

UNIVERSITATEA PETROL- GAZE DIN PLOIEȘTI
DEPARTAMENTUL AUTOMATICĂ, CALCULATOARE ȘI ELECTRONICĂ
STUDII UNIVERSITARE DE DOCTORAT

TEZĂ DE DOCTORAT

Rezumat

SISTEM AUTOMAT BAZAT PE AGENȚI INTELIGENȚI PENTRU MONITORIZAREA ȘI ANALIZA CALITĂȚII AERULUI

Conducător științific:

Prof. dr. ing. Mihaela Oprea

Doctorand:

Elia Georgiana Petre (Dragomir)

Ploiești

2014

Cuprinsul tezei de doctorat

LISTA FIGURILOR.....	5
LISTA TABELELOR.....	8
LISTA ACRONIMELOR.....	10
INTRODUCERE.....	12
CAPITOLUL 1 FUNDAMENTE ALE MONITORIZĂRII ȘI ANALIZEI CALITĂȚII AERULUI	15
1.1 Surse de poluare a aerului	15
1.2 Poluanți atmosferici	17
1.3 Monitorizarea calității aerului.....	19
1.4 Analiza calității aerului	24
1.4.1 Analiza dispersiei poluanților în atmosferă.....	26
1.4.2 Estimarea valorii medii a concentrațiilor de poluant.....	31
1.4.3 Modele matematice de dispersie a poluanților atmosferici.....	33
1.5 Structura unui sistem automat de monitorizare și analiză a calității aerului.....	37
1.6 Concluzii parțiale	41
CAPITOLUL 2 STADIUL ACTUAL ȘI TENDINȚE ÎN DOMENIUL MONITORIZĂRII ȘI ANALIZEI CALITĂȚII AERULUI.....	42
2.1 Structuri și echipamente de monitorizare a calității aerului.....	42
2.1.1 Structura unei rețele de monitorizare a calității aerului	43
2.1.2 Echipamente de monitorizare a calității aerului	44
2.2 Metode de analiză a calității aerului	46
2.2.1 Metode clasice	46
2.2.2 Metode bazate pe inteligență artificială	48
2.3 Sisteme de monitorizare și analiză a calității aerului	51
2.3.1 Sisteme bazate pe metode convenționale	51
2.3.2 Sisteme bazate pe metode avansate	56
2.4 Studiul performanțelor sistemelor de monitorizare și analiză a calității aerului.....	61
2.5 Tendințe în monitorizarea și analiza calității aerului	64
2.6 Propuneri de abordare avansată a monitorizării și analizei calității aerului.....	64
2.7 Concluzii parțiale	67

CAPITOLUL 3 MODELAREA MULTIAGENT A UNUI SISTEM AUTOMAT PENTRU MONITORIZAREA ȘI ANALIZA CALITĂȚII AERULUI..... 68

3.1	Fundamente ale agenților inteligenți și sistemelor multiagent.....	68
3.1.1	<i>Caracteristicile agenților inteligenți.....</i>	68
3.1.2	<i>Sisteme multiagent</i>	69
3.2	Reprezentarea BDI a agenților inteligenți.....	71
3.3	Modelarea multiagent a sistemelor de monitorizare și analiză a calității aerului	74
3.3.1	<i>Descrierea sistemului.....</i>	74
3.3.2	<i>Ontologia sistemului</i>	76
3.3.3	<i>Descrierea BDI a agenților</i>	76
3.3.4	<i>Descrierea taskurilor.....</i>	87
3.3.5	<i>Planificarea acțiunilor agenților din sistemul propus</i>	90
3.3.6	<i>Sinteza modelului sistemului multiagent.....</i>	99
3.4	Indicatori de analiză a calității aerului	100
3.5	Concluzii parțiale	105

CAPITOLUL 4 CERCETĂRI PRIVIND DEZVOLTAREA UNOR TEHNICI HIBRIDE DE PREDICȚIE CALITĂȚII AERULUI 106

4.1	Predicția calității aerului	106
4.1.1	<i>Formularea problemei.....</i>	106
4.1.2	<i>Tehnicile de predicție utilizate.....</i>	108
4.2	Metodologie propusă pentru dezvoltarea bazei de cunoștințe predictive a calității aerului	108
4.3	Tehnici hibride pentru predicția calității aerului.....	110
4.3.1	<i>Descrierea setului de date</i>	111
4.3.2	<i>Studiu de caz- predicția concentrației de ozon.....</i>	114
4.3.3	<i>Tehnica hibridă AG_RNA_AER.....</i>	115
4.3.4	<i>Tehnica hibridă AG_SVM_AER.....</i>	127
4.3.5	<i>Tehnica hibridă AG_AD_AER.....</i>	129
4.3.6	<i>Tehnica hibridă AG_KNN_AER</i>	134
4.3.7	<i>Analiză comparativă</i>	135
4.4	Concluzii parțiale	139

