управлението на мрежата.

Стандартът IEEE 802.15.4 е разработен специално за унифициране на приложения с ниска скорост на обмен на информация в честотни обхвати, неизискващи лиценз. Отнася се най-вече за устройства с батерийно захранване, към което са поставени изисквания за дълъг живот. Възможни приложения на стандарта са полеви измервателни устройства, интерактивни устройства, интелигентни маркери, сградна автоматизация и др. Стандартът регламентира три скорости на информационен обмен - 250 kbps, 40 kbps и 20 kbps, съответно за честотите 2,4 GHz, 915 MHz и 868 MHz. Режимите на адресиране са два - 16-битово късо и 64-битово IEEE адресиране. Предвидена е поддръжката на критични латентни устройства, като джойстици и достъп до CSMA-CA канали.

ZigBee е насочен главно за приложения, захранвани от батерии, където ниската скорост за предаване на данни, ниската цена, и дългият живот на батерията са основни изисквания. В много приложения на ZigBee, общото време, в което безжичното устройство се занимава с някакъв вид дейност, е много ограничено. Устройството харчи по-голямата част от времето си в енергоспестяващ режим, известен още като режим на заспиване. В резултат на това устройства във включен Zigbee режим могат да работят няколко години преди батериите да трябва да бъдат заменени.

Едно от приложенията на ZigBee е наблюдение на пациентите в домашни условия. Кръвно налягане на пациента и сърдечната честота, например, могат да бъде измерена чрез преносими устройства. Пациентът носи със себе си ZigBee устройство, което взаимодейства със сензор, който събира периодично информация, например за кръвно налягане. Данните се предават безжично до локален сървър, като например персонален компютър в дома на пациента, където първоначалният анализ извършва и накрая, жизненоважната информация се изпраща на медицинската сестра или лекар на пациента чрез интернет за допълнителен анализ.

Друг пример за приложение на ZigBee е наблюдение на структурното здраве на големи размери сгради. В това приложение няколко безжични сензора с активиран ZigBee (например акселерометри) могат да бъдат инсталирани в сградата и всички тези сензори могат да образуват единична безжична мрежа за събиране на информация, която ще се използва за структурна оценка на сградата и откриване на признаци на евентуални повреди. След земетресение например, може да се изиска оценка за състоянието на сградата, преди тя да бъде отново достъпна за обществото. Данните, събрани от сензорите, биха могли да помогнат за ускоряване и намаляване на разходите за проверката. Редица други примери

за прилагане на ZigBee могат да бъдат дадени, разработени от Zigbee Alliance, който е създаден през 2002 г. като нестопанска организация, отворена за всички, които искат да се присъединят. ZigBee стандартът прие IEEE 802.15.4 като свой физически слой и среден достъп контролни (MAC) протоколи. Следователно устройство, съвместимо с ZigBee, е съвместимо с IEEE 802.15.4 също.

Концепцията за използване на безжична комуникация за събиране на информация или извършване на определени контролни задачи вътре в къща или фабрика не са нови. Има няколко стандарта за безжични мрежи с малък обхват, като IEEE 802.11 Wireless Local Area Network (WLAN) и Bluetooth. Всеки от тези стандарти има своите предимства и в частност приложения. Стандартът ZigBee е специално разработен, за да отговори на необходимостта от много ниска цена за внедряване на безжична мрежа с ниска скорост за предаване на данни и с ултраниска консумация на енергия.

Стандартът ZigBee помага за намаляване на разходите за внедряване чрез опростяване на комуникационните протоколи и намаляване на скоростта за предаване на данни. Минималните изисквания намаляват сложността на проекта и разходите по интеграция на Zigbee модули. Предимство на Zigbee е продължителността на работния цикъл - съотношението на времето, когато устройството е активно, към общото време. Например, ако устройството се събужда всяка минута и остава активно за 60 ms, тогава работният цикъл на това устройството е 0,001, или 0,1%. В много приложения на ZigBee устройствата имат работен цикъл по-малко от 1%, за да се гарантира години живот на батерията.

По-надолу са показани част от характеристиките на някои от безжичните комуникации, които се използват в днешно време: Стандарти за безжични комуникации

3.3.4. Zigbee, Bluetooth и IEEE 802.11 WLAN

Сравнението на стандарта Zigbee с Bluetooth и IEEE 802.11 WLAN ни помага да разберем как Zigbee се разграничава от установените вече стандарти. Таблица 1.2.1 обобщава основните характеристики на тези три стандарта. IEEE 802.11 е група от стандарти: IEEE 802.11a и IEEE 802.11b. IEEE 802.11a има висока скорост на предаване на данни (до 11 Mbps) и осигуряването на безжична връзка е едно от основните му приложения. Закритият обхват е обикновено между 30 и 100 m, като средно може да се каже, че е около 50m. Bluetooth от своя страна, има по-ниска скорост на предаване на данни (около 2 Mbps), а обхватът му е от 2m до 10 m. Едно от популярните му приложения е осигуряването на безжична връзка между телефон и слушалки, за да са свободни ръцете ни. Използва се също за безжична връзка между мишка и клавиатура на компютър.

Zigbee има най-ниска скорост на предаване от тези три стандарта (около 250 kbps). Това от своя страна, прави внедряването му в различни системи, по-просто за реализация, а живота на батерията му – по-дълъг. Много ниската скорост за предаване на данни със Zigbee означава, че това не е най-добрият избор за внедряване на безжична интернет връзка или безжични слушалки с качество на CD, където скоростта е добре да е повече от 1 Mbps. Ако обаче целта на безжичната комуникация е да предава и приема просто команди и/или да събира информация от сензори, като температура или влажност, то Zigbee е най-доброто и икономично решение за поставената цел.

Топологии на Zigbee

Първият вид, според технология Zigbee (a), е звездообразните мрежи (Star Network). При тях свързването на RFD и маршрутизаторите става само чрез управляващия възел, което усложнява структурата му при голям техен брой. Независимо от това, цялата програма за работа на управляващия възел, се записва в памет с обем около 30 kB. Този вид рядко се използва за индустриални приложения.

Вторият вид (б) са клетъчните мрежи (Mesh Network, Peer-to-Peer Network), при които е възможно да се използват множество пътища за осъществяване на връзка между две устройства. Това прави мрежите особено подходящи за работа в условия на значителни високочестотни смущения. Всички FFD в тези мрежи са свързани помежду си и едно от тях работи като управляващ възел. Веднъж изградена безжичната мрежа от смесен тип (Mesh network), съществуват различни пътища за комуникация с всички устройства от мрежата.

Сред добре познатите топологии на Zigbee (a и b) се появява и трети вид, който е широко разпространен. Това е клъстерното дърво(с). Това е особено подходяща топология за безжични и нискотарифни сензорни мрежи, тъй като поддържа енергоспестяващи операции и маршрутизиране с леко тегло. В изградена безжична сензорна мрежа, информацията за някаква област от интерес, може да наложи допълнително проучване, така че да се генерира повече трафик. Ограниченото маршрутизиране на мрежата от дървесни клъстери на Zigbee, обаче, може да не е в състояние да осигури достатъчна честотна лента за увеличеното натоварване на трафика, така че допълнителната информация може да не бъде предадена успешно. В такива случаи, може да се използва увеличаване на честотната лента, без да се генерира допълнителна обмяна на съобщения. За оптимизиране на процеса се използва свойството за оптималност и конвергенция на алгоритъма – предават се максимален брой данни с ограничение на върха. По този начин може да се постигне значително подобрене на производителността на топологията.

Всяка Zigbee специализирана интегрална схема съдържа три основни блока. Приемо-предавателят Tx/Rx има класическо предназначение. В режим на приемане, усилва високочестотните аналогови сигнали от антенния вход, преобразува ги в такива с междинна честота и след това в цифрови данни на изхода си Rx. При предаване на постъпващите цифрови данни на извод, Tx се преобразуват във високочестотен аналогов сигнал, който се усилва, за да бъде излъчен от антената. Основните задачи на модела MDM, в режим на предаване на интегралната схема, са да преобразува всеки постъпващ от блок BC разред на цифровите данни в 8-разредно число и да осъществи O-QPSK модулацията, като модулираният сигнал се получава на извод Tx. В режим на приемане, модулираният сигнал постъпва в модела на извод Rx, демодулира се и се извършва обратно преобразуване на цифровите данни.

За осъществяване на това, относителната разлика между честотата на осцилатора в блока Tx/Rx и тази на приемания сигнал не трябва да надхвърля установената от стандарта IEEE802.15.4 стойност $\pm 40\text{ppm}$, което в обхвата 2,4 GHz означава нежелани промени на честотата на осцилатора не по-големи от $\pm 96\text{ kHz}$.

Заклучение за трите стандарта:

Технологиите, стандартизирани с IEEE 802.11, налагат много големи изисквания по отношение едновременно и на висока скорост на обмен, и на ниска енергийна консумация. От друга страна, Bluetooth технологията, която първоначално бе насочена към замяна на опроводената връзка с безжична, също е твърде усложнена за нискоенергийни приложения. Устройствата, свързани в Bluetooth мрежи, ще трябва да се зареждат неколkokратно или дори батерията им да се замени в рамките на една година.

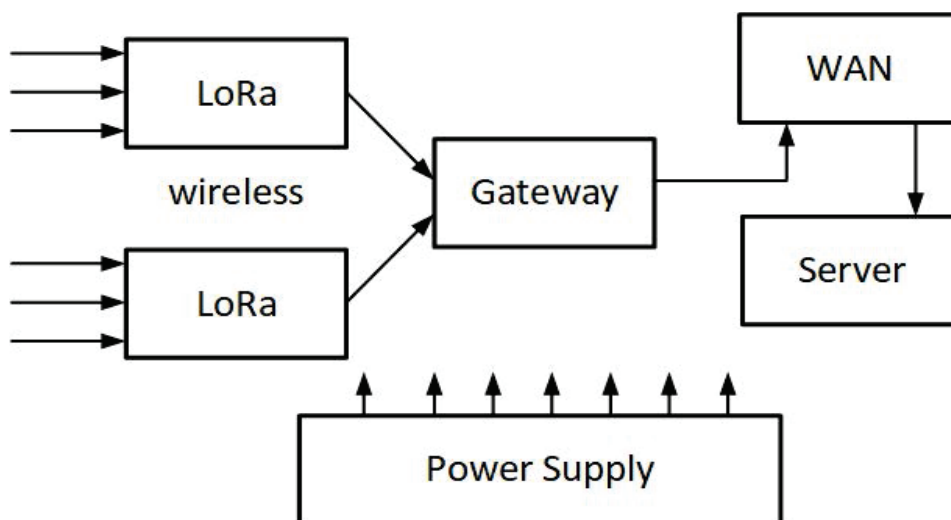
От своя страна, стандартите IEEE 802.15 принадлежат към фамилията стандарти IEEE 802 и са ориентирани към изграждане на безжични мрежи с ниски степен на сложност и консумация на енергия. Принципно чрез WPAN се осъществяват мрежови комуникации, най-често между преносими или подвижни устройства като компютри и периферия, мобилни телефони, електронни устройства за масова употреба, промишлени устройства и т.н.

3.3.5. LoRa WLAN технология

През последните години навлезе нова технология **LoRa WLAN**, която е изключително подходяща при разработване на системи за интелигентни пчелни кошери, както и автоматизирани системи в земеделието (представени в следващата глава). В монографията се предлага използването на двата стандарта за безжични комуникации LoRa WLAN и Zigbee.

3.3.6. Проектиране на системата за следене на параметрите на пчелен кошер

Тук ще бъде представена проектираната блокова схема на система за следене на параметри на пчелен кошер. Поради голямото разстояние между кошерите и сървъра и като се вземе предвид цената и вида мрежи, е избран оптимален вариант за проектиране чрез LoRa WLAN технология.



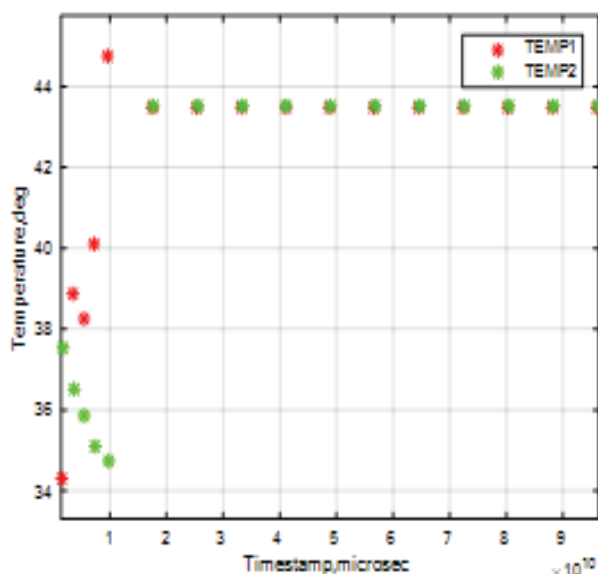
Фиг 3.8. Блокова схема на интелигентна система за пчелни кошери

Описание на системата: Хардуерната част на ИКТ системата включва: сензори, контролер, модем, сървър и захранващ блок. При проектирането е използвана модул LoRa, с внедрени ESP 32, ESP 8266 и SX1276 с честотен диапазон 433 MHz. Възможно е и използването на модул с честота 863 MHz. Обхватът на покритие е до 3 км, което изпълнява изискването на проекта, тъй като разстоянието от кошерите до сървъра е 1 км. Системата функционира по следния начин (фиг.3.8): Данните, получени от сензорите, се обработват в подходящ формат от микроконтролера и чрез SX1276 се изпращат до сървъра, където може да се извършва анализ, съхранение и статистическа обработка на информацията. Цялата система се захранва от захранващ блок. При използване на цифрови сензори се предава число, съответстващо на стойността на измерваната величина. Контролерът събира данните от всички сензори на всеки 5 минути, осреднява ги и извършва първичната обработка на данните, конвертира ги в цифров вид и следи за нормалната работа на комуникационния модул. През останалото време е в спящ режим, за да не се разстройва нормалният ритъм на кошера. Пчелното стопанство се състои от 9 кошера, съответно 9 модула LoRa и един модул LoRa gateway, които са с максимална консумирана мощност 100mW, което се взема предвид при изчисляване на захранването. След изчислението се избира фотоволтаичен панел 50 W, който зарежда акумулаторна батерия 12 Ah.

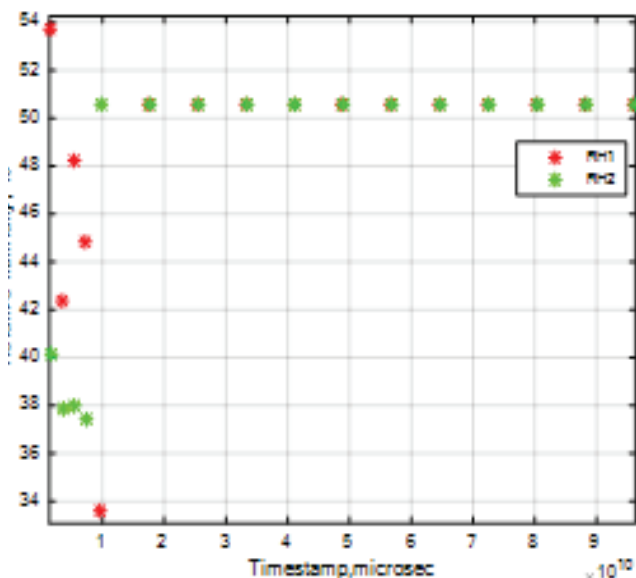
3.3.7. Анализ на получените резултати, приложимост и изводи

Направените измервания са за следене на температура и влажност на пчелен кошер, температура и влажност в стая за 30 минутен тест и един бърз тест, за да се провери изправността на датчиците.

След преработка на информацията в Матлаб, за реално измерване на температура и влажност на пчелен кошер, графиките са представени по следния начин:



Фиг.3.9. Температура, deg



Фиг.3.10. Влажност, %

ИЗВОДИ

Двата сензора са достатъчно точни, при положение, че показват една и съща температура, когато са един до друг. Същото становище можем да направим и от това, че и влажността е една и съща. Системата работи правилно, нагледно показана с теста в домашни условия.

В реалния тест се вижда, че температурата на кошера (в червено) започва от 34 градуса и достига до малко над 44 градуса, след което става постоянна. Докато при температурата навън имаме започване от 38 градуса и следва тенденция на спад докъм почти 34 градуса. За влажността имаме сходна методика: влажността на кошера се покачва, докато влажността на въздуха навън спада.

