

Universitatea de Vest din Timișoara

Domeniul: Informatică

Teză de abilitare

Candidat:

Teodor-Florin Fortiș, Conf.dr.

Universitatea de Vest din Timișoara



Semnat de: Teodor-Florin FORTIȘ
EMail: florin.fortis@e-uvt.ro
Timpul semnaturii: 29-05-2023 17:43:50
Adresa IP: 86.124.142.203

Universitatea de Vest din Timișoara

Domeniul: Informatică

Selected Topics on Distributed Computing

From Grid Computing, to Cloud Computing via Internet of Things

The Habilitation Thesis Abstract

Candidat:

Teodor-Florin Fortiș, Conf.dr.

Universitatea de Vest din Timișoara



Semnat de: Teodor-Florin FORTIȘ
EMail: florin.fortis@e-uvt.ro
Timpul semnaturii: 29-05-2023 17:43:55
Adresa IP: 86.124.142.203

1 Rezumat

În vreme ce teza de doctorat a autorului (*Gramatici contextuale cu contecanare*) a fost finalizată în anul 2001, cu o serie de rezultate inspirate de gramaticile contextuale Marcus, teza de abilitare curentă acoperă rezultatele științifice ale candidatului publicate după anul 2008, incluzând principalele direcții de cercetare din această perioadă. Împreună cu evidențierea acestor direcții de cercetare, este inclus un plan de dezvoltare al carierei, în ultima parte a prezentei teze.

Merită menționat faptul că rezultatele de cercetare incluse în această teză completează în mod strălucit rezultatele obținute într-o serie de proiecte de cercetare succesive, implementate începând cu anul 2005, după cum urmează:

- Proiectul VISp, (FP6-IST, ID 027178, 2005-2008), coordonator pachet de lucru (Universitatea de Vest din Timișoara);
- Proiectul PEGAF (PN-II, contract 11064, 2007-2011), coordonator pentru Universitatea de Vest din Timișoara;
- Proiectul DEHEMS (FP7-ICT, ID 224609, 2008-2011), membru în echipa de implementare (Institutul e-Austria, Timișoara);
- Proiectul mOSAIC (FP7-ICT, ID 256910, 2010-2013), membru în echipa de implementare (Institutul e-Austria, Timișoara);
- Proiectul MODAClouds (FP7-ICT, ID 318484, 2012-2015), membru în echipa de implementare (Institutul e-Austria, Timișoara);
- Proiectul Cloudlightning (H2020-ICT, ID 643946, 2015-2018), membru în echipa de implementare (Institutul e-Austria, Timișoara).

Rezultatele prezentate acoperă o serie de aspecte ale sistemelor distribuite, incluzând dezvoltări bazate pe Grid Computing (VISp, PEGAF), Cloud Computing (mOSAIC, MODAClouds, parțial CloudLightning) sau Internet of Things (DEHEMS, parțial CloudLightning). Sub această umbrelă regăsim aspecte diferite, cum ar fi cele legate de dezvoltarea ontologilor & web semantic sau tehnologii pentru fluxuri de activități, metodologii pentru sisteme multi-agent, și altele.

Teza de abilitare curentă este bazată pe o serie de rezultate ale autorului, rezultate care au fost grupate în patru părți, fiecare inclusând mai multe capitole. Prin această organizare a lucrării, se dorește oferirea unei prezentări unitare diferitelor direcții de cercetare avute în vedere, și considerate ca fiind principalele rezultate obținute de către autor.

Partea 1: Ontologii

O primă parte a prezentei lucrări, *Ontologies in Distributed Environments*, este dedicată dezvoltărilor bazate pe ontologii în medii distribuite. Primul capitol din această parte (*Ontologies in the Context of Service-Oriented Computing*) oferă detalii legate de rezultatele obținute în cadrul dezvoltărilor din proiectele VISp și PEGAF, pe de o parte, proiecte care se concentră pe construirea de servicii orientate semantic, în vederea facilitării compunerii automate a unor fluxuri de activități care urmau să fie implementate în diferite domenii. Astfel, în cadrul proiectului VISp ținta era descrierea semantică a serviciilor din domeniul ISP, și facilitarea compunerii și inter-operării acestora pentru a putea oferi o serie de servicii adaptate cerințelor clientilor.