CAPITOLUL 5 CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA UNUI SISTEM AUTOMAT BAZAT PE AGENȚI INTELIGENȚI 140

5.1	Descrierea generală a sistemului.....	140
5.2	Metodologia dezvoltării sistemului multiagent.....	141
5.2.1	<i>Analiza domeniului</i>	142
5.2.2	<i>Proiectarea sistemului</i>	145
5.2.3	<i>Modelarea BDI</i>	146
5.2.4	<i>Implementarea sistemului</i>	152

5.3	Cercetări experimentale	152
5.3.1	<i>Sistemul multiagent AQDMASv1</i>	152
5.3.2	<i>Sistemul distribuit multiagent AQMASv2</i>	166
5.3.3	<i>Sistemul distribuit multiagent AQMASv3 bazat pe microcontrollere</i>	175
5.4	Concluzii parțiale	182
CAPITOLUL 6 CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE		184
LISTA DE LUCRĂRI PUBLICATE.....		188
BIBLIOGRAFIE		191
WEBOGRAFIE.....		200
ANEXA 1 GLOSAR DE TERMENI		203
ANEXA 2 STAȚII DE MONITORIZARE A CALITĂȚII AERULUI.....		206
ANEXA 3 ECHIPAMENTE DE MĂSURARE A CALITĂȚII AERULUI.....		212

Cuvinte cheie: sistem automat, monitorizare și analiza calității aerului, sistem multiagent, inteligență artificială

Rezumat

În contextul dezvoltării unui mediu durabil, una dintre preocupările actuale o reprezintă asigurarea calității aerului. Studii epidemiologice au demonstrat că poluarea aerului poate avea efecte nocive atât asupra ecosistemelor, cât și asupra sănătății omului, cauzând diferite afecțiuni pulmonare, cardiovasculare, imunitare etc. Principalii poluanți atmosferici (dioxidul de sulf, oxizii de azot, ozonul troposferic, pulberile în suspensie, benzenul, monoxidul de carbon, plumb, hidrocarburi aromatice policiclice) pot proveni din surse variate, precum sistemele de încălzire a populației care nu utilizează gaz metan, traficul rutier, procesele industriale.

Managementul de mediu eficient implică acțiuni de protecție a populației, rezultate din monitorizarea și analiza constantă a parametrilor atmosferici. Un sistem de monitorizare permite obținerea de date utile pentru identificarea zonelor poluate și pentru luarea de decizii strategice și tactice de combatere a poluării și de prevenire a acesteia.

Monitorizarea automată a calității aerului presupune cunoașterea în orice moment a stării proceselor din mediul atmosferic (difuzia, dispersia poluanților atmosferici) prin utilizarea unor echipamente tehnice speciale (aparate de măsurare și analiză chimică a concentrațiilor unor poluanți, stații de monitorizare) în vederea efectuării automate a operațiilor de măsurare, validare, prelucrare, transmitere, stocare și analizare a concentrațiilor parametrilor atmosferici.

Sistemele multiagent sunt sisteme distribuite care au un comportament emergent ce rezultă din interacțiunile agenților sistemului. Luarea deciziilor nu este influențată de obicei de nici un element central de control așa cum se întâmplă într-un sistem ierarhic de conducere. Astfel, ele se pot mapa eficient pe un sistem de monitorizare și analiză a calității aerului.

Obiectivul principal al tezei de doctorat a constat în modelarea, proiectarea și dezvoltarea unui sistem automat bazat pe agenți inteligenți la nivel de prototip, pentru monitorizarea, analiza și predicția calității aerului.

Obiectivele specifice ale studiului doctoral au vizat:

- Prezentarea stadiului actual al domeniului monitorizării și analizei principalilor poluanți atmosferici, a metodelor instrumentale și echipamentelor folosite în determinarea concentrațiilor acestor substanțe, cât și o serie de sisteme și proiecte dezvoltate pe plan național și internațional în acest domeniu.
- Abordarea sistemică a problemei monitorizării și analizei calității aerului;
- Modelarea și proiectarea unui sistem automat pentru monitorizare, analiză și predicție a calității aerului cu ajutorul agenților inteligenți;
- Identificarea celei mai performante tehnici hibride bazată pe inteligență artificială pentru analiza și predicția calității aerului în zona aglomerării Ploiești, ținând cont de particularitățile meteorologice, geografice, industriale ale zonei;

- Implementarea unui sistem automat bazat pe agenți inteligenți pentru monitorizarea, analiza și predicția calității aerului.

