

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA
Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică
Departamentul Ingineria Software și Automatică

Admis la susținere
Șef departament:
FIODOROV Ion dr., conf.univ.

„___” _____ 2025

TEHNOLOGIA IoT ÎN MONITORIZAREA CONTINUĂ A CALITĂȚII AERULUI

Proiect de master

Student: _____ **Isac Gheorghe, TI-231M**
Coordonator: _____ **Chirev Pavel, lect. univ., dr.**
Consultant: _____ **Cojocaru Svetlana, asist.univ.**

Chișinău, 2025

REZUMAT

În contextul unei lumi tot mai poluate, monitorizarea calității aerului a devenit o preocupare globală, având un impact direct asupra sănătății umane și mediului. Lucrarea de față abordează provocarea monitorizării continue a calității aerului prin utilizarea tehnologiilor IoT (Internet of Things), având ca scop dezvoltarea unei infrastructuri eficiente pentru colectarea în timp real a datelor și analiza tendințelor de poluare. Proiectul propune dezvoltarea unui sistem IoT dedicat monitorizării continue a calității aerului, utilizând o combinație de senzori pentru detectarea particulelor fine, gazelor poluante și altor parametri atmosferici. Scopul principal al cercetării este de a crea un sistem autonom care să colecteze datele dintr-o zonă specifică, să le analizeze și să le vizualizeze într-un panou interactiv, accesibil autorităților și cetățenilor. Acest sistem include senzori de tip GP2Y1010AU0F pentru particule de praf, MQ-7 pentru gaze periculoase și DHT11 pentru umiditate și temperatură, iar datele sunt procesate printr-o unitate de control bazată pe tehnologia Arduino și NodeMCU ESP8266. De asemenea, un modul GSM este integrat pentru a trimite alerte în cazul în care limitele de poluare sunt depășite. În continuare, lucrarea trece la analiza și modelarea sistemului, unde este prezentată arhitectura detaliată a sistemului de monitorizare propus pe bază de IoT. Designul sistemului este realizat cu scopul de a echilibra funcționalitatea, costurile și scalabilitatea. În această secțiune sunt abordate selecția senzorilor, modulelor de comunicație și soluțiilor de management al energiei, astfel încât sistemul să poată funcționa autonom în diverse condiții. De asemenea, sunt incluse simulări și modele pentru a prezice performanța sistemului și a optimiza integrarea componentelor hardware. Faza următoare a cercetării se concentrează pe implementarea și testarea sistemului. Un punct important este dezvoltarea unui tablou de bord pentru vizualizarea datelor în timp real, esențial pentru furnizarea de informații accesibile și utile.

Lucrarea analizează fiecare componentă a sistemului, de la selecția senzorilor și integrarea acestora, până la dezvoltarea software-ului necesar pentru procesarea și vizualizarea datelor. Testele efectuate în condiții reale de operare au validat eficiența sistemului, iar rezultatele au fost prezentate sub forma unor studii de caz care demonstrează impactul monitorizării asupra reducerii poluării într-o zonă urbană. Prin această cercetare, teza subliniază rolul esențial al tehnologiilor IoT în protecția mediului și gestionarea resurselor naturale. Implementarea unui astfel de sistem poate contribui semnificativ la îmbunătățirea calității vieții în orașele moderne, oferind o soluție sustenabilă și eficientă pentru monitorizarea poluării atmosferice. În final, concluziile evidențiază implicațiile practice ale cercetării, arătând modul în care sistemul propus ar putea fi aplicat în zonele urbane pentru monitorizarea pe termen lung a calității aerului. Rezultatele demonstrează că sistemul bazat pe IoT poate detecta și raporta eficient evenimentele de poluare, ajutând autoritățile să ia decizii informate. Sunt oferite recomandări pentru cercetări viitoare, inclusiv integrarea algoritmilor de învățare automată pentru modelele predictive și îmbunătățirea preciziei senzorilor și fiabilității rețelelor.