Представени са основните стъпки в проектирането на хардуера на интелигентната автоматизираща система, следяща вътрешните параметри на пчелна колония. Въпреки голямото количество положен труд, остават редица проблеми - някои неразгледани и нерешени, а други с решения, подлежащи на оптимизация. Предложени са сензори за измерване на основни параметри – температура, влага и тегло на кошера. Решени са проблемите, свързани със зареждането на батерията от фотоволтаичен панел. В това отношение има поле за оптимизация

– добавяне на система за следене на слънцето, соларен панел от по-ново поколение, допълнителен контролер, следящ храненето т.н. В бъдеще е препоръчително последните да се изследват по-обстойно.

От икономическа гледна точка може да се направи следният анализ: Приблизителната цена на системата е около 25 лева. Ползата на системата е, че може в реално време да се проследява температурата и влажността в кошера спрямо същите параметри извън него. При необходимост да се реагира на време, с цел кошерт да не прегрее вследствие на тежки атмосферни условия и да загине. Приложим е в голяма степен, особено ако може да се предотврати най-лошото за пчелното семейство, защото в днешно време те са застрашени в огромна степен. Има твърдение, че ако умрат всички пчели на планетата може да се окаже фатално за човечеството.

3.3.8. Изследвания на диви животни в естествени условия чрез инфрачервена радиометрия.

Целта на настоящата глава е да покаже значението на инфрачервената радиометрия при провеждането на различни изследвания върху животни в естествените им условия на живот и какви трудности съществуват при измерване от въздуха. Проучени са числени примери за измерване на температурата при различни твърди ъгли и различни диви животни.

В съвременното инфрачервената радиометрия навлезе в много сектори: хуманна и ветеринарна медицина, селско стопанство, животновъдство, енергетика, строителство, сигурност, отбрана и военни дейности, търсене и сигурност, контрол на държавната граница, космически изследвания и др.

Голяма част от съвременната медицина, като ревматология и дерматология, използва инфрачервена радиометрия, за да предостави диагностична информация. Използва се и при изследване на съдова дисфункция, рани от изгаряне, измръзване, както и в борбата с рака [42-45].

Както знаем, повишаването на повърхностната температура на кожата води до увеличаване на телесната радиация. Това е резултат от повишена метаболитна активност, която от своя страна може да бъде причинена от възпалителни, метаболитни и токсични фактори. Отдавна е известно, че това може да е естествен индикатор за заболяване или различни отклонения от нормалните жизнени процеси [50-51].

Инфрачервената радиометрия позволява да се наблюдава и контролира здравословното състояние на животните в дивата природа. Здравият организъм се характеризира с равномерно разпределение на температурата между различните части на тялото. Много патологични процеси и заболявания възникват чрез локални промени в производството на топлина, променящи модела на притока

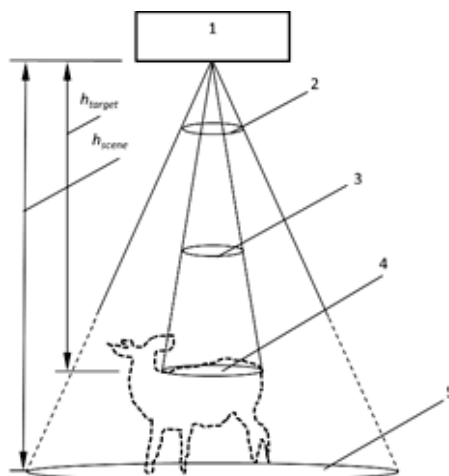
на кръв в засегнатите органи или тъкани. Благодарение на кръвния поток и проводимия пренос на топлина от дълбочината на тялото към повърхността му се смята, че инфрачервените изображения могат да отразяват дълбоко процесите на тялото [50,51].

В дивата природа радиометрията може да се използва за ранна диагностика и мониторинг на тежки заразни болести, например бяс и шап. Установено е, че повишаване на телесната температура може да настъпи преди появата на клиничните симптоми. Има изследвания, показващи възможностите на инфрачервената радиометрия за откриване на много сериозни и смъртоносни заболявания при животни като чума, грип, туберкулоза и други. За медицината, екологията, животновъдството и всички свързани науки и икономика е важно да се получи бърза и надеждна информация за факторите, които влияят на популациите на животните и взаимодействието им със заобикалящата ги среда. Инфрачервената радиометрия позволява отдалечен мониторинг на физическите и физиологични параметри на различни животински видове. Това е неинвазивен, безконтактен и безвреден метод за визуализация, както през деня, така и през нощта, тъй като яркостта във видимия спектър не е от съществено значение. Способността да се извършват подобни наблюдения върху животни, в естественото им местообитание, от въздуха го прави много предпочитан и важен механизъм за различни изследвания. Разпространението на светлината в разсейваща и абсорбираща среда може да бъде стриктно изследвано чрез използване на класическата електродинамична теория и теорията на частичната кохерентност. Предпочитаме да използваме радиометричния (енергиен) подход при анализа на съответните явления, който е по-ясен по отношение на физиката и по-опростен по отношение на математиката [46,47]. Този подход води до състава на така нареченото уравнение за разпространение. Това уравнение може да се използва само в случаите, съдържащи се в обхвата на правилното приложение на радиометричните концепции. Когато експериментът се провежда на земната повърхност, винаги е необходимо да се отчита влиянието на атмосферата. Като пример ще проучим атмосферния канал на една специфична радиометрична система, разположена между излъчващата повърхност и отвора на приемащата антена (фиг. 3.11).

Средата на разпространение се характеризира с обемни коефициенти на разсейване и поглъщане, с ансамблов разсейващ индикатор и съответната температура. В този материал няма да разглеждаме поляризационните ефекти по време на разпространението на светлината.

В обема между източника и измервателното устройство може да се наблюдава взаимодействия на оптични излъчвания с атмосферното вещество и

енергийни трансформации. Най-съществените сред тях са разсейването и усвояването. Често се използва унифицираният ефект, наречен изчезване (намаляване на енергията).



Фиг. 3.11. Обща настройка на радиометрично изследване на диви животни (1-радиометрично устройство; 2-фиксиран ъгъл на радиометричното устройство; 3-твърд ъгъл на виждане на изследваното животно; 4-съществена област на повърхността на дивите животни, която произвежда радиация (цел); 5-лъчение от повърхността, на която се намира животното (сцена- h_{target} - разстояние до целта, h_{scene} - разстояние до сцената)

Друг важен ефект е, че веществото в обема между източника и измервателното устройство е източник на топлинно излъчване, чиято енергия се разпределя по спектралната скала, в зависимост от температурата в този обем. Една част от това лъчение се насочва към приемника и се добавя към излъчването на изследвания обект.

Третият съществен ефект е, че в обема между източника и приемника е възможно да навлязат други лъчения, които се разпространяват по различни пространствени оси. Някои от тях могат да бъдат определени от независими външни източници, докато други са резултат от многократно разсейване на излъчванията от аерозолните частици и молекулите на газовете.

Задачата за разпространението може да бъде формулирана като диференциално уравнение [2].

$$\frac{dL_{\lambda}}{dZ} = -(\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)})L_{\lambda} + \alpha^{(a)}L_{\lambda}^* + L_{\lambda,scattered}, \quad (3.6)$$

където $\alpha^{(s)}$ е коефициентът на разсейване на атмосферата, $\alpha^{(a)}$ е коефициентът на поглъщане на атмосферата. $L_{\lambda,scattered}$ е съставката, определена от разсейването от други източници. В нашия случай ще приемем, че тази съставка е твърде ниска и ще пренапишем (3.6) без нея.

$$\frac{dL_\lambda}{dZ} = -(\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)})L_\lambda + \alpha^{(a)}L_\lambda^* \quad (3.7)$$

За да се изведе потокът, който би влязъл във фотоприемника, трябва да решим (3.7) и да умножим по стойностите на отвора и ъгъла:

$$\Phi_{\lambda,r} = A_r \Omega_r L_\lambda(Z) \quad (3.8)$$

Ние извеждаме решението на диференциалното уравнение, като приемаме, че коефициентите на разсейване на атмосферата и абсорбцията са константи по отношение на пространството и спектъра. Това е възможно, тъй като разстоянието е сравнително малко и ние също използваме малка част от спектъра.

Предполагаме също, че източниците на радиация са изотропни. След тези предположения извеждаме израз за оптичния поток, който влиза в приемника (използваме (3.1) .. (3.8))

$$\Phi_r = A_r \Omega_r \tau_r \left\{ \varepsilon_t \left\{ \exp[-(\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)})Z] U(T_t \lambda_1 \lambda_2) + \lambda_1 \lambda_2 \right\} \right\} + \quad (3.9)$$

$$\frac{\alpha^{(a)}}{\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)}} \left\{ 1 - \exp \exp[-\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)}Z] U(T_t) \right\},$$

където:

$$(T_a \lambda_1 \lambda_2) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_\lambda^*(\lambda, T) d\lambda \quad (3.10)$$

τ_r е прозрачността на оптиката на приемника.

Можем да обобщим, че потокът се образува от две основни съставки в (3.9): тази от целите и тази от атмосферата:

$$\Phi_r = \Phi_t + \Phi_a \quad (3.11)$$

3.3.8.1. Числено изследване

За да се направи общата теория полезна, ще разгледаме конкретен пример с радиометрично изследване на елен. Ъгълът на радиометричното устройство е фиксиран. Ъгълът обаче, под който виждаме значителната част от тялото на животното, от което се интересуваме, се променя в зависимост от височината. Поради тази причина, за да се направи по-точна оценка на въвеждането на различни оптични потоци във входната бленда на приемника, ние модифицираме (3.11) до:

$$\Phi_{t,total} = \Phi_t(\Omega = \Omega_t; Z = h_t) + \Phi_{scene}(\Omega = \Omega_r - \Omega_t; Z = h_{scene}) \quad (3.12)$$

и

$$\Phi_{a,total} = \Phi_{a,t} \Omega = (\Omega_t; Z = h_t) + \Phi_{a,scene}(\Omega = \Omega_r - \Omega_t; Z = h_{scene}) \quad (3.13)$$

За правдоподобна числена симулация се използва информация от литературата за съответното диво животно, в случая елените. Повечето от изследваните

обекти имат сложна форма, което води до грешки в измерването. Телесните повърхности също имат сериозно въздействие. Наличието на козина оказва значително влияние върху повърхностната температура на тялото и съответно е от съществено значение. Животните с дебела козина са слабо видими, докато тези, чието тяло е едва покрито с козина, са по-подходящи за изследвания. Плътността на козината, индивидуалните особености на козината, нейната дължина и чистота оказват значително влияние. Чистотата на повърхността на изследваните тъкани е важна, както и оцветяването им. Например, наличието на влага, мазнини, адхезия на прах или други физически частици по повърхността на кожата влияят върху резултатите от измерванията.

Поведенческите фактори също оказват влияние. Наблюденията и изследванията на дивата природа са придружени от много проблеми, дължащи се на уникалните биологични и поведенчески черти на различни видове, като например скриване в скривалища. Поведението и реакциите на видовете диви животни, в резултат на промени във факторите на околната среда, не могат да бъдат предсказани. Сериозно влияние оказват и присъщите фактори като изпарение на пот, съдова перфузия, локален тъканен метаболизъм. Факторът на стреса е от съществено значение и може сериозно да повлияе на резултатите от изследването.

Поради тази причина радиометричните анализи трябва да се извършват в естествена среда, когато субектът е адаптиран към околната среда.

За симулацията избираме следните данни [50, 51]: $T_a = 293K$, $T_t = 313K$, $T_{scene} = 293K$, $\lambda_1 = 8\mu m$, $\lambda_2 = 13\mu m$, $\varepsilon_{scene} = 0,98$,

$$a^{(s)} = 0,98, a^{(a)} = 0,03km^{-1}, \Omega_r = 0.10^{-3}sr, \tau_r = 1A_r = 8.10^{-5}m^2$$

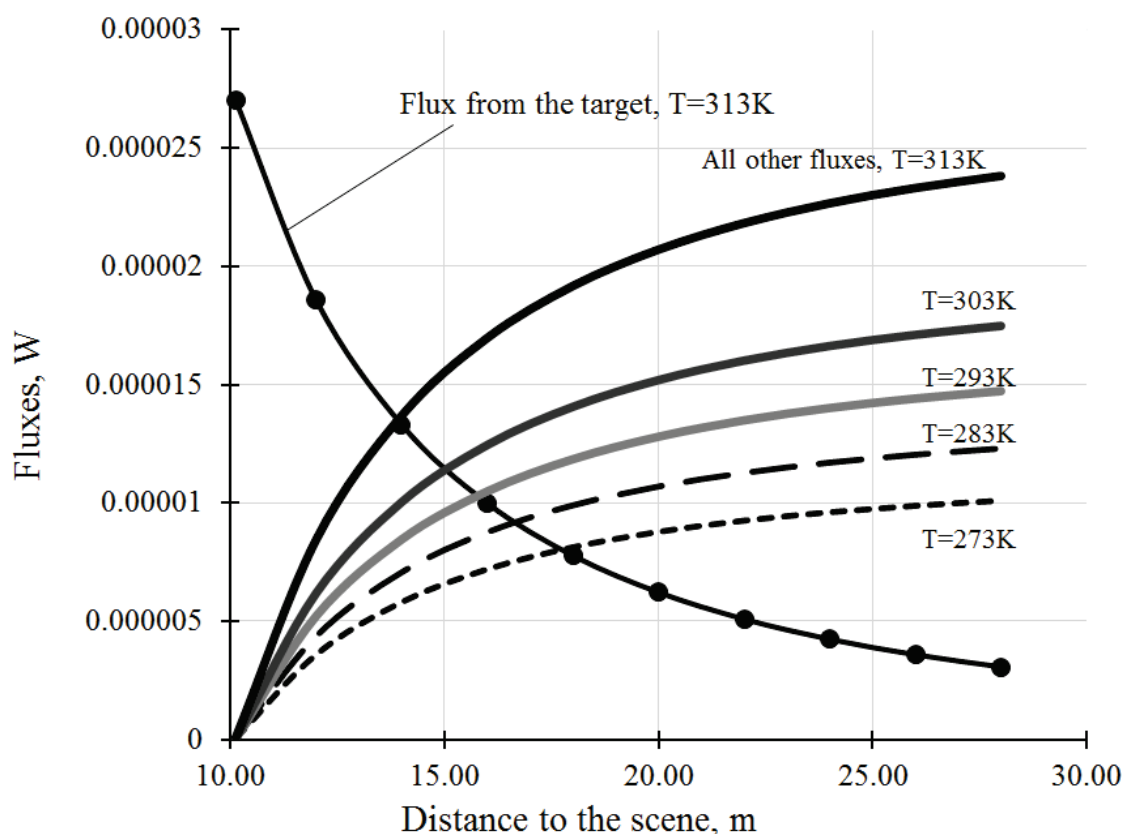
С помощта на (3.2) и (3.4) извършваме числено интегриране на израз (3.10). За това използваме Scilab. След това извършваме изчисления за (3.12) и (3.13). Част от резултатите са показани в следващата таблица 3.2.

Табл. 3.2.

Част от симулационните данни

No	1	2	3	4
$h_{scene}[m]$	10,13	12	14	16
$\Phi_t [W], T=313K$	$2,7027.10^{-05}$	$1,8598.10^{-05}$	$1,3304.10^{-05}$	$9,9848.10^{-06}$
$\Phi_{all other}[W], T=293K$	$7,3266.10^{-08}$	$6,1923.10^{-06}$	$1,0035.10^{-05}$	$1,2445.10^{-05}$

Ние сме особено заинтересовани от сравнението на потока, идващ от целта, със сумата на потоците от атмосферата и потока от мястото. Резултатите са показани графично на фигура 3.12.



Фиг. 3.12. Симулация за един тип мишена с температура 313 K и коефициент на излъчване 0,99 (диво животно) и различни температури за сцена с коефициент на излъчване 0,98 и атмосфера.

3.4. Разработване на методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение в екологични системи за екологична оценка и контрол на растителна среда.

Проектиране на система за интелигентно земеделие и следене на оптималните параметри на земеделските култури

Живеем във време, в което технологичните постижения правят живота ни лесен и удобен. Това е от съществено значение, имайки предвид забързания ритъм на живеене, който повечето от нас водят. През последните години се правят важни стъпки в автоматизацията на земеделието. Още в далечното минало и в много стари филми се заговаря за устройства наречени роботи, които можели да правят неща вместо хората и да вършат това, което те не могат. Тази идея плавно е започнала да се създава, с цел улеснение и облекчение на човешките дейности, особено в производството.

Още от дълбока древност България има традиции и опит в земеделието и животновъдството. Страната ни се слави и като петата държава в света, която започва да развива организирана земеделска наука.