Teza de doctorat este structurată în 6 capitole.

Capitolul 1 al tezei de doctorat, **Fundamente ale monitorizării și analizei calității aerului** prezintă aspectele teoretice regăsite în domeniul monitorizării și analizei calității aerului: tipurile surselor de poluare, principalii poluanți atmosferici, factorii meteorologici ce influențează episoadele de poluare, metode și modele de simulare și determinare a dispersiei în atmosferă a diferitelor tipuri de poluanți. În ultima secțiune este propusă schema unui sistemului automat de monitorizare și analiză a calității aerului.

Capitolul 2, **Stadiul actual și tendințe în domeniul monitorizării și analizei calității aerului** descrie direcțiile actuale care privesc monitorizarea și analiza calității aerului. Sunt descrise principalele metode de măsurare a parametrilor atmosferici și de analiză a dispersiei atmosferice utilizate în domeniul monitorizării calității aerului. Este prezentată și o sinteză a sistemelor dezvoltate atât la nivel național, cât și la nivel internațional, începând cu sistemele bazate pe metode convenționale, fiind apoi descrise sisteme ce utilizează rețele wireless de senzori și sisteme bazate pe inteligență artificială. Ultima secțiune prezintă două abordări avansate pentru un sistem de monitorizare și analiză a calității aerului.

Capitolul 3, **Modelarea multiagent a unui sistem automat pentru monitorizarea și analiza calității aerului**, prezintă modelarea unui sistem de monitorizare și analiză a calității aerului cu ajutorul agenților inteligenți. În prima parte a capitolului sunt descrise principalele caracteristici ale agenților inteligenți, ale sistemelor multiagent, protocoale de interacțiune în cadrul sistemului. În cea de-a doua parte, este propusă modelarea unui sistem automat bazat pe agenți inteligenți. Sunt prezentate arhitectura sistemului multiagent, tipurile și responsabilitățile agenților, planurile de execuție.

Capitolul 4, **Cercetări privind aplicarea tehnicilor hibride de predicția calității aerului**, descrie investigațiile întreprinse în vederea evidențierii acelei tehnici hibride ce are performanțele cele mai ridicate în domeniul monitorizării și analizei calității aerului adaptate particularităților specifice orașului Ploiești. Este descrisă problema predicției calității aerului și metodologia propusă pentru dezvoltarea și construirea tehnicilor hibride bazate pe inteligență artificială. Sunt implementate modele bazate pe algoritmi genetici, rețele neuronale artificiale, support vector machine, arbori de decizie și cel mai apropiat k vecin pentru predicția valorii unui poluant atmosferic cu o fereastră de timp de 1 oră.

Capitolul 5, **Contribuții la dezvoltarea unui sistem automat bazat pe agenți inteligenți**, prezintă principalele contribuții ale tezei referitoare la mijloacele de implementare a unui sistem automat de monitorizare și analiză a calității aerului bazat pe agenți inteligenți. Principalele prototipuri ale sistemului bazat pe agenți inteligenți propus în capitolul 3 sunt:

- Sistemul AQDMASv1 ce prezintă două module:
 - Primul modul realizează în regim de simulare monitorizarea și analiza calității aerului la nivelul a 6 stații de monitorizare;
 - Al doilea modul construiește și testează modelele bazate pe tehnici de Data Mining, descrise în capitolul 4 pentru predicția calității aerului.
- Sistemul AQMASv2 realizează monitorizarea și analiza calității aerului în regim distribuit într-o rețea de calculatoare.

- Sistemul AQMASv3 realizează monitorizarea calității aerului utilizând senzori de monoxid de carbon și de temperatură și microcontrollere pentru achiziția în timp real a informațiilor legate de valorile parametrilor măsurați.

Capitolul 6, **Concluzii, contribuții și direcții viitoare de cercetare** evidențiază contribuțiile tezei de doctorat și posibile direcții viitoare de cercetare.