ABSTRACT

In the context of an increasingly polluted world, air quality monitoring has become a global concern, having a direct impact on human health and the environment. The present work addresses the challenge of continuous air quality monitoring using IoT (Internet of Things) technologies, aiming to develop an efficient infrastructure for real-time data collection and analysis of pollution trends. The project proposes the development of an IoT system dedicated to continuous air quality monitoring, using a combination of sensors for the detection of fine particles, polluting gases and other atmospheric parameters. The main goal of the research is to create an autonomous system that collects data from a specific area, analyzes it and visualizes it in an interactive panel, accessible to authorities and citizens. This system includes GP2Y1010AU0F sensors for dust particles, MQ-7 for hazardous gases and DHT11 for humidity and temperature, and the data is processed by a control unit based on Arduino technology and NodeMCU ESP8266. Also, a GSM module is integrated to send alerts in case pollution limits are exceeded. Next, the paper moves on to the analysis and modeling of the system, where the detailed architecture of the proposed IoT-based monitoring system is presented. The system design is carried out with the aim of balancing functionality, costs and scalability. In this section, the selection of sensors, communication modules and energy management solutions are addressed, so that the system can operate autonomously under various conditions. Simulations and models are also included to predict the system performance and optimize the integration of hardware components. The next phase of the research focuses on the implementation and testing of the system. An important point is the development of a dashboard for real-time data visualization, essential for providing accessible and useful information.

The paper analyzes each component of the system, from the selection of sensors and their integration, to the development of the software necessary for data processing and visualization. Tests conducted under real operating conditions validated the system's efficiency, and the results were presented in the form of case studies demonstrating the impact of monitoring on pollution reduction in an urban area. Through this research, the thesis highlights the essential role of IoT technologies in environmental protection and natural resource management. The implementation of such a system can significantly contribute to improving the quality of life in modern cities, providing a sustainable and efficient solution for air pollution monitoring. Finally, the conclusions highlight the practical implications of the research, showing how the proposed system could be applied in urban areas for long-term air quality monitoring. The results demonstrate that the IoT-based system can effectively detect and report pollution events, helping authorities make informed decisions. Recommendations for future research are provided, including the integration of machine learning algorithms for predictive models and improving sensor accuracy and network reliability.

CUPRINS

INTRODUCERE	8
1 CERCETAREA DOMENIULUI DE STUDIU	10
1.1 OMS privind calitatea globală a aerului.....	11
1.2 Argumentarea temei de cercetare	13
1.3 Scopul, obiectivele și cerințele sistemului	15
1.4 Analiza situației curente privind monitorizarea calității aerului.....	16
1.5 Cercetarea practicii țărilor din Uniunea Europeană în monitorizarea calității aerului	17
1.6 Scopul, obiectivele și cerințele sistemului	20
1.7 Selectarea senzorilor IoT pentru parametri calității aerului	22
2 ANALIZA ȘI PROIECTAREA SISTEMULUI	24
2.1 Sisteme similare și analiza cerințelor	25
2.1.1 Compararea caracteristicilor și eficiența diferitor tipuri de plăci pentru sisteme IoT	28
2.1.2 Caietul de sarcini la elaborarea sistemului de monitorizare a calității aerului	29
2.2 Componente structurale a sistemului.....	30
2.2.1 Relațiile de dependență între componentele sistemului	33
2.2.2 Modelarea echipamentelor mediului de implementare	35
3 MODELAREA SISTEMULUI DE MONITORIZARE	37
3.1 Schema conceptuală a sistemului de monitorizare continuă a calității aerului.....	38
3.2 Arhitectura sistemului de monitorizare	40
3.2.1 Fluxurile de mesaje și legăturile dintre componentele sistemului.....	41
3.2.2 Modelarea funcțională a sistemului și fluxul de date	43
4 REALIZAREA SISTEMULUI	45
4.1 Descrierea la nivel de cod pe module	46
4.2 Afișarea datelor și interfața de utilizare	48
4.3 Testarea sistemului	53
5 EVALUAREA REZULTATELOR ȘI IMPACTUL SISTEMULUI	55
5.1 Reprezentarea și impactul datelor colectate.....	56
5.1.1 Calculul și analiza indicatorului AQI.....	56
5.1.2 Beneficii pentru comunitate și conștientizarea populației	59
5.2 Strategii de reducere a poluării și recomandări pentru politici publice.....	60
5.2.1 Recomandări pentru îmbunătățirea calității aerului și direcțiile de dezvoltare	61
5.2.2 Direcțiile de dezvoltare și publicarea rezultatelor cercetării.....	62
CONCLUZII	63
BIBLIOGRAFIE	64
ANEXA A	65