Технологичните решения все по-често навлизат в мениджмънта на българското селско стопанство. Модернизацията на селското стопанство неизменно включва и навлизането на съвременните информационни технологии и системи.

Прецизното земеделие има голям потенциал в развиването на икономически и екологични ползи, които се изразяват в намаляване на употребата на вода, торове, препарати, труд и оборудване. Смисълът на подхода е вземането на правилни управленски решения в селското стопанство на базата на променливите характеристики на полето и получаване на максимални добиви. Използват се системи за измерване на рН, температура и влага на почвата, както и слънчевата активност.

Идеята за автоматизираното земеделие доста дълъг период от време е изглеждала мечта и различни по вид устройства да могат да измерват, събират и изпращат информация до дадено приемно устройство. Реалността обаче е, че със съществуващите днес технологии това е едновременно възможно и достъпно. Тези технологии позволяват на собствениците да управляват и наблюдават земеделската си земя дистанционно, с помощта на смартфон или таблет. Автоматизираното земеделие носи етикета "интелигентно", защото създават впечатление, че могат да мислят самостоятелно. Възможностите са изключително много. Земеделският производител може да наблюдава своите земи от високо с помощта на така наречените „Дронове” и да контролира разпространението на болести по растенията. Системи за следене на слънчевата активност, както и сензори за измерване на рН на почвата [121, 124, 118].

Идеята при интелигентното земеделие е целият процес да бъде напълно автоматизиран и изискващ минимално усилие от страна на фермера и да се постигне повишение на годишните добиви, както и качеството на продукцията. Защо интелигентното земеделие е толкова актуално днес? Динамичното ежедневие на всеки един от нас не позволява да сме навсякъде по всяко време и да контролираме всичко. С тази нова технология ние, на първо място, пестим време, намаляме производствените разходи и улесняваме доста производствения процес. Автоматизацията спомага за наблюдението и контрола на качеството върху храните. Чрез интелигентното земеделие имаме контрол върху напояването и торенето на земеделската земя и това може да стане изцяло дистанционно [123, 124].

Чрез използването на съвременен смартфон, днес, човек може да контролира цялата си земеделска земя. Улеснението се състои в това, че където и да се намира човек, той ще може лесно и бързо да провери статуса на земята по всяко едно време. Чрез тази съвременна технология, инвестицията е напълно възвръщаема и дава изключително висока ефективност, заради повишените добиви и качествена продукция. Това е една от най-съвременните технологии, създадени

за земеделските производители, която ги улеснява и същевременно ги поставя в синхрон с европейските политики в земеделието [122, 118].

Системи за автоматизирано земеделие – това означава напълно интегрирано и интелигентно управление на земеделската земя. Удобство и сигурност за продукцията. Не на последно място, стоят и комфортът и безопасните условия на труд на фермерите и земеделските работници. Такава система ще намира все по-голямо приложение в нашия живот.

Всичко, което описахме дотук, е един сигурен и сравнително лесен начин за измерване на някой от най-важните параметри на земеделските култури. Основното място, където ще намери приложение, е именно там. Освен че ще улесни в много аспекти земеделските производители, по този начин ще внесе иновативност, която тепърва ще се развива все повече и повече.

Постоянно развиващата се икономика и повишаващото потребление на хранителни продукти за изхранване на световното население налага внедряването на нови технологии в селското стопанство. Такива системи за прецизно земеделие тепърва ще навлизат в този много важен икономически сектор [123, 118].

3.4.1. Проектиране на системата за интелигентно земеделие

Проектиране на блокова схема.

Ще бъде представена една по-подробна блокова схема, която максимално точно и ясно да опише начина, по-който ще се структурира и изгради нашият радиоканал, за да бъде максимално ефективен.

Описание на системата: Хардуерната част на ИКТ системата включва: сензори, контролер, модем, сървър и захранващ блок.

Системата функционира по следния начин (показан на фиг.3.13):

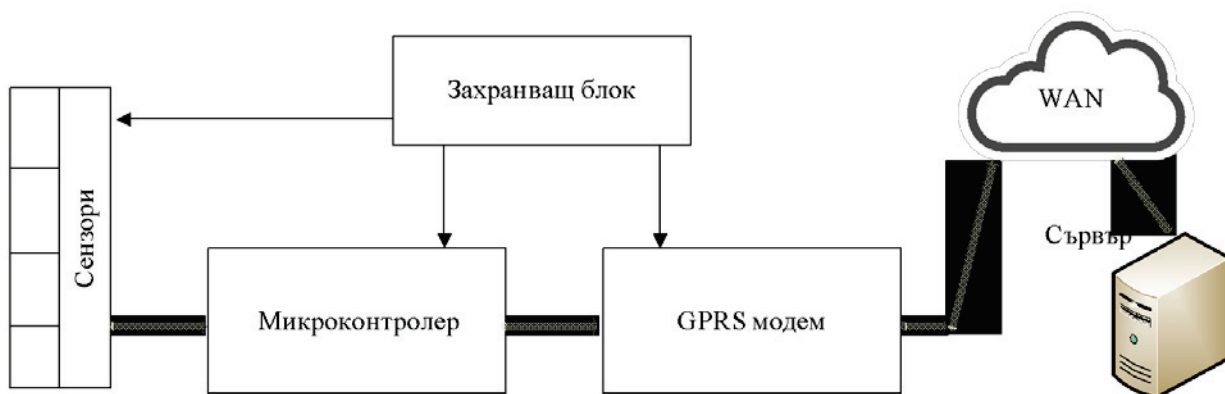
Данните, получени от сензорите, се обработват в подходящ формат от микроконтролера и чрез GPRS модема се изпращат до сървъра, където може да се извършва анализ, съхранение и статистическа обработка на информацията. Цялата система се захранва от захранващ блок.

Сензорите имат 4 аналогови изхода с нива от 0 до 5 волта или комуникация по I2C шина при цифров сензор. Ниво 0 волта отговаря на минималната стойност на измерваната величина, а ниво 5 волта отговаря на максималната стойност. При цифровите се предава число, съответстващо на стойността на измерваната величина.

Контролерът събира данните от всички сензори на всеки 10 секунди, осреднява ги и извършва първичната обработка на данните, конвертира ги в цифров вид и следи за нормалната работа на GPRS модула.

GPRS (англ. General packet radio service - пакетна радиовръзка за общо ползване) - е надстройка над мобилния стандарт от второ поколение GSM. Всеки

потребител на мобилни мрежи от поколения 2G или 3G ползва GPRS. Тарифира се на предаден обем информация (напр. мегабайти). GPRS модемът предава данните си по метода *най-добър опит*. Възможно е и използването на 3G или 4G модем. Сървърът следи комуникационния процес, приема и обработва данните от GPRS модема.



Фиг. 3.13. Блокова схема на система за интелигентно земеделие

Формат на данните от GPRS модема към сървъра:

Всеки блок е по 1 байт, данните се предават по UDP протокол.

ID - идентификационен номер на устройството.

- CH- канал: канал 1 до канал 7 са съответно:

- Канал 1 – сензор за температура на почвата;
- Канал 2 – сензор за влага на почвата;
- Канал 3 – сензор за температура на въздуха;
- Канал 4 – сензор за относителна влажност;
- Канал 5 – допълнителен сензор (например: рН, Азот, Калий и др.);
- Канал 6 – допълнителен сензор;
- Канал 7 – допълнителен сензор.

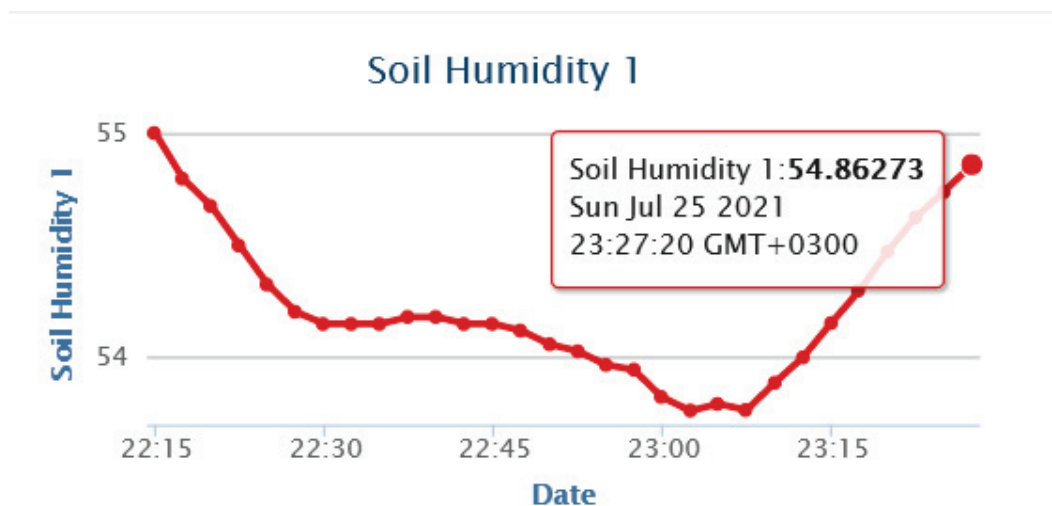
- CS - контролна сума.

Табл. 3.3.
Команди

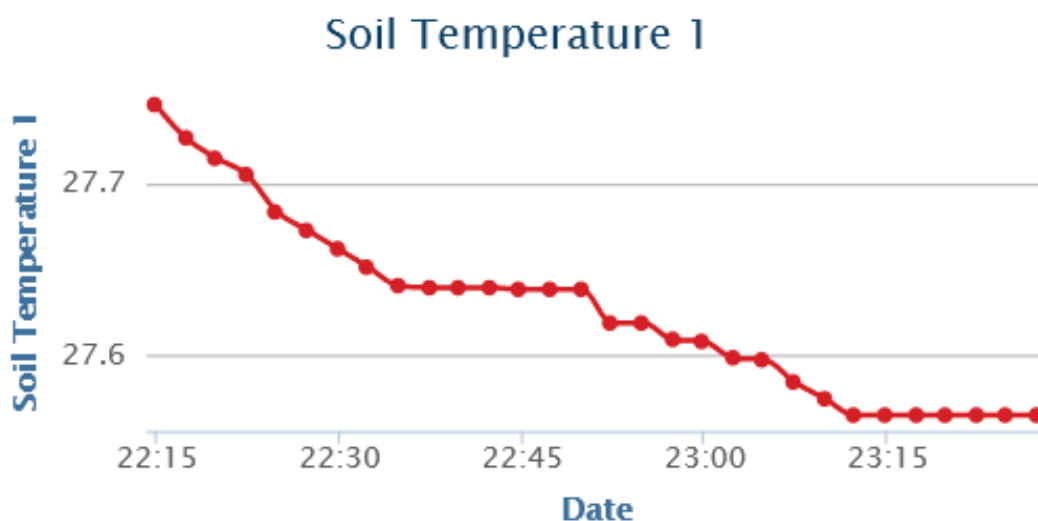
ID	ID	00	00	1CH	1CH	2CH	2CH	3CH	3CH	4CH	4CH	6CH	5CH
6CH	6CH	7CH	7CH	CS									

Експериментални резултати

Използвани са сензори за измерване на влажността и температурата на почвата. По-долу са показани графики на измерените стойности на влажността и температурата на почвата и въздуха от страна на датчиците, които се използват в системата за проектиране и изпълнение (фиг. 3.14 до фиг. 3.22).

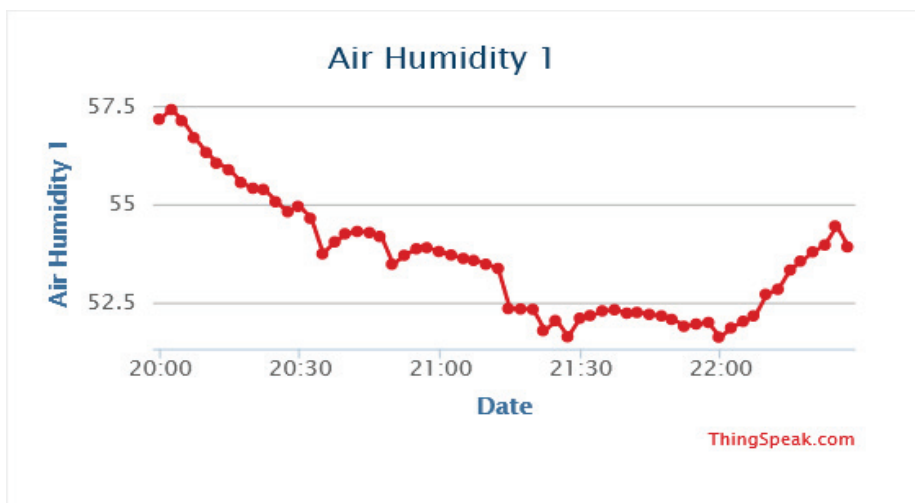


Фиг. 3.14. Графика, показваща измерената влажност на почвата

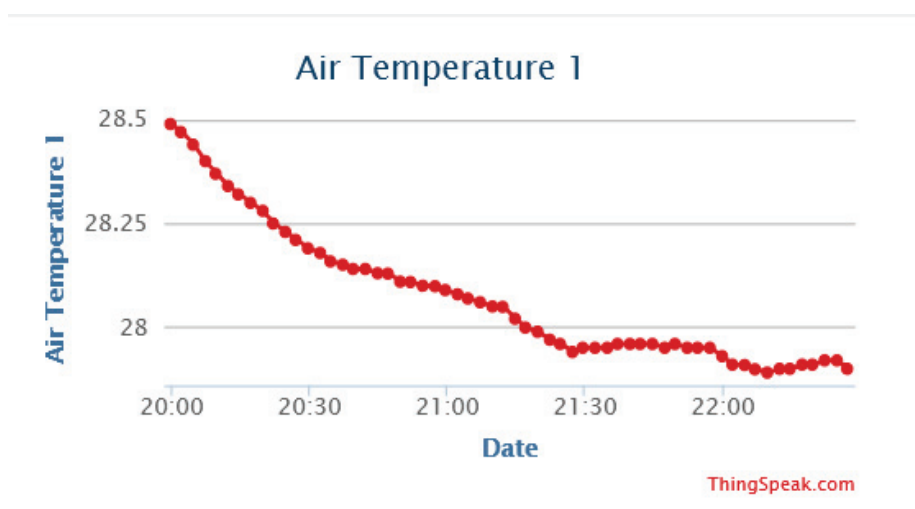


Фиг. 3.15. Графика, показваща измерената температура на почвата

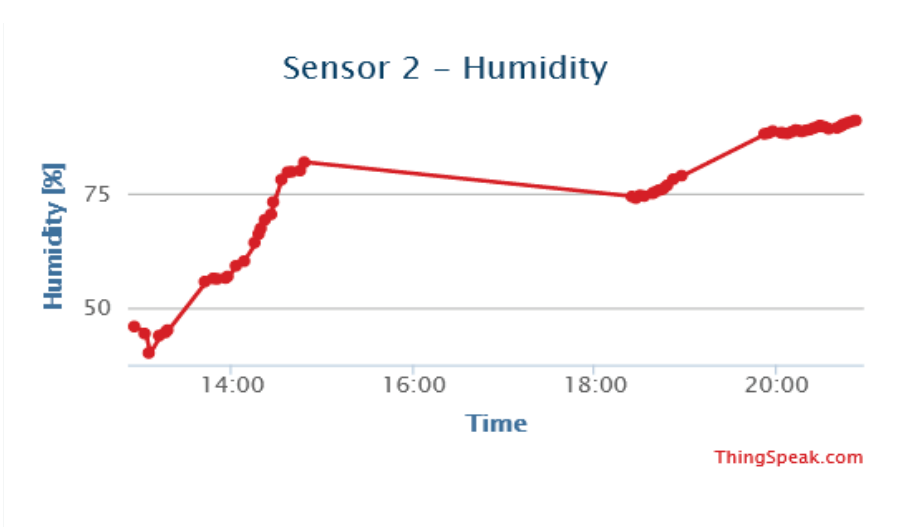
Тази система, използваща множество сензори, се прилага само за наблюдение на околната среда и почвата. При необходимост, може да се включи допълнителна автоматична поливна подсистема. По-долу са показани графиките, получени при направените експерименти в реални условия и визуализирани с платформата ThingSpeak:



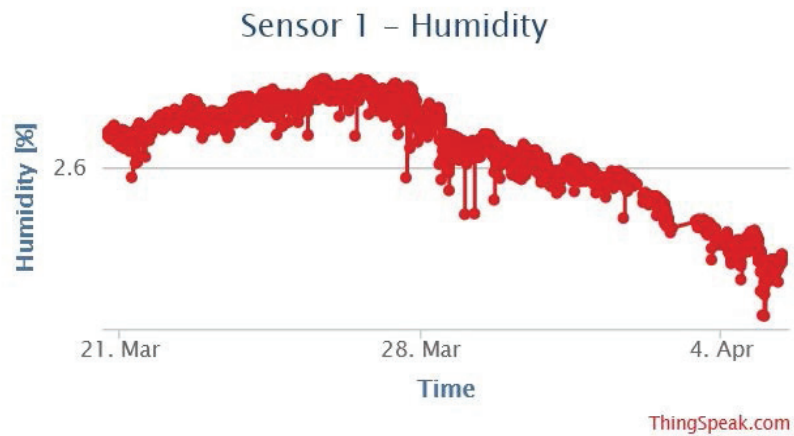
Фиг. 3.16. Графика, показваща измерената влажност на въздуха [%]



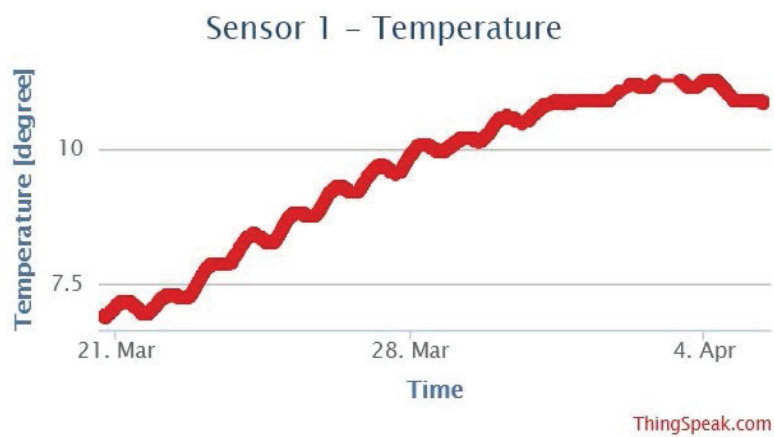
Фиг. 3.17. Графика, показваща измерената температура на въздуха [°C]



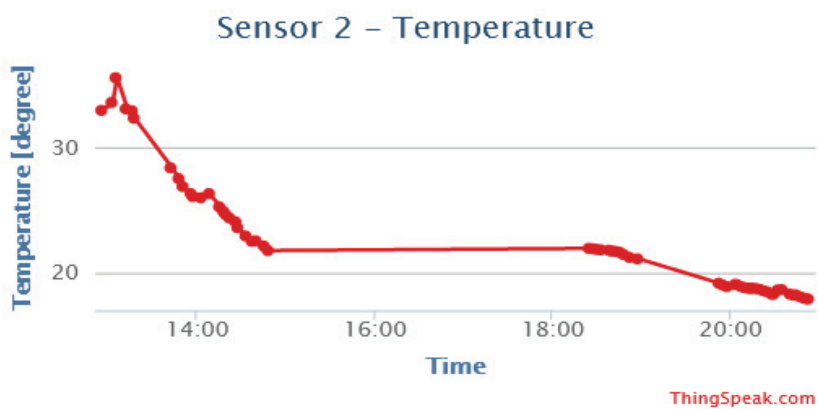
Фиг. 3.18. Графика, показваща измерената влажност на почвата [%]



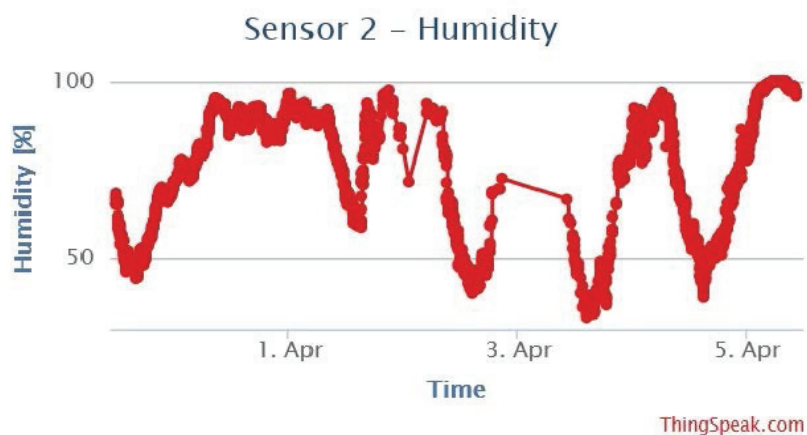
Фиг. 3.19. Графика, показваща измерената влажност на почвата



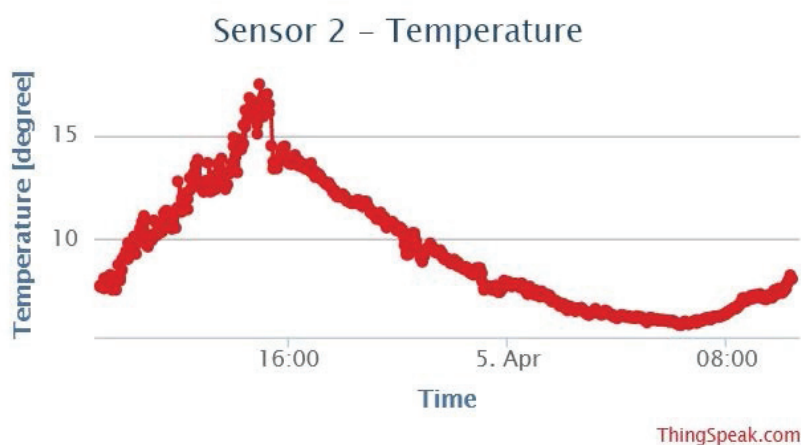
Фиг. 3.20. Графика, показваща измерената температура на почвата



Фиг. 3.21. Графика, показваща измерената температура на почвата



Фиг. 3.22 а. Графика, показваща измерената влажност на почвата



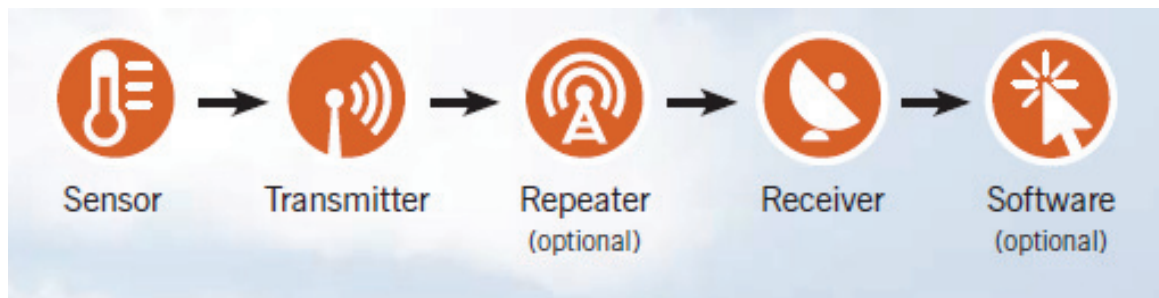
Фиг. 3.22 б. Графика, показваща измерената температура на почвата

Показаните по-горе графики са получени чрез измерване със сензори за влажност на почвата и температура ВМЕ 680. Сензорите са разположени: за почва - на дълбочина 80 cm, за въздух - на височина 100 и 200 cm.

Ефективното земеделие е сложен комплекс от множество фактори. На всеки един от тях трябва да отдаваме необходимото значение и да обръщаме нужното внимание. Основните цели, към които се стремим: намаляването на разходите за напояване и торене, за гориво на селскостопанската техника; увеличаването на добивите с от 50% до 70%; повишаване на качеството на реколтата и намаляване на бракуваната продукция; грижата за земята и опазването на природата благодарение на по-малката употреба на изкуствени торове; помага за борбата с болестите по растенията и намаляване на употребата на пестициди.

3.4.2. Проектиране на друг вариант на система за интелигентно земеделие

Използване на метеорологична станция в система за автоматизирано земеделие. Метеорологична станция Vantage Pro2 е функционална измервателна станция, която е много подходяща за конкретните цели. Примерна блокова схема и принцип на действие:



Фиг. 3.23. Блокова схема на функционална измервателна станция [116]

Тази метеорологична станция дава много надеждна и точна информация при наблюдение на метеорологичните условия. Съставните и блокове са сензори, които измерват температура, влага, количество валежи, скорост на вятъра и интензитет на слънчевата радиация. Следващият блок е предавателната част, състояща се от концентратор и предавателна и приемна антена. След това имаме повторител, който служи за препредаване на информацията на големи разстояния. Следва приемник, който приема и обработва цялата събрана информация от сензорите и я предоставя в подходящ вид за обработка от следващия блок. Последният блок е софтуерната обработка. Постъпилата информация се обработва, анализира и се предоставя в подходящ вид на потребителя като таблици, графики и бази данни [118].

Основните предимства са: измерване на външна и вътрешна температура; измерване на външна и вътрешна влажност; барометрично налягане; скорост и посока на вятъра; точка на оросяване; количество валежи.

Външният сензор може да предава данни по безжичен път и да комуникира с конзолата навсякъде, където може да бъдеш - у дома, в училище или на работа. Освенче показва моментното състояние на времето, Weather Center показва времето и неговата промяна през последните 25 дни. Основните опции на системата са: време и дата; фаза на луната; прогноза; температура и влага; трансмитери; барометър; дъжд; промяна във времето от вчера; Weather Center; прогноза за днес и за вчера; аларми - по едно и също време могат да се следят 22 различни аларми, които предупреждават за опасности: като силен вятър, замръзване, количество валежи, индекс на топлина, предупреждение от наводнения и още [119].

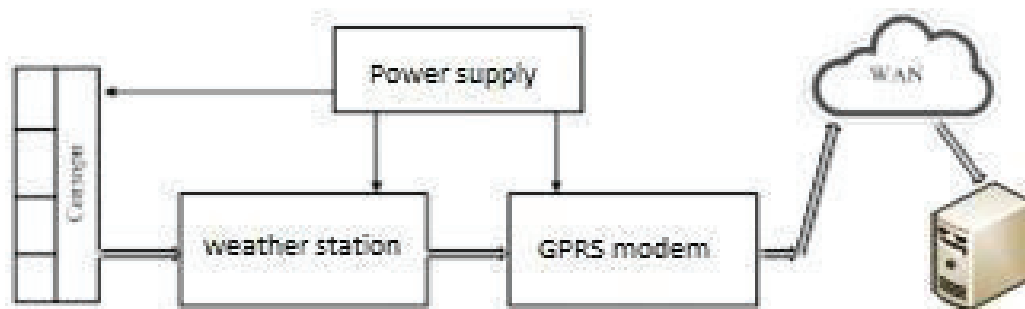
3.4.3. Проектиране на системата за интелигентно земеделие

Метеорологичната станция, която ще използваме ние за нашите цели, е Vantage Pro2 с допълнителни сензори за измерване на слънчевата радиация и ултравиолетови лъчи, за да бъде по-функционална. Един от важните елементи за системата е концентратора. Той изпраща и съхранява данни директно от външни сензори, към персонален компютър със софтуер Weather Envoy. За да може да има обмен между различните датчици в системата, е необходимо да се използват радиовръзки на големи разстояния. За целта се използват антени тип Яги, като показаната на Фиг. 3.24.



Фиг. 3.24. Конзола с метеорологична станция и антена [116]

Може да имаме предаване на сигнал на разстояние до 6 километра (без ретрансляция) с използването на две антени от тип Яги. Обикновените диполни антени, които предават на максимално разстояние от 300 метра, изглеждат по този начин, показан по-долу, но не са особено подходящи за нашите цели, затова не се спираме върху тях. Най-добрите и подходящи в случая са антените Яги, заради по-големите разстояния на предаване на данни.



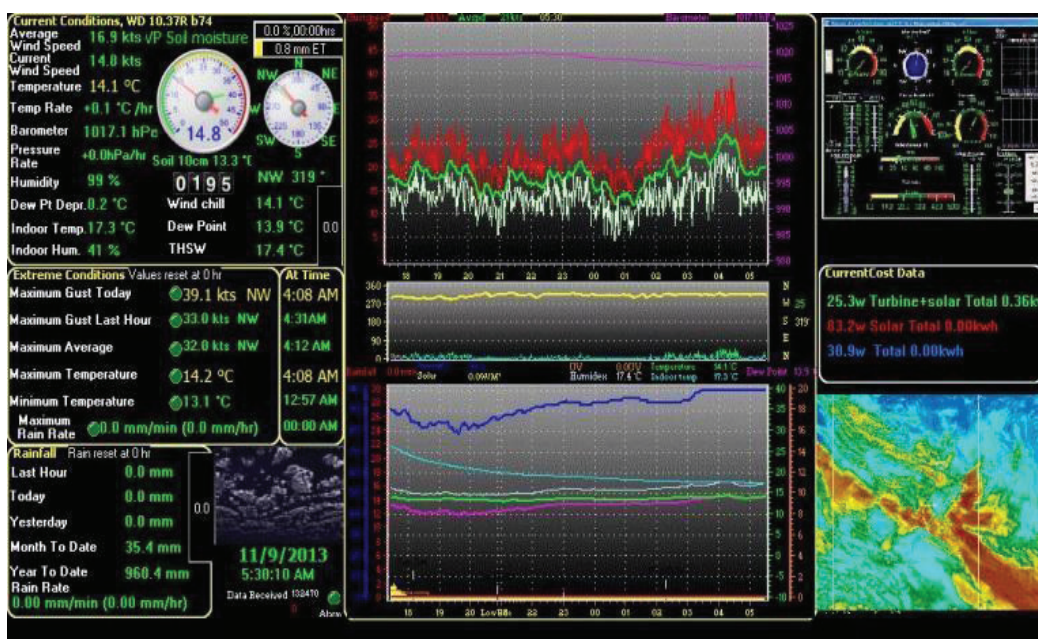
Фиг. 3.25. Блокова схема на проектираната система с включена метеорологична станция

Проектираната системата използва облачна технология. Описание на системата: хардуерната част на ИКТ системата включва - сензори, метеорологична станция, модем, сървър и хранващ блок. Блоквата схема на системата е показана на фиг 3.25.

Сензорите, които изграждат метеорологичната станция, са: Сензор за слънчева радиация - измерва интензитета на слънчевата радиация, във ватове на квадратен метър. Ултравиолетов сензор - служи за измерване на интензитета на тази част от спектъра Слънцето излъчва в ултравиолетовия спектър в UVA, UVB и UVC. Сензор, отчитащ влагата на листата - използва се, за да се наблюдава и следи нивото на повърхностната влага върху листа. Могат да бъдат добавени до два сензора на една измервателна станция. Сензор за измерване на влажността на почвата - не изисква периодична поддръжка по време на вегетация. По много лесен и удобен начин се поставя в земята и през целия сезон може да се наблюдава нивото на влагата. Температурна сонда от неръждаема стомана - Използва се, за да се измери температурата на въздуха, почвата или водата. Температурна сонда от неръждаема стомана с RJ конектор - използва се, за да се измери температура на въздуха, почвата или водата. Сензор, измерващ количество валежи - отговаря на препоръките на Световната Метеорологична организация, има изключително висока точност на измерванията [116].

Софтуер и обработка на данните са показани на фиг. 3.26.

Използването на подходящ софтуер също е много важно. Споделяне на данните за метеорологичните условия могат да бъдат нанесени в електронни таблици, бази данни и текстообработващи програми. Може да се създаде уебсайт, който да информира за метеорологичните условия в даден момент.



Фиг. 3.26. Прозорец на софтуер за обработка на данни [116]

ИЗВОДИ

Разработената система включва метеорологична станция, която дава много надеждна и точна информация при наблюдение на метеорологичните условия. Съставните и блокове са сензори, които измерват температура, влага, количество валежи, скорост на вятъра и интензитет на слънчевата радиация. Друго предимство е възможността да се прави прогноза за времето, което е изключително полезно за земеделските производители. Например при предстоящи слани в определен сезон, както и засушаване. Има възможност за измерване на температура и влага на почвата, както и при нужда да се включат още допълнителни сензори за азот, калий и фосфор, например. Тази система може да увеличи добивите с 50 до 70 %, като същевременно се намаляват разходите при поливане.