Abstract of Doctoral Thesis

AUTOMATED SYSTEM BASED ON INTELLIGENT AGENTS FOR AIR QUALITY MONITORING AND ANALYSIS

Doctoral advisor:

Prof. dr. ing. Mihaela Oprea

Doctoral student:

Elia Georgiana Petre (Dragomir)

Table of contents

LISTS OF FIGURES	5
LISTS OF TABLES	8
LISTS OF ACRONYMS.....	10
INTRODUCTION.....	12
CHAPTER 1 FUNDAMENTS OF AIR QUALITY MONITORING AND ANALYSIS.....	15
1.1 Air pollution sources.....	15
1.2 Air pollutants	17
1.3 Air quality monitoring	19
1.4 Air quality analysis	24
1.4.1 Air pollutants dispersion analysis.....	26

1.4.2	<i>Average concentration pollutant value estimation</i>	31
1.4.3	<i>Mathematical models for air pollutants dispersion</i>	33
1.5	Automated air quality monitoring and analysis system architecture	37
1.6	Chapter conclusions	41
CAPITOLUL 2 STATE OF THE ART AND TRENDS IN AIR QUALITY MONITORING AND ANALYSIS		42
2.1	Structures and equipments for air quality monitoring.....	42
2.1.1	<i>Air quality monitoring network structure</i>	43
2.1.2	<i>Air quality monitoring equipments</i>	44
2.2	Air quality analysis methods.....	46
2.2.1	<i>Classical methods</i>	46
2.2.2	<i>Artificial intelligence based methods</i>	48
2.3	Air quality monitoring and analysis systems	51
2.3.1	<i>Conventional method based systems</i>	51
2.3.2	<i>Advanced methods based systems</i>	56
2.4	The performance study of the air quality monitoring and analysis systems	61
2.5	Air quality monitoring and analysis trends	64
2.6	Advanced approaches for air quality monitoring and analysis	64
2.7	Chapter conclusions	67
CAPITOLUL 3 MULTIAGENT MODELING OF AN AIR QUALITY MONITORING AND ANALYSIS SYSTEM		68
3.1	Fundamentals of intelligent agents and multiagents systems	68
3.1.1	<i>Caracteristicile agenților inteligenți intelligent agents characteristics</i>	68
3.1.2	<i>Multiagent systems</i>	69
3.2	BDI model of intelligent agents	71
3.3	Multiagent modeling of air quality monitoring and analysis systems	74
3.3.1	<i>System's description</i>	74
3.3.2	<i>System's ontology</i>	76
3.3.3	<i>Agents' BDI description</i>	76
3.3.4	<i>Tasks' description</i>	87
3.3.5	<i>Agents' actions planning in the proposed system</i>	90
3.3.6	<i>Synthesis model of the multiagent system</i>	99
3.4	Air quality analysis indicators	100
3.5	Chapter conclusions	105
CAPITOLUL 4 DEVELOPMENT RESEARCH OF AIR QUALITY PREDICTION HYBRID TECHNIQUES		106
4.1	Air quality prediction.....	106

4.1.1	<i>Problem formulation</i>	106
4.1.2	<i>The prediction used techniques</i>	108
4.2	Proposed methodology for the development of a predictive knowledge base for air quality 108	
4.3	Hybride tehcniques for air quality prediction.....	110
4.3.1	<i>Data set</i>	111
4.3.2	<i>Case study – ozone concentration forecasting</i>	114
4.3.3	<i>The AG_RNA_AER hybride technique</i>	115
4.3.4	<i>The AG_SVM_AER hybride technique</i>	127
4.3.5	<i>The AG_AD_AER hybride technique</i>	129
4.3.6	<i>The AG_KNN_AER hybride technique</i>	134
4.3.7	<i>Comparative analysis</i>	135
4.4	Chapter conclusions	139
CAPITOLUL 5 CONTRIBUTIONS TO THE DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED INTELLIGENT AGENTS BASED SYSTEM		140
5.1	General description of the system.....	140
5.2	The methodology of the multiagent system development.....	141
5.2.1	<i>Domain analysis</i>	142
5.2.2	<i>The system development</i>	145
5.2.3	<i>BDI modeling</i>	146
5.2.4	<i>System implementation</i>	152
5.3	Experimental research.....	152
5.3.1	<i>AQDMASv1 multiagent system</i>	152
5.3.2	<i>AQMASv2 multiagent distributed system</i>	166
5.3.3	<i>AQMASv3 multiagent microcontroller based system</i>	175
5.4	Chapter conclusions	182
CAPITOLUL 6 CONCLUSIONS, CONTRIBUTIONS AND FUTURE WORK		184
PUBLICATION LIST		188
BIBLIOGRAPHY		191
WEBOGRAPHY		200
ANEXA 1 TERM GLOSSARY		203
ANEXA 2 AIR QUALITY MONITORING STATIONS		206
ANEXA 3 AIR QUALITY MEASUREMENT EQUIPMENTS		212

Keywords: automated system, air quality monitoring and analysis, sistem multiagent, multiagent system, artificial intelligence

Abstract

In the context of developing a sustainable environment, one of the current concerns is to ensure the air quality. Epidemiological studies have shown that air pollution can have harmful effects on both ecosystems and human health, causing various lung, cardiovascular, immune diseases, etc. The main air pollutants (sulfur dioxide, nitrogen oxides, ground-level ozone, particulate matter, benzene, carbon monoxide, lead, polycyclic aromatic hydrocarbons) may come from various sources, such as heating of the population who does not use gas, traffic and industrial processes.