INTRODUCERE

În era tehnologiilor avansate, Internetul Lucrurilor (IoT) a devenit o parte esențială a evoluției societății moderne, influențând în mod semnificativ modul în care gestionăm resursele și interacționăm cu mediul înconjurător. Tehnologiile IoT permit colectarea și analiza datelor în timp real, oferind soluții inovatoare și accesibile pentru diverse domenii, de la infrastructuri urbane inteligente și case automatizate, până la monitorizarea continuă a mediului înconjurător. Un domeniu deosebit de important în care IoT joacă un rol crucial este monitorizarea calității aerului. Poluarea atmosferică reprezintă o problemă globală majoră, având efecte devastatoare asupra sănătății umane și asupra mediului înconjurător. Organizația Mondială a Sănătății estimează că aproximativ 7 milioane de decese premature sunt cauzate anual de poluarea aerului, iar cele mai afectate sunt zonele urbane și industriale. Prin utilizarea de senzori de înaltă precizie, amplasați strategic în diverse locații geografice, IoT face posibilă monitorizarea continuă a nivelurilor de poluare atmosferică și oferă acces public la informații actualizate, fie prin platforme online, fie prin aplicații mobile. Aceste date detaliate și precise permit luarea de măsuri informate, atât la nivelul politicilor publice, cât și la nivel individual, sprijinind adoptarea unor comportamente responsabile din punct de vedere ecologic și contribuind la reducerea riscurilor pentru sănătate. Schimbările climatice și urbanizarea rapidă agravează aceste probleme, accentuând necesitatea unei monitorizări continue și precise a calității aerului. Creșterea nivelurilor de poluare este alimentată în special de activitățile industriale, transportul rutier și alte surse antropice. În acest context, tehnologiile IoT joacă un rol esențial, oferind soluții scalabile, accesibile și eficiente pentru monitorizarea mediului înconjurător. Acest fapt subliniază necesitatea unor soluții inovative și eficiente pentru monitorizarea calității aerului și reducerea efectelor poluării. Lucrarea de față își propune să exploreze potențialul tehnologiilor IoT în monitorizarea continuă a calității aerului. Unul dintre obiectivele principale ale acestei cercetări este dezvoltarea unui sistem eficient, capabil să colecteze și să analizeze date de la senzori amplasați în locații geografice specifice, pentru a evalua nivelurile de poluare atmosferică. Sistemul propus utilizează o gamă variată de senzori, inclusiv pentru detectarea particulelor fine, a gazelor poluante și pentru măsurarea temperaturii și umidității. Datele colectate sunt procesate și vizualizate într-o platformă accesibilă în timp real, care permite autorităților și cetățenilor să ia măsuri informate și rapide în cazul depășirii limitelor de poluare. Tehnologiile IoT permit o monitorizare constantă, oferind date precise și detaliate, care pot fi folosite pentru a lua măsuri corective în timp util.

Poluarea atmosferică este alimentată în principal de activitățile industriale, transportul rutier și alte surse antropice. În acest context, utilizarea IoT reprezintă o soluție inovativă și scalabilă, care poate fi implementată cu succes la scară largă, pentru a oferi o acoperire geografică mai largă și o frecvență mai mare a măsurătorilor. Senzorii IoT, mai accesibili și mai precisi decât tehnologiile tradiționale de monitorizare a calității aerului, permit detectarea unor poluanți precum PM2.5, dioxidul de azot (NO₂), monoxidul de carbon (CO) și ozonul (O₃), oferind o imagine detaliată a stării aerului în timp real.

Această monitorizare continuă nu doar că ajută la protejarea sănătății publice, dar facilitează și intervențiile rapide, reducând riscurile legate de poluarea atmosferică. În ultimii ani, tehnologiile IoT au cunoscut progrese semnificative, iar aplicațiile pentru monitorizarea calității aerului au fost implementate cu succes în numeroase orașe din întreaga lume. De exemplu, platformele precum AQMesh și Airly utilizează senzori IoT pentru a colecta date de înaltă rezoluție despre poluarea aerului și pentru a le face disponibile publicului prin aplicații mobile și site-uri web. Aceste inițiative permit cetățenilor să fie informați în timp real despre starea aerului din zonele lor și să adopte comportamente responsabile din punct de vedere ecologic. În unele orașe europene, cum ar fi Londra, Paris sau Milano, rețelele de senzori IoT au fost extinse, contribuind la îmbunătățirea calității aerului și la implementarea unor măsuri eficiente pentru reducerea poluării [1].