При разработване на система за интелигентно земеделие е необходимо да се следи жизненият цикъл, чрез система за обратна връзка, използваща термографска камера. Също така този вид радиометрия подпомага наблюдението и диагностиката на различни фитопатогенни процеси [54, 56, 58]. Той играе важна роля в някои методи за оценка на състоянието на различни вегетативни тъкани и се оформя като основен инструмент за развитието на неинвазивен анализ на растителния метаболизъм. Наблюдението на повърхностната температура на обекта на изследване и нейното изменение от разстояние с помощта на радиометър в инфрачервения спектър позволява безконтактно наблюдение [58]. Методът също е напълно безвреден за обекта и позволява непрекъснато събиране на данни

Използването на съвременни сензорни матрици позволява производството на термографски изображения с висока разделителна способност, което дава възможност за ранна диагностика на растителни заболявания, когато засегнатата тъкан възлиза на малък процент и нивата на инфекция са ниски. Всички околни обекти, поради собствената си температура, също излъчват инфрачервена светлина. Инфрачервеното записване се извършва с детектори, които обикновено са чувствителни към дължината на вълната от 8 до 12 μm . Сензорите, използващи инфрачервения диапазон с къса дължина на вълната от 3 до 5 μm , са силно чувствителни към отразеното слънчево лъчение и не са подходящи за дневни измервания. Изображението, което можем да видим, представя вариации на температурата на листата на растението. IR радиометрията се използва за планиране на напояване, за оценка на взаимодействието между растенията и патогените чрез аналитични модели на температурата на повърхността на растението и за цялостно наблюдение на тяхното взаимодействие с околната среда [54]. Липсата на контакт с изследвания обект прави този вид термография особено предпочитан, тъй като е максимално безвреден за растенията и тяхната среда.

IR термографията се използва успешно за изследване на температурни стресови процеси в растенията, тяхната адаптация, способност за аклиматизация,

издръжливост и оцеляване в условията на преохлаждане и измръзване през студените сезони. Целта е да се открият, запишат и визуализират промените в повърхностната температура на изследвания обект.

Различни вредители и болести възпрепятстват растежа и намаляват доходите от култури [52, 60]. Те могат да променят температурата и водния баланс на растенията. Радиометрията може да се използва за разработване на модели на различни болести или инфекция с вредители, както и тяхното откриване преди появата на синдроми на видимия спектър [53]. Този тип термография е полезен и за полеви работи, за локализиране [63] на райони, където културата е поповредена и съответно изисква по-бърза намеса, той също така дава възможност за наблюдение на различните хранителни вещества, съдържащи се в културите, като по този начин се гарантира, че процесите на торене и въвеждане на съставките, необходими за растежа на растенията, са навременни и подходящи.

От практическа гледна точка е важно да се проучи под фиксиран ъгъл на наблюдение на радиометъра, до какви разстояния е полезно да се правят измервания в реална среда [64] и по какъв начин те зависят от размера на повърхността на обекта и температурите на системата. Това е важно, тъй като радиометърът може да бъде част от мехатронна система [55].

3.4.4. Теория на радиометрията

За измервания в реална среда, от гледна точка на физиката и математиката, е подходящо да се приложи радиометричният подход. Когато трябва да се направят изследвания в инфрачервения спектър, ние винаги се основаваме закона на Планк върху излъчването на черно тяло [2].

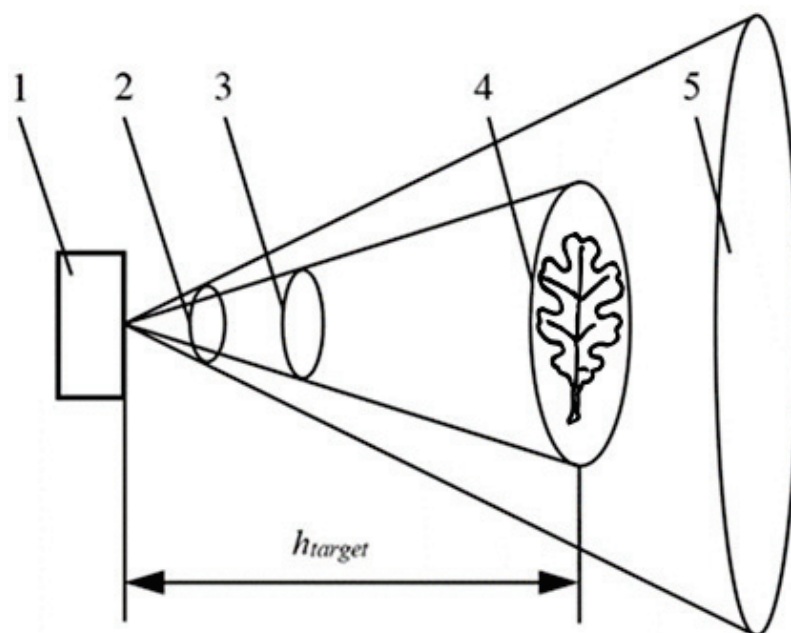
$$M_{\lambda,black\ b.}(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]}, \quad (3.14)$$

където M_{λ} е спектралната плътност на излъченото лъчение, λ е дължината на вълната, T е температурата и $c_1 = 3,74 \cdot 10^{-16} Wm^2$, $c_2 = 1,44 \cdot 10^{-2} mK$, са константи [2].

В природата телата се различават по излъчването си от това на черното тяло. Това налага въвеждането на корекционен коефициент за (3.14), наречен коефициент на излъчване

$$M_{\lambda}(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda, T)M_{black\ b.}(\lambda, T) \quad (3.15)$$

Нека бъде разгледана реална радиометрична система за измерване на температурата на листата на растенията, показана схематично на фигура 3.6. Разпространението на топлинното излъчване се извършва в разсейваща, поглъщаща и излъчваща среда [2]. Когато се съставя уравнението за разпространение, трябва да вземе предвид всички въздействащи фактори.



Фигура 3.10. Обща настройка на радиометрично изследване на листни растения 1 - радиометрично устройство; 2 - фиксиран ъгъл на видимост на радиометричното устройство; 3 - фиксиран ъгъл на видимост на изследваното листо на растението; 4 - съществена площ от листната повърхност на растението, която произвежда радиация (цел); 5 - лъчение от повърхността, върху която е разположено листото (сцена), h_{target} - разстояние до целта)

Наблюдава се взаимодействията и енергийните трансформации на емисиите с атмосферното вещество, намиращо се в обема между изследвания обект и радиометъра.

Разсейването и поглъщането са от съществено значение. Друго важно нещо е топлинното излъчване на самата атмосфера и част от него е насочена към камерата и се обобщава с излъчването на изследвания обект, тъй като посоките им съвпадат. В рамките на обема, между обекта и камерата, е възможно други емисии да проникнат и те се разпределят в различни посоки. Някои от тях може да произхождат от независими външни източници, докато други може да са резултат от многократно разсейване на емисиите на аерозолни частици и молекулите на различните газове. Като цяло, за описание на енергийните взаимодействия в дадена система, трябва да се вземе предвид всички въздействащи фактори и тяхното изразяване може да бъде описано чрез диференциално уравнение [2].

Неговият израз е следният:

$$L_{\lambda,scattered} = \left(\frac{\alpha^{(s)}}{4\pi} \right) \int_{4\pi} L_{\lambda} P_A d\Omega, \quad (3.16)$$

където P_A е индикатрисата на разсейване на обем А.

Следователно, използвайки (3.16), уравнението (3.15) се трансформира в:

$$\frac{dL_\lambda}{dZ} = -(\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)})L_\lambda + \alpha^{(a)}L_{\lambda,black\ b.} + \left(\frac{\alpha^{(s)}}{4\pi}\right) \int_{4\pi} L_\lambda P_A d\Omega \quad (3.17)$$

В нашия случай разстоянието от обекта до камерата е относително малко и граничните обеми имат еднаква температура, което означава, че този компонент няма практическо въздействие и може да бъде премахнат, така че уравнението (3.17) се преобразува на:

$$\frac{dL_\lambda}{dZ} = -(\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)})L_\lambda + \alpha^{(a)}L_{\lambda,black\ b.} \quad (3.18)$$

След интегрирането на (3.18) от Z в диапазона от 0 до Z и следвайки хомогенността на атмосферния канал, което означава, че коефициентите на поглъщане и разсейване не зависят от Z , извличаме

$$L_\lambda(Z) = e^{-\int_0^Z [\alpha^{(s)}(z) + \alpha^{(a)}(z)] dz} \int_0^Z \alpha^{(a)}(z) L_{\lambda,black\ b.}(z) \times \\ \times e^{\int_0^z [\alpha^{(s)}(z') + \alpha^{(a)}(z')] dz'} dz + C e^{\int_0^Z [\alpha^{(s)}(z) + \alpha^{(a)}(z)] dz} \quad (3.19)$$

Тук можем да изразим чрез спектралното излъчване, което влиза в отвора на радиометъра,

$$\Phi_{\lambda,r} = A_r \Omega_r L_\lambda(Z), [W] \quad (3.20)$$

Където Ω_r е зрителният ъгъл на радиометъра и A_r е размерът на отвора на радиометъра.

От (3.20) става ясно, че за да намерим потока, трябва да решим (3.19) и да умножим резултата по размера на приемащата част на антената и по пространствения зрителен ъгъл.

Поради предварителните предположения за хомогенността на атмосферния канал, освен факта, че използваме една строго определена честотна лента от спектъра (8-12 μ m), ние също така приемаме, че източникът на радиация е изотропен, така че следва от всички от тези условия можем да приемем, че атмосферните коефициенти на разсейване и поглъщане са постоянни спрямо пространството и спектъра. За да се пресметне числено топлинният поток, влизащ в апертурата на радиометъра, трябва да решим следния израз:

$$\Phi_{\lambda,r} = A_r \Omega_r \tau_r \left\{ \varepsilon_t e^{-(\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)})Z} F(T_t; \lambda_1, \lambda_2) + \right\} + \\ \frac{\alpha^{(a)}}{\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)}} \left[1 - e^{-(\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)})Z} \right] F(T_t; \lambda_1, \lambda_2) \quad (3.21)$$

докато,

$$F(T_t; \lambda_1, \lambda_2) = \frac{1}{\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda,black\ b.}(\lambda, T) d\lambda \quad (3.22)$$

и последният множител в двете добавяния е стойността на интегрирането на яркостта на спектралната енергия на абсолютно черно тяло при дадена температура в интервала от λ_1 до λ_2 .

Виждаме, че потокът се формира от два основни компонента: емисиите от обекта и от атмосферата

$$\Phi_r = \Phi_t + \Phi_a, \quad (3.23)$$

където Φ_r е пълният лъчист поток, влизащ в радиометричната апертура

$$\Phi_a = A_r \Omega_r \tau_r \frac{\alpha^{(a)}}{\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)}} \left[1 - e^{-(\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)})z} \right] \times F(T_a; \lambda_1, \lambda_2) \quad (3.24)$$

е потокът, идващ от обекта и

$$\Phi_a = A_r \Omega_r \tau_r \frac{\alpha^{(a)}}{\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)}} \left[1 - e^{-(\alpha^{(s)} + \alpha^{(a)})z} \right] \times F(T_a; \lambda_1, \lambda_2) \quad (3.25)$$

е съответно потокът от атмосферата.

3.4.5. Числено изследване, свързано с опитния образец

Нека разгледаме пример за радиометрично изследване на листно растение [52, 59, 60], като използваме теорията, разработена по-горе, докато зрителният ъгъл на радиометричния сензор е също фиксиран. Нека имаме за обект лист с форма на елипса, с дължина 25 см и ширина 20 см. Формата му може да бъде приближена до елипса ($a = 0,125$ m, $b = 0,1$ m) с повърхност:

$$S_t = \pi ab, \quad (3.26)$$

където a е дължината на голямата полуос на елипсата и b е дължината на малката полуос.

От това извличаме площта на обекта $S_t = 0,039m^2$. С тези параметри нека ъглополовящата на зрителния ъгъл е перпендикулярна на точката на пресичане на осите на елипсата. Ъгълът, по който виждаме значителната част от листа, която представлява интерес, се променя в зависимост от разстоянието до камерата, а също така зависи от моментното състояние на растението и околната среда. Растенията с добро здраве имат дебели и еластични листа, докато страдащите от определени заболявания не съдържат достатъчно влага [59]. Някои листа имат сложна форма [57], което пречи на високата точност на измерване. Тяхната плътност, ниво на пигментация, чистота на повърхността, наличие на влага, прах или други физически частици на тяхната повърхност оказват влияние върху резултатите от измерванията. Поради тази причина, за да се постигне по-точна

оценка на навлизането на различни топлинни потоци в отвора на радиометъра, ние се развиваме (3.23), за да:

$$\Phi_{t,total} = \Phi_t(\Omega = \Omega_t; Z = h_{target}) \quad (3.27)$$

и

$$\Phi_{t,total} = \Phi_t(\Omega = \Omega_t; Z = h_{target}) + \Phi_{scene}(\Omega = \Omega_r - \Omega_t; Z = h_{scene}) \quad (3.28)$$

По-нататък ще ни интересуват основно $\Phi_t(\Omega = \Omega_t; Z = h_{target})$ и сумата от втората част на (3.27) с (3.28). Тази сума сме нарекли $\Phi_{other,total}$. Ще наблюдаваме въздействието на изменението на разстоянието на апертурата на радиометъра върху обекта върху топлинните потоци на системата.

За целите на симулацията избираме следните параметри:

$$T_t = 283, 293, 303K; \quad \lambda_1 = 8\mu m; \quad \lambda_2 = 12\mu m; \quad \varepsilon_t = 0.88; \quad \varepsilon_{scene} = 0.88, \\ 0.23; \quad \alpha^{(s)} = 0,03km^{-1}; \quad \alpha^{(a)} = 0,4km^{-1}; \quad \Omega_r = 6,25 \cdot 10^{-1}; \quad \tau_r = 1; \quad A_r = 8 \cdot 10^{-5}m^2$$

Коефициентът на емисия на растителни листа е средна стойност на листата на различни растения.

Изчисляват се стойностите на (3.22) за различни температури. Важно е да сравните потока, идващ от листа, с потока, идващ от атмосферата и сцената, и как те се променят с промяната на разстоянието от камерата до изследвания обект, при различни области и температури. За всички изчисления използваме Scilab.

Нека наблюдаваме въздействието на изменението на разстоянието на радиометричната апертура към обекта върху топлинния поток, влизащ в апертурата на радиометъра от обекта, когато има промяна в разстоянието на измерване от 0,25 м до 2,5 м, през 0,25 м за три различни температури. Сцената е на един метър от обекта [57]. Резултатите са показани в Таблица 3.4.

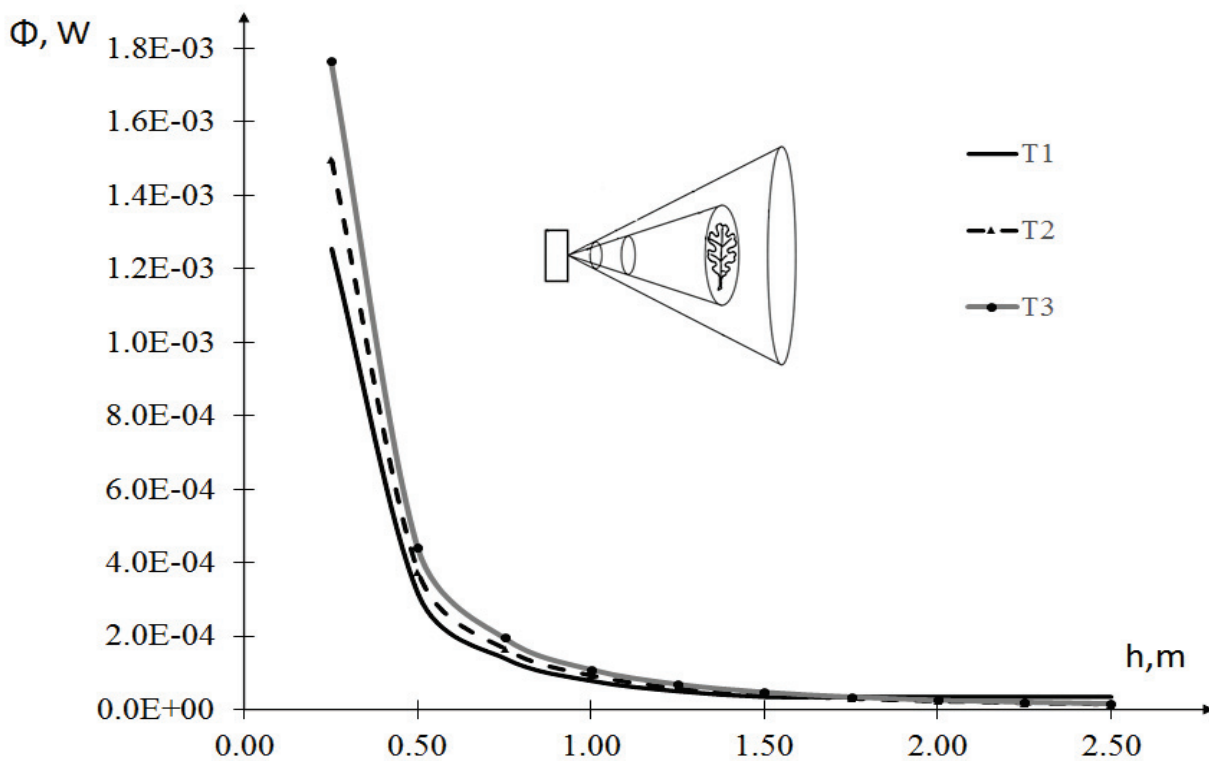
В Таблица 3.4 са представени стойности на топлинния поток, влизащ в отвора на радиометъра от и обект с повърхност $S_{target} = 0,039m^2$, за три различни температури и $\varepsilon_{scene} = 0.88$.