Efficient environmental management involves actions to protect the population, resulting from constant monitoring and analysis of atmospheric parameters. A monitoring system allows obtaining useful data to identify the polluted areas and to take strategic and tactical decisions to stop the pollution and to prevent it.

Automatic monitoring of air quality involves knowing at any time information about the state of the atmospheric environment processes (diffusion, dispersion of pollutants) by using special technical equipment (instrumentation and devices for chemical analysis of the concentrations of pollutants, monitoring stations) to carry out automatic measurement operations, validation, processing, transmission, storage and analysis of concentrations of the atmospheric parameters.

The multiagent systems are distributed systems which have an emergent behavior arising from the interaction between the system's agents. The decision is not influenced by any central control element as it happens in a hierarchical system. Thus, they can effectively map a system of air quality monitoring and analysis.

The main objective of the thesis is the modeling, design and development of an automated system based on intelligent agent prototype level for monitoring, analysis and prediction of air quality.

The specific objectives of doctoral study were:

- The current state presentation of the domain of the monitoring and analysis of the main air pollutants, the instrumental methods and the used equipment to determine the concentrations of these substances, a number of schemes and projects developed nationally and internationally in this field.
- Researching the system theory-based of the monitoring and analysis of the air quality problem;
- Modeling and the design of an automated system for monitoring, analysis and prediction of air quality using intelligent agents;
- Identifying the most advanced hybrid techniques based on artificial intelligence for the analysis and the prediction of air quality in the area of Ploiesti, taking into account the weather, geographic and industrial particularities of the area;
- The implementation of an automated system based on intelligent agents for monitoring, analysis and the prediction of air quality.

The thesis is divided into six chapters.

Chapter 1 of the thesis, **Fundamentals of air quality monitoring and analysis** presents the theoretical aspects found in the field of air quality monitoring and analysis: types of pollution sources, main air pollutants, meteorological factors influencing pollution episodes, methods and simulation models and determination of the dispersion into the atmosphere of the various types of pollutants. In the last section there are presented two advanced approaches for an automatic air quality monitoring and analysis system.

Chapter 2 **State of the art and trends in air quality monitoring and analysis** describes the present directions for air quality monitoring and analysis. It describes the main methods for measuring atmospheric parameters and analysis of atmospheric dispersion used in monitoring air quality. It presents a summary of the systems developed both nationally and internationally, starting with the systems based on conventional methods, then the systems using wireless sensor networks and intelligent systems based on artificial intelligence are described. The last section presents a comparative analysis of these methods and systems.

Chapter 3, **Multiagent modeling of an automated system for air quality monitoring and analysis** presents the modeling and analysis of air quality using intelligent agents. The first part of the chapter describes the main characteristics of the intelligent agents, multiagent systems, and interaction protocols within the system. In the second part, an automatic modeling system based on intelligent agents is described. The architecture of a multiagent system is presented, the types and responsibilities of the agents, construction plans.

Chapter 4, **Research on the application of air quality prediction hybrid techniques** describes the investigations undertaken to emphasize that hybrid techniques has the highest performance in the field of air quality monitoring and analysis tailored to the specific features of Ploiești. The problem of prediction of the air quality and the proposed methodology for the development of the hybrid techniques based on artificial intelligence are described. Models based on genetic algorithms, artificial neural networks, support vector machine, decision trees and k nearest neighbor to predict the value of an air pollutant with a time window of one hour are presented.

Chapter 5, **Contributions to the development of an automated system based on intelligent agents**, presents the main contributions of the thesis to the means of implementation of an automated system for monitoring and analysis of air quality based on intelligent agents. The main prototypes of the system based on intelligent agents proposed in Chapter 3 are:

- AQDMASv1 system which has two modules:
 - The first module performs under simulation and analysis of air quality monitoring at 6 monitoring stations;
 - The second module builds and tests models based on Data Mining techniques described in Chapter 4 to predict air quality.
- The AQMASv2 performs air quality monitoring and analysis system in a distributed computer network.
- AQMASv3 performs air quality monitoring system using carbon monoxide and temperature sensors and microcontrollers for a real-time parameters concentration measuring.

Chapter 6, **Conclusions, contributions and future research** highlights the contributions of the thesis and the possible future research directions.