În Republica Moldova, monitorizarea calității aerului a devenit o prioritate în ultimii ani, mai ales în condițiile creșterii nivelurilor de poluare cauzate de activitățile industriale și de trafic. În acest sens, adoptarea tehnologiilor IoT reprezintă o oportunitate semnificativă pentru îmbunătățirea monitorizării continue a poluării și pentru extinderea acoperirii geografice a măsurătorilor. Raportul național privind calitatea aerului din 2023 a indicat că Chișinău și alte orașe mari se confruntă cu o deteriorare semnificativă a calității aerului, în mare parte din cauza creșterii activităților economice și a infrastructurii de transport învechite. Cu toate acestea, acoperirea geografică și frecvența măsurătorilor sunt limitate de metodele convenționale de monitorizare a aerului din Moldova. Acest lucru face dificilă colectarea de date sau obținerea unei imagini de ansamblu a calității aerului la nivel național. În acest sens, implementarea tehnologiilor Internetului lucrurilor oferă o oportunitate excepțională de a îmbunătăți monitorizarea continuă și de a garanta o acoperire geografică mai largă, folosind senzori care colectează informații în timp real și le transmit în rețele extinse. Proiectele pilot care vizează instalarea unui sistem de monitorizare bazat pe Internetul lucrurilor în Republica Moldova începând cu 2024 sunt în curs de dezvoltare. Scopul acestor proiecte este de a construi o rețea de senzori în întreaga țară care să poată colecta date în timp real. Aceste proiecte vor contribui la îmbunătățirea infrastructurii de monitorizare a calității aerului, sprijinind atât autoritățile, cât și cetățenii în eforturile de reducere a poluării.

Deoarece oferă soluții eficiente, disponibile și scalabile, tehnologiile IoT influențează semnificativ modul în care abordăm problema poluării aerului. Aceste tehnologii permit monitorizarea continuă a mediului înconjurător și o reacție rapidă în cazul depășirii limitelor de poluare prin utilizarea senzorilor de înaltă precizie și a platformelor de vizualizare a datelor. În plus, se pot lua măsuri proactive pentru a proteja sănătatea publică și pentru a proteja mediul prin utilizarea acestor produse tehnologice. În cele din urmă, Internetul lucrurilor este o modalitate inovatoare și esențială de a monitoriza calitatea aerului și de a combate poluarea la scară largă.

BIBLIOGRAFIE

1. Agenția Europeană de Mediu: Air Quality in Europe, ©2024 [citată 30.09.2024]. Disponibil:
<https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-in-europe>
2. Agenția Mediului din Republica Moldova: Raport privind monitorizarea calității aerului în Republica Moldova, ©2024 [citată 30.09.2024]. Disponibil:
<https://www.mediu.gov.md/monitorizarea-calitati-aerului>
3. European Commission: The Role of IoT in Air Quality Monitoring in European Cities, ©2024 [citată 30.09.2024]. Disponibil:
<https://ec.europa.eu/environment/iot-air-quality-monitoring>
4. World Health Organization (OMS): Air Quality Guidelines 2024 - Global Update, ©2024 [citată 30.09.2024]. Disponibil:
[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
5. European Environment Agency: Data and Tools for Monitoring Air Pollution, ©2024 [citată 30.09.2024]. Disponibil:
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/monitoring-air-quality>
6. T. ȚURCANU, „METODE DE EVALUARE ÎN DEZVOLTAREA APLICAȚIILOR SOFTWARE”, Meridian Ingineresc, ©2015 [citată 01.11.2024]. Disponibil:
https://utm.md/meridian/2015/MI_1_2015/22_Turcanu_T_METODE_DE_EVALUARE.pdf
7. A. BRAGARENCO și G. MARUSIC, „INTERNET OF THINGS SYSTEM FOR ENVIRONMENTAL MAP ACQUISITION”, dec. 2019, ©2024 [citată 03.11.2024] Disponibil:
<https://zenodo.org/records/3591594>
8. P. CHIREV, V. BEȘLIU, D. CIORBĂ și N. SAVA, „PROIECTAREA SISTEMELOR INFORMAȚIONALE”, 2019, ©2024 [citată 05.11.2024] Disponibil:
<http://repository.utm.md/handle/5014/15231>
9. Arduino Uno: Arduino Uno details, ©2024 [citată 08.11.2024]. Disponibil:
<https://www.arduino.cc>
10. MQ7 Datasheet: MQ7 Datasheet sensor, ©2024 [citată 01.11.2024]. Disponibil:
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>
11. GP2Y1010AU0F Datasheet: Datasheet dust sensor, ©2024 [citată 11.11.2024]. Disponibil:
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/GP2Y1010AU0F.pdf>
12. ThingSpeak: ThingSpeak platform, ©2024 [citată 20.11.2024]. Disponibil:
<https://www.thingspeak.com/>
13. Cho, R: What you should know about air quality alerts, ©2024 [citată 25.12.2024]. Disponibil:
<https://www.phys.org/news/2018-06-airquality.html>
14. G. Isac, „ÎMBUNĂȚĂȚIREA CONTROLULUI CALITĂȚII AERULUI PRIN FOLOSIREA SENZORILOR IoT”, 2024, ©2024 [citată 29.11.2024]. Disponibil:
<https://repository.utm.md/handle/5014/27982>