Табл. 3.4

No	h_{target} [m]	Ω_t	Φ_t [W], T1=283K	Φ_t [W], T2=293K	Φ_t [W], T3=303K
1	0,25	0,624	1,25E-03	1,50E-03	1,77E-03
2	0,50	0,156	3,14E-04	3,74E-04	4,42E-04
3	0,75	0,069	1,39E-04	1,66E-04	1,96E-04

4	1,00	0,039	7,84E-05	9,35E-05	1,10E-04
5	1,25	0,025	5,02E-05	5,99E-05	7,07E-05
6	1,50	0,017	3,48E-05	4,16E-05	4,91E-05
7	1,75	0,013	3,48E-05	3,05E-05	3,60E-05
8	2,00	0,010	3,48E-05	2,34E-05	2,76E-05
9	2,25	0,008	3,48E-05	1,85E-05	2,18E-05
10	2,50	0,006	3,48E-05	1,50E-05	1,77E-05

И това е фигурата със семейство графики, съответстващи на данните в таблица 3.4.



Фиг. 3.27. Промяната на потока, постъпващ в отвора на радиометъра от обект с повърхност $S_t = 0,039m^2$ и $\epsilon_{scene} = 0,88$

Нека сега наблюдаваме как промяната в разстоянието от радиометъра до обекта влияе върху общия оставащ топлинен поток, влизащ в отвора на радиометъра при три различни температури. Резултатите са показани в Таблица 3.5.

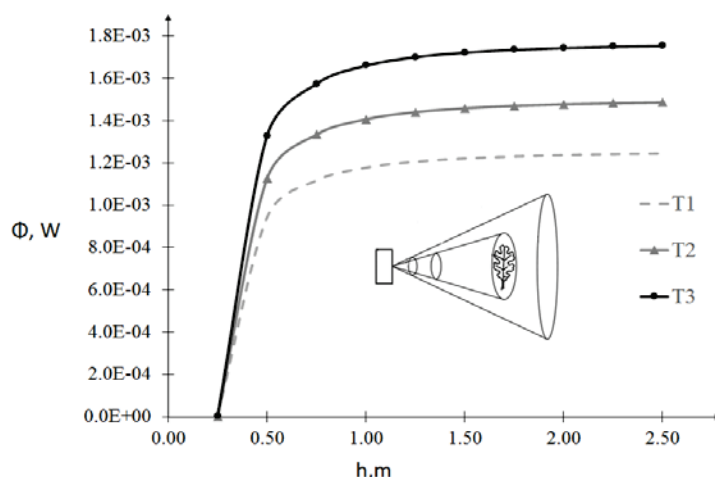
Табл. 3.5.

Стойности на общия остатъчен топлинен поток, влизащ в отвора на радиометъра, когато обектът е с повърхност $S_{target} = 0,039m^2$, за три различни температури и $\epsilon_{scene} = 0,88$.

No	h_{target} [m]	$\Phi_{other,total}$ [W], T1=283K	$\Phi_{other,total}$ [W], T2=293K	$\Phi_{other,total}$ [W], T3=303K
1	0,25	2,01E-06	2,40E-06	2,83E-06
2	0,50	9,43E-04	1,13E-03	1,33E-03
3	0,75	1,12E-03	1,33E-03	1,57E-03
4	1,00	1,18E-03	1,41E-03	1,66E-03
5	1,25	1,21E-03	1,44E-03	1,70E-03
6	1,50	1,22E-03	1,46E-03	1,72E-03
7	1,75	1,23E-03	1,47E-03	1,74E-03
8	2,00	1,24E-03	1,48E-03	1,74E-03
9	2,25	1,24E-03	1,48E-03	1,75E-03
10	2,50	1,25E-03	1,49E-03	1,75E-03

Фиг. 3.28. показва семейство графики, съответстващи на данните в таблица

3.5



Фиг. 3.28. Стойностите на общия оставащ поток, влизащ в отвора на радиометъра, когато обектът е с повърхност $S_t = 0,039m^2$ и $\epsilon_t = 0,88$.

Наблюдава се как промяната на разстоянието от радиометъра до обекта влияе върху топлинния поток, постъпващ в термокамерата от обекта, когато има

промяна в разстоянието на измерване от 0,25m до 2,5m, през 0,25m, но когато площта на листа е с 25% по-малка или $S_{target} = 0,0292\text{m}^2$.

3.5. Използване на наноспътници и специализирани дроне за изследване на растения и горски насаждения

В настоящата глава е приложен комплексен подход за екологичен мониторинг, като основната идея се състои в комбинирането на функциите на спътниците, описани в глава 1, с цел по този начин да се постигне оптималност при едновременното наблюдение на целия набор от съществените параметри, влияещи върху равновесието на анализиранията екосистема.

Малките сателити се разделят на подвидове, в зависимост от тяхната маса – минисателит, микросателит, наносателити (познати ще като cubesat), пикосателити и фемтосателити [66]. Максималната маса на един такъв сателит не надвишава 500 кг., както е представено в таблица 3.6. Съществуват многобройни ограничения за малките спътници, поради тяхната маса, големина и мощност. Това донякъде се компенсира с напредване на технологиите и използването на все по-нови и нови хардуерни решения, интегрирани в конструкцията на спътниците. Основно предимство на тези сателити са високата пространствена и времева разделителна способност за събиране на данни от множество точки по дадена орбита, както и образуването на “съзвездия” от спътници за събиране на данни за различни цели. Тези операции затрудняват и са финансово неефекасни за големите спътници, което мотивира учени от цял свят да работят в насока подобряване, оптимизиране, и внедряване на този тип сателити в промишлеността, като в същото време се създават различни софтуерни продукти за улеснение на експлоатацията на спътника спрямо конкретно приложение [67].

Табл. 3.6.

Класификация на малките сателити според теглото им

Тип на сателита	Маса
Минисателит	500 – 100 кг
Микросателит	100 – 10 кг
Наносателит (cubesat)	10 – 1 кг
Пико- и фемтосателити	< 1кг

Компании, които произвеждат и поддържат, такива сателити са Endurosat [68], SpaceX [69], NanoRacks [70] и др. Общите разходи при стартиране и експлоатация на малък сателит са между € 75 000 и € 1000000. Като изстрелването на cubesat, микро-и минисателити може да достигне ниска цена от порядъка на € 12000. През последните години, повече от 860 микросателита, 680

наносателита и 38 пикосателита са изпратени на своята мисия около Земята [71]. За да се добие обща представа за това от какво се състои един малък сателит, на Фигура 3.29. е показана структурата на наносателит, включваща основните елементи на един спътник от този тип. Представеният сателит се състои от спътников корпус – специално проектиран да издържа неблагоприятните условия в космоса, а в същото време да предпазва апаратурата вътре в него. След множество изследвания на различни дизайни, се оказва, че най-подходящ корпус за наносателитите има кубоподобна структура, от което се заражда и другото им име Cubesat. Слънчевите панели са свързани със захранващия блок.

Важно при сателитите е енергийната независимост, това се осигурява чрез зареждане на захранването със слънчеви панели. Нивото на заряд на батерия в захранващия блок се следи от микроконтролера, така че винаги да има поне 30-40% заряд за непредвидени ситуации. Диполните антени са директно свързани с приемо-предавателя, а двете образуват сегмента за комуникацията, най-използвани са диполните антени, понеже връзката земя-спътник-земя се осъществява най-често на UHF обхват. Компютърът за управление на полета следи за спазване на траекторията на спътника по зададената орбита, едно от основните му приложения е да следи и дава ъгъла на грешка от основната орбита, ако сателитът излезе от нея. В модерни сателити към корпуса има закачени двигатели, които могат да връщат или коригират траекторията на сателита по дадена орбита, при тези системи компютърът управлява двигателите и през него минават всички процеси, свързани с управлението на траекторията на спътника. Микроконтролерът е блокът, който е отговорен за всички други процеси на спътника и е пряко специализиран за мисията, за която спътникът е изстрелян. Микроконтролерът съгласува и синхронизира процесите на отделните съставни блокове, а към него може да бъдат добавени съответните жirosкопи, камери, датчици и т.н., необходими за събирането и обработката на информация [72].



Фиг. 3.29. Опростена комерсиална структура на наносателит [72].

Енергийни проблеми: Един от генералните проблеми при спътниците е ниския експлоатационен период. Този проблем, донякъде, възниква и поради използващата захранваща система на спътниците и най-вече времето на живот на батерията, работеща в неблагоприятни космически условия. През последните години, обаче, бяха развити различни енергийни системи, които увеличават експлоатационния живот на един спътник, откъм енергийна ефективност. Най-важното е при малките сателити, дизайнът на захранването да е максимално ефективен и да има малки размери. Различни методи и похвати от токозахранващите системи са интелепнирани на спътникови нужди, като: директен трансфер на енергия (ДТЕ) с шина на батерията, различни ДТЕ методи, проследяване на максимална мощност с акумулаторна батерия и други; те се оказват ефикасни за интегриране в сателитите, но не дават достатъчно голяма ефективност за най-новите технологии в спътниковия дизайн [73]. Компанията Miltec финансира проектиране и изработка на електрическа спътникова система (ЕСС), със специализирано приложение за наносателити. Тази система изисква малко по-голям обем на самия корпус на сателита, това е така, понеже се използват две или повече батерии, разработени по технология оптимизираща техния обем. По този начин, вместо една батерия с примерно тегло 1кг, може да бъде заменена с 2 батерии със същото тегло, но с много по-голяма енергийна ефективност. Технологията също включва, допълнително монтирани соларни панели, осигуряващи достатъчен заряд за двете батерии и енергийната система. Различни алгоритми допринасят за допълнителна енергийна ефективност, оптимизиращи енергийно различните процеси в сателита [74].

Сателити за образование: Малките сателити предизвикват и интерес в секция образование. Сравнително евтината им реализация и атрактивността на спътниковите комуникации подтиква студенти и научни работници от цял свят да работят в сферата на оптимизация за спътниковите комуникации. Самият процес на проектиране дава знания на високо ниво на участващите студенти в даден проект, той развива у тях теоретични и практически знания в сферата на радиокомуникациите, антенния и микровълнов дизайн, цифровата обработка на сигнали, програмирането и др. Биват проектирани различни малки сателити, използвани за лабораторни цели или за изстрелване на мисия в космоса.

Сателитни снимки за фотографиране на пожари. В алгоритъма е необходимо да се включат белезите за огън и горене. Те са необходими с цел разпознаване опасността на пожара, големината и „потенциала“ му за развитие. Необходимо е правилна идентификация на пожара, понеже при сателитна снимка има места „преживяли“ пожар, места, където пожарът е отминал, а засечените белези са сходни с тези на наличен пожар. Поради тази причина е необходимо количеството на смущения от апаратурата, по възможност да са

известни, за да могат да бъдат вкарани в алгоритъма като грешка, която да бъде елиминирана чрез калибрация. Подобен сателитен мониторинг е използван за наблюдение на изгорели площи в САЩ, с цел наблюдение на изгорели населени райони. AVHRR системи са подходящи за мониторинг на големи пожари, понеже размерът на един пиксел при тях обхваща <80км. Този тип метод са използвани успешно при картографиране на пожар (големи пожари), въпреки това проектирането на сензори за картографиране на пожари продължава да се усъвършенства. SPOTVEGETATION (SPOT-VGT) разпознава изгорели площи приблизително със същия размер на пикселите <80 км, като в същото време има функция/резолюция за улавяне на различен контраст, благодарение на което може да се разграничат различни видове растителност – най-общо казано, различава леснозапалима растителност със съответната палитра/оцветяване на листата, която ще помогне за разпространение на пожара и зелена, влажна, блатна растителност – при нея пожарът, в зависимост от размера си, е възможно да се разпространи по-бавно.

Изследването и оптимизирането на различни компоненти в дизайна на малките сателити е от значение за приложението им в спътниковите комуникации, което се увеличава с всеки изминал ден. В представения материал бяха посочени някои от основните недостатъци при този тип спътници - енергийната ефективност, но както беше и посочено, се работи и в посока подобряване и оптимизиране на различни елементи от спътниците, за това и този проблем скоро ще бъде разрешен. Включването на проектиране на различни сегменти на спътници в учебния план на университети, ще забърза този процес, а от друга страна, е ключово звено за обвързване на бизнеса и образованието в тази сфера. Широко приложение на малките сателити и тенденция за ниски цени, могат да бъдат ключови в развитието на така наречени умни градове, които вече изглеждат достижими в не така далечното бъдеще, като бъдат включени различни системи за наблюдение в наносателитите.

ИЗВОДИ

1. Предложен е модел, използващ множество сензори за измерване на различни обекти или области. Това дава възможност да се намали грешката при измерване на един и същ участък от съответния обект, фиг. 3.2. Изчислено е намалението на дисперсията на резултатния сигнал при увеличаване на броя на независимо измерващите сензори и е показан на фиг. 3.3. Резултатите показват намаляване на дисперсията с увеличаване броя на сензори.

2. Разработена е блокова схема на модул, фиг. 3.1 за безконтактно измерване на повърхностна температура на разпределени обекти в

топлинна зона в рамките на помещение в сграда. Модулът е създаден и е интегриран като част от по-голяма система за енергийна ефективност, мониторинг и управление на сгради. Реализирано е измерване едновременно на няколко зони на интерес с цел търсене на връзки, свързани с охлаждане или загряване [S4].

3. Разработен е модел на оптоелектронна система за отчитане на преминаващи обекти, в частност автомобили. Описани са част от проблемите и съответните им решения при създаване прототип на система за броене на обекти на база оптично излъчване. Проведени са експериментални научни изследвания, свързани с отброяване на автомобили, с цел отчитане на трафика неговото редуциране. Проектирана е относително евтина и надеждна система [S1, S2].

4. Разработена е методика, която позволява покриване на големи площи и много обекти, използваща инфрачервена термография. за откриване на обекти с температури, значително различни от тези на околната среда, фиг. 3.11. Направена е симулация с коефициент на излъчване 0,99 (диво животно) и различни температури за сцена с коефициент на излъчване 0,98 и атмосфера, фиг. 3.12. Използва се за преброяване на популациите, откриване на районите на местообитанията, изследване на миграционните процеси, идентифициране на правилата за придвижване в големи стада, изучаване на естественото местообитание на определени групи и породи диви животни [S6].

5. Разработена е интелигентна система за измерване и следене на основните параметри на пчелните кошери: влага, температура, шум, тегло на магазина (пчелни пити), съдържание на пестициди във въздуха и др. Това би довело до повишаването на медодобива, оптимизиране на дейността в тази сфера и удължаване на живота на пчелните семейства, както и предпазването им от неблагоприятни външни въздействия. Приблизителната цена на системата е около 25 лева. Ползата на системата е, че може в реално време да се проследява температурата и влажността в кошера спрямо същите параметри извън него. При необходимост, да се реагира навреме, с цел кошертът да не прегрее в следствие на тежки атмосферни условия и да загине. Приложим е в голяма степен, особено ако може да се предотврати най-лошото за пчелното семейство, защото в днешно време те са застрашени в огромна степен.

6. Проектирана и реализирана е система за интелигентно земеделие, включваща модули за измерване на влага, температура и рН на почвата и въздуха. Целта е автоматизиране и оптимизиране на земеделския труд. Ефективното земеделие е сложен комплекс от множество фактори. На всеки

един от тях трябва да отдаваме необходимото значение и да обръщаме нужното внимание. Основните цели, към които се стремим: намаляването на разходите за напояване и торене, за гориво на селскостопанската техника; увеличаването на добивите с от 50% до 70%; повишаване на качеството на реколтата и намаляване на бракуваната продукция; грижата за земята и опазването на природата, благодарение на по-малката употреба на изкуствени торове; Помага за борбата с болестите по растенията и намаляване на употребата на пестициди.

7. Предложена е система, състояща се от наносателити и специализирани дроне, която може да се използва за детекция на горски пожари, развитие на горски насаждения и др., екологичен мониторинг – измерване на замърсяването на въздух и почва; теч на газ по магистрални газопроводи. Предстои реализирането на системата.

Основните резултати, получени в глава 3, са публикувани в:

[S4] Kalin Dimitrov, **Stanio Kolev** “module for contactless measuring of surface temperature of distributed objects in termal zone” XXIV TELECOM 2016, 27-28 October, NSTC, Sofia, BULGARIA, pp.74 – 79

[S6] Kalin Dimitrov, Hristo Hristov, **Stanyo Kolev**, “Use of infrared radiometry in temperature measurement of wild animals ” ICEST 2018, Sozopol, Bulgaria, 28-30 June 2018, pp. 167-170

[S7] Hristo Hristov , Kalin Dimitrov , **Stanyo Kolev** “Use of infrared radiometry in temperature measurement of plant leaf” ICEST 2019 Ohrid, North Macedonia, 27-29 June 2019 ISSN: 2603-3259 (print) pp.62 – 65

ГЛАВА ЧЕТВЪРТА

ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработена е методика, при която чрез IR заснемането, позволява регистриране на промяната в мозъчната активност, фиг 2.19. Методиката може да бъде включена в създаването на модели за оценка или прогнозиране реакцията на тялото при промяната на: средата, здравословното състояние и различни психологически фактори, пораждащи стрес, както и за оценка на въздействието на различни мисловни процеси върху физиологичните реакции на човешкото тяло [S3, S5].

Разработен е модел, използващ множество сензори, за измерване на различни обекти или области. Това дава възможност да се намали грешката при измерване на един и същ участък от съответния обект, фиг 3.2. Изчислено е намалението на дисперсията на резултатния сигнал при увеличаване на броя на независимо измерващите сензори, фиг 3.3, като резултатите показват намаляване на дисперсията с увеличаване броя на сензорите.

Проектирана е блокова схема на модул, фиг. 3.1. за безконтактно измерване на повърхностна температура на разпределени обекти в топлинна зона в рамките на помещение в сграда. Измерват се едновременно няколко зони на интерес, с цел търсене на връзки, свързани с охлаждане или загряване [S4].

Проектиран е модел на оптоелектронна система за отчитане на преминаващи обекти. Описани са част от проблемите и съответните им решения при създаване прототип на система за броене на обекти на база оптично излъчване. Проведени са експериментални научни изследвания свързани, с отброяване на автомобили [S1, S2].

Разработена е методика, която позволява покриване на големи площи, използваща инфрачервена термография за откриване на обекти с температури, значително различни от тези на околната среда, фиг. 3.11. Направена е симулация при различни температури и коефициенти на излъчване за диво животно, сцена и атмосфера, фиг.3.12. Използва се за преброяване на популациите, откриване на районите на местообитанията, изследване на миграционните процеси, идентифициране на правилата за придвижване в големи стада, изучаване на естественото местообитание на определени групи и породи диви животни [S6].

Разработена е интелигентна система за измерване и следене на основните параметри на пчелните кошери: влага, температура, шум, тегло на магазина (пчелни пити), съдържание на пестициди във въздуха и др. Това би довело до повишаването на медодобива, оптимизиране на дейността в тази сфера и удължаване на живота на пчелните семейства, както и предпазването им от неблагоприятни външни въздействия. Приблизителната цена на системата е

около 25 лева. Ползата на системата е, че може в реално време да се проследява температурата и влажността в кошера спрямо същите параметри извън него. При необходимост да се реагира на време, с цел кошерът да не прегрее, вследствие на тежки атмосферни условия и да загине.

Проектирана и реализирана е система за интелигентно земеделие, включваща модули за измерване на влага, температура и рН на почвата и въздуха. Ефективното земеделие е сложен комплекс от множество фактори. На всеки един от тях трябва да отдаваме необходимото значение и да обръщаме нужното внимание. Основните цели, към които се стремим: намаляването на разходите за напояване и торене, за гориво на селскостопанската техника; увеличаването на добивите с от 50% до 70%; повишаване на качеството на реколтата и намаляване на бракуваната продукция; грижата за земята и опазването на природата, благодарение на по-малката употреба на изкуствени торове; помага за борбата с болестите по растенията и намаляване на употребата на пестициди.

Предложена е система, състояща се от наносателити и специализирани дронове, която може да се използва за детекция на горски пожари, развитие на горски насаждения и др., екологичен мониторинг – измерване на замърсяването на въздух и почва; теч на газ.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ СВЪРЗАНИ С МОНОГРАФИЯТА

- S1.** К. Димитров, **С. Колев** “Отчитане на преминаващи автомобили на базата на тяхното инфрачервено излъчване”, Смолян September 2009, pp. 114-117
- S2.** К. Димитров, **С. Колев** , Ю. Велчев, , К. Ангелов “Обработка на сигналите при инфрачервени радиометрични измервания, XVII Национална конференция с международно участие Telecom 2009 Варна, Септември 2009, ISSN: 1314-2690, pp. 264-267
- S3.** Kalin Dimitrov, **Stanio Kolev**, Igljka Andonova, Tsvetan Mitsev „Infrared investigation on the thermal field of human face during the EEG session“ ICEST 2016, Ohrid, Macedonia June 2016, pp. 479 -582.
- S4.** Kalin Dimitrov, **Stanio Kolev** “MODULE FOR CONTACTLESS MEASURING OF SURFACE TEMPERATURE OF DISTRIBUTED OBJECTS IN TERMAL ZONE” XXIV TELECOM 2016, 27-28 October, NSTC, Sofia, BULGARIA pp.74 – 79
- S5.** Kalin Dimitrov, **Stanyo Kolev**, Hristo Hristov and Viktor Mihaylov “ Evaluation of variances in infrared thermography of a human face during the mental workload” ICEST 2017, pp. 85-88
- S6.** Kalin Dimitrov, Hristo Hristov, **Stanyo Kolev**, “Use of infrared radiometry in temperature measurement of wild animals ” ICEST 2018, Sozopol, Bulgaria, 28-30 June 2018, pp. 167-170
- S7.** Hristo Hristov , Kalin Dimitrov , **Stanyo Kolev** “Use of infrared radiometry in temperature measurement of plant leaf” ICEST 2019 Ohrid, North Macedonia, 27-29 June 2019 ISSN: 2603-3259 (print) pp.62 – 65
- S8.** **Stanyo V. Kolev** , Irena V. Ivanova, Yuliyana S. Velchev “System for spectral investigation of signals” ICEST 2007 Ohrid Macedonia January 2007 pp.749-750
- S9.** Penev, R. P., **S. V. Kolev** “Correlative analysis of a ensemble from realisation of a chaotic signal“ International Scientific Conference "Communication, Electronic and computer systems"2000, June 2000, pp. 34-39
- S10.** **Станьо Колев**, Ивайло Начев, Ардак Карипжанова, Ербол Курманбаев, Тлек Ахметгалым, „Приложение на малки спътници за изследване на горски насаждени” Международная научно-практическая конференция, XI конференция, Республике Казахстан, ISBN 978-601-7308-08-7 , Том 2, pp.168 -171

Използвана литература

- [1] J. Miller, Principles of Infrared Technology: A Practical Guide to the State of the Art, Springer Science & Business Media, 2012.
- [2] Е. Фердинандов, Основи на оптоелектрониката, София, Техника, 1993.
- [3] G. Fichtel, G. Hebuterne, Mathematics for Engineers, John Wiley & Sons, 2013.
- [4] Z. Zhang, B. Tsai, G. Machin, Radiometric Temperature Measurements: II. Applications, Academic Press, 2009.
- [5] W. Wolfe, Introduction to Radiometry, SPIE Press, 1998.
- [6] F. Bulnes “Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non-Destructive Testing” Rubèn Usamentiaga, Pablo Venegas and Francisco G. Bulnes, 2014
- [7] M. Diakides, J. Bronzino, D. Peterson, Medical Infrared Imaging: Principles and Practices, CRC Press, 2012.
- [8] Romm, I. and Cukurel, B. (2018) ‘Quantitative image fusion in infrared radiometry’, IOP, Measurement Science and Technology, Vol. 29 No. 5 055403
- [9] E. Bojorges-valdez, J. C. Echeverría, O. Yanez- Suarez, “Evaluation of the continuous detection of mental calculation episodes as a BCI control input”, Elsevier, computers in biology and medicine, vol. 64, pp. 155–162, 2015
- [10] S. Caviola, G. Gerotto, I. C. Mammarella, “Computer-based training for improving mental calculation in third and fifth- graders”, Elsevier, Acta Psychologica, vol. 171, pp. 118-127, 2016
- [11] M. W. Scerbo, R. C. Britt, D. Stefanidis, “Differences in mental workload between traditional and single-incision laparoscopic procedures measured with a secondary task”, Elsevier, The american journal of surgery, vol. 213, pp. 244-248, 2017
- [12] T. Heine, G. Lenis, P. Reichensperger, T. Beran, O. Doessel, B. Deml, “Electrocardiographic features for the measurement of drivers' mental workload”, Elsevier, Applied ergonomics, vol. 61, pp. 31-43, 2017
- [13] K. Mandrick, V. Peysakhovich, F. Rémy, E. Lepron, M. Causse, “Neural and psychophysiological correlates of human performance under stress and high mental workload”, Elsevier, Biological psychology, vol. 121, pp. 62-73, 2016
- [14] Z. Visnovcova, M. Mestanik, M. Gala, A. Mestanikova, I. Tonhajzerova, “The complexity of electrodermal activity is altered in mental cognitive stressors”, Elsevier, Computers in biology and medicine, vol. 79, pp. 123-129, 2016
- [15] F. Chen, Z. Hu, X. Zhao, R. Wang, Z. Yang, X. Wang, X. Tang, “Neural correlates of serial abacus mental calculation in children: a functional MRI study”, Elsevier, Neuroscience letters, vol. 403, pp. 46-51, 2006

- [16] X. Li, Y. Zhanga, L. Feng, Q. Meng, “Early event-related potentials changes during simple mental calculation in chinese older adults with mild cognitive impairment: a case–control study”, Elsevier, *Neuroscience letters*, vol. 475, pp. 29-32, 2010
- [17] K. Kasahara, S. Tanaka, T. Hanakawa, A. Senoo, M. Honda, “Lateralization of activity in the parietal cortex predicts the effectiveness of bilateral transcranial direct current stimulation on performance of a mental calculation task”, Elsevier, *neuroscience letters*, vol. 545, pp. 86-90, 2013
- [18] K. Ueda, E. C. Brown, K. Kojima, C. Juhasz, E. Asano, “Mapping mental calculation systems with electrocorticography”, Elsevier, *Clinical neurophysiology*, vol. 126, pp. 39-46, 2015
- [19] K. A. Herborn, J. L. Graves, P. Jerem, N. P. Evans, R. Nager, D. J. Mccafferty, D. E.F. Mckeegan, “Skin temperature reveals the intensity of acute stress”, Elsevier, *Physiology & behavior*, vol. 152, pp. 225-230, 2015
- [20] M. S. B. Guaranha, G. M. De Araujo Filho, K. Lin, L. M. F. F. Guilhoto, L. O. S. F. Caboclo, E. M. T. Yacubian, “Prognosis of juvenile myoclonic epilepsy is related to endophenotypes”, Elsevier, *Seizure*, vol. 20, pp. 42-48, 2011
- [21] F. Bousefsaf, C. Maaoui, A. Pruski, “Remote detection of mental workload changes using cardiac parameters assessed with a low-cost webcam”, Elsevier, *Computers in biology and medicine*, vol. 53, pp. 154–163, 2014
- [22] A. Marinescu, S. Sharples, A. C. Ritchie, T. S. López, M. Mcdowell, H. Morvan, “Exploring the relationship between mental workload, variation in performance and physiological parameters”, *Ifac-papers online*, vol. 49-19, pp. 591–596, 2016
- [23] E. Salazar-López, E. Domínguez, V. Juárez Ramos, J. de la Fuente, A. Meins, O. Iborra, G. Gálvez, M.A. Rodríguez- Artacho, E. Gómez-Milán, “The mental and subjective skin: Emotion, empathy, feelings and thermography”, Elsevier, *Consciousness and Cognition*, 34, pp.149–162, 2015
- [24] K. Dimitrov, Infrared investigation on the thermal field in the case of influence of low frequency magnetic signals on live tissue, *ICEST 2016*, pp.37-40, 2016
- [25] K. Dimitrov, S. Kolev, I. Andonova, T. Mitsev, Infrared investigation on the thermal field of the human face during the EEG session, *ICEST 2016*, pp.479-482, 2016
- [26] A. Szentkuti, H. S. Kavanagh, S. Grazio, “Infrared thermography and image analysis for biomedical use”, *Periodicum Biologorum*, Vol. 113, No. 4, pp.385–392, 2011.

- [27] J. Serup, G. [19]B. E. Jemec, G. L. Grove, Handbook of Non-Invasive Methods and the Skin, Second Edition, CRC Press, 2006.
- [28] B. Jones, "A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine", 17(6), IEEE Trans Med Imaging, pp.1019-27, 1998.
- [29] F. Ring, A. Jung, J. Žuber, Infrared Imaging, IOP, 2015.
- [30] S. Nudelman, Nuclear Medicine, Ultrasonics, and Thermography, Springer Science & Business Media, 2013.
- [31] M. Diakides, J.D. Bronzino, D. R. Peterson, Medical Infrared Imaging: Principles and Practices, CRC Press, 2012. Media, 2013.
- [32] C. D. Katsis, N. Katertsidis, G. Ganiatsas, and D. I. Fotiadis, "Toward Emotion Recognition in Car-Racing Drivers: A Biosignal Processing Approach", IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part A Systems and Humans, 38(3), pp.502-512, 2008.
- [33] I. Fernández-Cuevas, J. C. Bouzas Marins, J. A. Lastras, P. M. G. Carmona, S. P. Cano, M. Á. García-Concepción, M. Sillero-Quintana, "Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review", Elsevier, Infrared Physics & Technology, Elsevier, 71, pp.28–55, 2015.
- [34] A. Ghahramania, G. Castroa, B. Becerik-Gerberb, X. Yu, "Infrared thermography of human face for monitoring thermoregulation performance and estimating personal thermal comfort", Building and Environment, Elsevier, Vol. 109, pp.1–11, 2016.
- [35] T. Taylor, J. Counsell, S. Gill, "Energy efficiency is more than skin deep: Improving construction quality control in new-build housing using thermography", Energy and Buildings, Elsevier, Vol. 66, pp.222-231, 2013.
- [36] H. Zou, F. Huang, "A novel intelligent fault diagnosis method for electrical equipment using infrared thermography", Infrared Physics & Technology, Vol. 73, pp.29-35, 2015.
- [37] A. Watase, R. Birgul, S. Hiasa, M. Matsumoto, K. Mitani, F. N. Catbas, "Practical identification of favorable time windows for infrared thermography for concrete bridge evaluation", Construction and Building Materials, Vol.101, Part 1, pp.1016-1030, 2015.
- [38] K.J. Brown, R. Farrelly, S.M. O'Shaughnessy, A.J. Robinson "Energy efficiency of electrical infrared heating elements", Applied Energy, Vol. 162, pp. 581-588, 2016.
- [39] Б. Станков, , Н. Калоянов, "Моделни на топлопреносните процеси в невентилируема стена на Тромб", XVI Scientific Conference with International Participation – FPEMP, , Bulgaria, Sozopol , vol. 1, pp.187-197, 2011.
- [40] J. V. Iribarne, H.R. Cho, Atmospheric Physics, Springer Science & Business Media, 2012.
- [41] К. Димитров, Количествен сравнителен анализ на методи за радиометрично измерване на температура Електротехника и електроника, Е+Е, pp. 43-47, 2009.

- [42] C. M. Soroko, P. Cwynar, K. Howell, K. Yarnell, K. Dudek, D. Zaborski, "Assessment of Saddle Fit in Racehorses Using Infrared Thermography", *Journal of Equine Veterinary Science*, Elsevier, vol. 63, pp.30–34, 2018.
- [43] C. E. Faye, O. Dangles, S. Pincebourde, "Distance makes the difference in thermography for ecological studies", *Journal of Thermal Biology*, Elsevier, vol. 56, pp. 1–9, 2016.
- [44] J. Cilulko, P. Janiszewski, M. Bogdaszewski, E. Szczygielska, "Infrared thermal imaging in studies of wild animals", *European Journal of Wildlife Research*, Springer, vol. 59, Issue 1, pp.17–23, 2012.
- [45] G. Zibordi, C. Donlon, A. Parr, *Optical Radiometry for Ocean Climate Measurements*, Academic Press, 2014.
- [46] S. Hilsberg-Merz, *Zoo and Wild Animal Medicine (Sixth Edition)*, Ch.3 - Infrared Thermography in Zoo and Wild Animals, Elsevier, 2008.
- [47] K. Havens, E. Sharp, *Thermal Imaging Techniques to Survey and Monitor Animals in the Wild: A Methodology*, Academic Press, 2015E.
- [48] Faye, O. Dangles, S. Pincebourde, "Distance makes the difference in thermography for ecological studies", *Journal of Thermal biology*, Elsevier, vol.56, pp.1-9, 2016.
- [49] C. Thompson, C. Scheidel, K. Glander, S. Williams, C. Vinyard, "An assessment of skin temperature gradients in a tropical primate using infrared thermography and subcutaneous implants", *Journal of Thermal Biology*, Elsevier, vol.64, pp.49-57, 2017.
- [50] G.Tattersall, "Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology (Review) ", *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, Elsevier, vol. 202, pp. 78-98, 2016.
- [51] S. Hilsberg-Merz, *Zoo and Wild Animal Medicine (Sixth Edition)*, Ch.3 - Infrared Thermography in Zoo and Wild Animals, Elsevier, 2008.
- [52] Chen, C. (2015) 'Determining the Leaf Emissivity of Three Crops by Infrared Thermometry', *Sensors*, Vol.15 No.5, pp.11387-11401
- [53] Costa, J. M., Grant, O. and Chaves, M. (2013) 'Thermography to explore plant-environment interactions', *Journal of Experimental Botany*, Vol. 64 No. 13, pp. 3937–3949
- [54] Grant, O., Tronina L., Jones, H. and Chaves, M. (2007) 'Exploring thermal imaging variables for the detection of stress responses in grapevine under different irrigation regimes', *Journal of Experimental Botany*, Vol. 58 No. 4, pp. 815–825,
- [55] Guergov, S. (2018) 'A review and analysis of the historical development of machine tools into complex intelligent mechatronic systems', *Journal of Machine Engineering* Vol. 18 No. 1, pp.107-119
- [56] Ishimwe, R., Abutaleb, K. and Ahmed, F. (2014) 'Applications of Thermal Imaging in Agriculture – A Review', *Advances in Remote Sensing*, Vol. 3 No. 3, pp.128-140

- [57] Jean, R. and Barab, D. (1998) *Symmetry in Plants*, World Scientific
- [58] Kranner, I., Kastberger, G, Hartbauer, M and Pritchard, H. (2010) ‘Noninvasive diagnosis of seed viability using infrared thermography’ *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 107 No.8, pp. 3912-3917
- [59] Lindenthal, M., Steiner, U., Dehne, H. and Oerke, E. (2005) ‘Effect of downy mildew development on transpiration of cucumber leaves visualized by digital infrared thermography’, *Phytopathology*, Vol. 95 No.3, pp.233-240
- [60] Lopez, A., Molina-Aiz, F., Valera, D. and Pena, A. (2012) ‘Determining the emissivity of the leaves of nine horticultural crops by means of infrared thermography’, *Elsevier, Scientia Horticulturae*, Vol. 137, pp. 49–58
- [61] Okada, T., Ishige, R., and Ando S. (2016) ‘Analysis of Thermal Radiation Properties of Polyimide and Polymeric Materials Based on ATR-IR spectroscopy’, *Journal of Photopolymer Science and Technology*, Vol. 29, No. 2, pp.251-254
- [62] Petrov, P. and Georgieva, V. (2018) ‘Adaptive Velocity Control for a Differential Drive Mobile Robot’ *20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA)*, 3-6 June 2018, Bourgas, Bulgaria, IEEE Xplore, doi: 10.1109/SIELA.2018.8447091, pp. 1-4,
- [63] Popov, G. (2018) ‘Use of System Diversity as Tool for Identification’, *International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech)*, 11-14 June 2018, Sofia, Bulgaria, IEEE Xplore, doi: 10.1109/HiTech.2018.8566676, pp. 1-5
- [64] Romm, I. and Cukurel, B. (2018) ‘Quantitative image fusion in infrared radiometry’, *IOP, Measurement Science and Technology*, Vol. 29 No. 5, pp. 055403 (17pp)
- [65] Zibordi, G., Donlon, C. and Parr, A., (2014) *Optical Radiometry for Ocean Climate Measurements*, Academic Press
- [66] Mission Design Division Staff, \Small Spacecraft Technology State of the Art," NASA Ames Research Center, Tech. Rep.
- [67] Wikipedia. Miniaturized satellite. [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Miniaturized satellite](http://en.wikipedia.org/wiki/Miniaturized_satellite)
- [68] Endurosat. [Online]. Available: <https://www.endurosat.com/about/>
- [69] SpaceX. [Online]. Available: <http://www.spacex.com/>
- [70] NanoRacks. [Online]. Available: <http://nanoracks.com/>
- [71] H. Helvajian and S. W. Janson, *Small Satellites: Past, Present and Future*. El Segundo, California: AIAA, 2009.
- [72] MARAL, Gerard; BOUSQUET, Michel; SUN, Zhili. *Satellite communications systems: systems, techniques and technology*. John Wiley & Sons, 2020.
- [73] CLARK, Craig; LOPEZ, A. *Power system challenges for small satellite missions*.

- In: Proceedings of the 2006 Small Satellites, Systems and Services Symposium, D. Danesy, Ed. The Netherlands: ESA. 2006.
- [74] RICE, Randy. Design of a High Power Cube Satellite Power System. 2014.
- [75] NYLUND, Amund; ANTONSEN, Jøran. CanSatgeneral introduction and educational advantages. In: Proceedings of the 18th ESA Symposium on European Rocket and Balloon Programmes and Related Research, Visby. 2007.
- [76] NAKASUKA, Shinichi, et al. Evolution from education to practical use in University of Tokyo's nano-satellite activities. *Acta Astronautica*, 2010, 66.7-8: 1099-1105.
- [77] AYDEMIR, Mustafa Emre; DURSUN, Raif Can; PEHLEVAN, Mirac. Ground station design procedures for CANSAT. In: 2013 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST). IEEE, 2013. p. 909-912.
- [78] GUTIERREZ, Cassie, et al. CubeSat fabrication through additive manufacturing and micro-dispensing. In: International Symposium on Microelectronics. International Microelectronics Assembly and Packaging Society, 2011. p. 001021-001027.
- [80] Earth Observation Resources. [Online]. Available: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/e/edsn>
- [81] WU, Shufan, et al. Design and implementation of a Cube satellite mission for Antarctic glacier and sea ice observation. *Acta Astronautica*, 2017, pp. 313-320.
- [82] Wikipedia. Amateur radio satellite. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Amateur_radio_satellite#OSCAR_10
- [83] Earth Observation Resources. [Online]. Available: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/p/phonesat-2-5>
- [84] Y. Houdas, E.F.J. Ring, *Human Body Temperature: Its Measurement and Regulation*, Springer Science & Business Media, 2013.
- [85] R. Fuksis, M. Greitans, O. Nikisins, M. Pudzs, “InfraredImaging System for Analysis of Blood Vessel Structure”, *Electronics and Electrical Engineering*, No.1(97), pp.45-48, 2010.
- [86] A. E. R. Young , T. J. Germon, N. J. Barnett , A. R. Manara and R. J. Nelson, “Behaviour of near-infrared light in the adult human head: implications for clinical near infrared spectroscopy”, *British Journal of Anaesthesia*, vol. 84 (1) , pp.38–42, 2000.
- [87] P. Childs, (et. all), *Practical Temperature Measurement*. Butterworth Heinemann, Elsevier, 2001.
- [88] F. Al-shargie, T. B. Tang, N. Badruddin, M. Kiguchi, Simultaneous measurement of EEG-fNIRS in classifying and localizing brain activation to mental stress, 2015 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA), IEEE Conference Publications, pp.282-286, 2015.

- [89] H. Bin Mahpop, P. A/P Sivasubramaniam, "Addition of whole numbers with regrouping using the "soroban", Elsevier, *Procedia social and behavioral sciences*, vol. 8, pp. 50-56, 2010
- [90] K. Ammer, "The Glamorgan Protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body", *Thermology International*, 10, 18(4), pp.125-129, 2008.
- [91] <http://www.flir.com/cs/emea/en/view/?id=41372> - FLIR Systems, Inc. (last visit - 04.2017)
- [92] H.C. Taneja, *Advanced Engineering Mathematics*, I. K. International Pvt Ltd, 2007.
- [93] B. G. Vainera, V. V. Morozov, „Infrared thermography-based biophotonics: Integrated diagnostic technique for systemic reaction monitoring“, *ELSEVIER, Physics Procedia* 86 (2017) 81 – 85
- [94] E F J Ring, and K Ammer, „Infrared thermal imaging in medicine“, 28 February 2012 • 2012 Institute of Physics and Engineering in Medicine
- [95] C. Hildebrandt, C. Raschner and K. Ammer, „An Overview of Recent Application of Medical Infrared Thermography in Sports Medicine in Austria“, *Sensors* 2010, 10(5), 4700-4715
- [96] G. Tanda, „The use of infrared thermography to detect the skin temperature response to physical activity” *Journal of Physics: Conference Series* 655 (2015) 012062.
- [97] V. Hadžić, B. Širok, A. Malneršič, M. Čoh, „Can infrared thermography be used to monitor fatigue during exercise? A case study”, *ELSEVIER, Journal of Sport and Health Science* xx (2015) pp,1–4
- [98] W. M. Pereira, MSc, L. A. B. Ferreira, MSc, L. P. Rossi, MSc, I. I. Kerpers, MSc, L. A. C. Grecco St, A. R. de Paula Jr, PhD, C. S. Oliveira, PhD, „Influence of heat on fatigue and electromyographic activity of the biceps brachii muscle”, *ELSEVIER, Journal of Bodywork & Movement Therapies* (2011) 15, 478-484
- [99] R. A. Ferguson, D. Ball, and A. J. Sargeant, „Effect of muscle temperature on rate of oxygen uptake during exercise in humans at different contraction frequencies”, *The Journal of Experimental Biology* 205, 981–987 (2002)
- [100] MiHyun No, Hyo-Bum Kwak, „Effects of environmental temperature on physiological responses during submaximal and maximal exercises in soccer players”, *Integrative Medicine Research* 2016
- [101] A. Fernandes, P. R. S. Amorim, C. J. Brito, A. G. de Moura, D. G. Moreira, C. M. A. Costa, M. Sillero-Quintana, J. C. B. Marins, „Measuring skin temperature before, during and after exercise: a comparison of thermocouples and infrared thermography”, *Physiological Measurement* 2014

- [102] E F J Ring, and K Ammer, „The technique of infrared imaging in medicine.“, *Thermology International* · February 2000
- [103] I. Fernández-Cuevas, J. C. B. Marins, J. A. Lastras, P. M. G. Carmona, S. P. Cano, M. Á, García-Concepción, M. Sillero-Quintana, „Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review”, *ELSEVIER, Infrared Physics and Technology*. 2015; 71: 28-55.
- [104] P. Korman, J. Zielinski, K. Kusy, A. Straburzynska-Lupa, “Possible uses of infrared thermography in sport”, *Trends in Sport Sciences* 2016, 2(23): pp.57-62
- [105] Фердинандов Е., Б. Пачеджиева, К. Димитров, *Оптични комуникационни системи*, София, Техника, 2007.
- [106] Childs P., (et. all), *Practical Temperature Measurement*. Butterworth Heinemann, Reed Elsevier plc group, 2001..
- [107] Yoon H., G. Eppeldauer, Measurement of thermal radiation using regular glass optics and short-wave infrared detectors, *Optics Express*, Vol. 16, No. 2, 2008, pp.937-949.
- [108] Graf A., M Arndt, M. Sauer, G. Gerlach, Review of micromachined thermopiles for infrared detection - Review article, *Meas. Sci. Technol.*, Vol. 18, 2007, pp. R59–R75.
- [109] Димитров К., Б. Пачеджиева, *Математичен модел на инфрачервен радиометър. Отношение сигнал-шум, Е+Е (под печат)*, 2008.
- [110] Мицев Ц., К. Димитров, С. Станчев, *Оптична радиометрична система: точностни характеристики*, Телеком 2008, стр.137-142.
- [111] “ZigBee Wireless Networks and Transceivers The Complete Guide for RFWireless Engineers”, Shahin Farahani, 2008
- [112] “Improved Cluster-Tree Topology Adapted for Indoor environment in Zigbee Sensor Network” 11th International Conference on Future Networks and Communications (FNC-2016)
- [113] „Cluster tree topology construction method based on PSO algorithm to prolong the lifetime of ZigBee wireless sensor networks“ - <https://jwcn-urasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13638-019-1523-0>
- [114] "Zigbee wireless networking", Drew Gislason
- [115] <https://www.ti.com/tool/PACKET-SNIFFER>
- [116] <https://www.davisinstruments.com/vantage-pro2/>
- [117] Virendra Singh, Shweta Sankhwar, Dr. Dharendra Pandey, THE ROLE OF INFORMATION COMMUNICATION TECHNOLOGY (ICT) IN AGRICULTURE, *Global Journal of Multidisciplinary Studies*, March 2014, ISSN: - 2348-0459 pp. 225 - 230
- [118] <http://farmer.bg/37602-precizno-zemedelie-s-GPS-navigacionnite-sistemi-na-John-Deere>

- [119] A Saidu, AM Clarkson, SH Adamu, Application of ICT in Agriculture: Opportunities and Challenges in Developing Countries, International Journal of Computer Science and Mathematical Theory ISSN 2545-5699 Vol. 3 No.1 2017
- [120] S Singh, S Ahlawat, S Sanwal, Role of ICT in Agriculture: Policy implications, Journal of Computer Science and Technology, ISSN: 0974-6471, Vol. 10, 2017, pp. 691-697
- [121] Добри Добрев , Лидия Йорданова Радиокомуникационна техника , издателство Сиела 2006г., ISBN 42759
- [122] Calhoun O'Hara B. 802.11r strengthens wireless voice, TechWorld 2004.
- [123] Geier J. Removing Barriers to Wireless LAN Deployment, Wireless Nets, 2005.
- [124] <http://agrobio.elmedia.net/bg/2013-1/editorials/%D0%BF>

Методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение в системи за медицинска диагностика и екология

Автор: Станьо Веселинов Колев

Рецензенти:

1. проф. д-р инж. Александър Бекярски
2. доц. д-р инж. Иво Драганов

Стилов редактор: Ивайло Пеев

Дизайн на корицата: д-р Александър Радославов

Поръчка No: 96, декември 2022

ISBN: 978-619-92237-4-1 - мека подвързия

ISBN: 978-619-92237-5-8 - pdf

Българска, Първо издание, 2022 г.

Печатни коли 64

EUT+ Academic Press

Отпечатана в печатната база на Техническия университет — София

Цена: 23.50 лв.



Гл. ас. д-р инж. Станчо Колев завършва специалност “Комуникационна техника и технологии” в Технически университет – София през 1996 г. Преподава в Техническият университет от 2000 г. по дисциплините “Сигнали и Системи” и от 2016 г. по “Информационни технологии в медицината”. Провежда курс от Лекции по “Информационни технологии в медицината” на руски език в Казахстански университет, както и по дисциплината “Сигнали и Системи” на английски език на студенти от Косово и Босна и Херцеговина. През 2013 г. защитава дисертация за образователна и научна степен “доктор” по професионално направление 5.3 Комуникационна и компютърна техника. Темата на дисертационния труд е “Корелационни методи за предаване на данни”. Има над тридесет публикации в научни издания. Участва в множество проекти в областта на монографията.

В монографията се разглеждат и разработват нови съвременни методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение в системи за медицинска диагностика и екология.

Представени са общи принципи в методите и средствата за регистриране, измерване и обработка на термографска информация. Разработени са методи и средства за регистриране, измерване, обработка и оценка на термографска информация с приложение в екологични системи и медицинска диагностика. Резултатите от изследванията на автора са плод на дългогодишен интерес и практическа работа в областта на медицинска електроника, инфрачервена термография, интелигентно земеделие и екология.



MIEMBRO DE



EUROPEAN
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY



EUT + Academic Press
ISBN 978-619-92237-4-1 – мека подвързия
ISBN 978-619-92237-5-8 – pdf
Цена: 23.50 лв.