Ontologia VISP permite astfel construirea unei baze de cunoștințe complexă, operarea acestuia facilitând implementarea unui ciclu de viață complet al diferitelor servicii specializate din domeniul vizat prin implementarea proiectului. Cu o abordare oarecum asemănătoare, suportul semantic din cadrul proiectului PEGAF oferă o perspectivă asupra compunerii automate a serviciilor în zona Service-Oriented Computing (SOC).

Al doilea capitol din această parte (Cloud-based Ontologies) oferă o introducere către rezultatele obținute în această direcție prin proiectul mOSAIC. Ontologia mOSAIC a fost printre primele dezvoltări în această direcție, în zona Cloud Computing, fiind construită pentru a oferi o definiție uniformă și consistentă serviciilor și interfețelor acestora. Aceste rezultate au fost ulterior completate prin includerea unor idei de guvernanță și management în cloud, pentru a facilita interoperabilitatea semantică a serviciilor, eventual prin intermediul unui registru semantic.

Prima parte se încheie cu un capitol dedicat unor şabloni nou introduse în zona cloud computing (Cloud-based Patterns), prin intermediul celor două proiecte menționate anterior, pornind de la o serie de scenarii de execuție considerate relevante în contextul acestora. Pentru aplicațiile bazate pe mOSAIC au fost identificate zece şabloni diferenți, acestea fiind influențate și de caracterul specific al aplicațiilor ţinute prin proiect. Pe de altă parte, prin proiectul MODAClouds sunt identificate o serie de şabloni noi, specifice pentru aplicații multi-cloud, patru dintre acestea fiind oferite cu o descriere completă. De menționat faptul că analiza inițială realizată pentru identificarea și descrierea şablonelor în contextul mOSAIC a oferit informații relevante pentru dezvoltarea primei versiuni a ontologiei mOSAIC.

Informațiile prezentate în această parte sunt, într-o bună măsură, inspirate din rezultatele descrise în următoarele lucrări, precum și din proiectele care au generat aceste publicații:

- T.-F. Fortiș and C. Mindruta, “Ontologies in a Service Oriented Computing Environment,” [1, 15 citări]
- D. Pop, T.-F. Fortiș, and V. Negru, “Applying ontologies for workflow modelling and execution for a virtual ISP,” [3]
- F. Moscato, R. Aversa, B. Di Martino, T.-F. Fortiș, and V. Munteanu, “An analysis of mOSAIC ontology for Cloud resources annotation,” [4, 237 citări]
- T.-F. Fortiș, V. I. Munteanu, and V. Negru, “A taxonomic view of cloud computing services,” [5, 26 citări] și T.-F. Fortiș, V. I. Munteanu, and V. Negru “Towards an Ontology for Cloud Services,” [6, 38 citări]
- T.-F. Fortiș, G. E. Lopez, I. P. Cruz, G. Ferschl, and T. Máhr, “Cloud Patterns for mOSAIC-enabled Scientific Applications,” [7, 9 citări]
- C. Mîndruță and T.-F. Fortiș, “A Semantic Registry for Cloud Services,” [8, 15 citări]

Partea a 2-a: Arhitecturi

A doua parte a prezentei teze, Architectures, este dedicată unor dezvoltări în vederea definirii unor aspecte arhitecturale specifice, fie în zona Grid Computing, fie cu o orientare către Cloud Computing. Astfel, primul capitol din această parte (Workflow enablement) se concentrează pe unele aspecte specifice pentru migrarea unei soluții distribuite pentru data mining (proiectele DisDaMin, și DG-ADAJ, dezvoltate în cadrul *Laboratoire d'Informatique Fondamentale de Lille*) în zona Service-Oriented Computing, prin adăugarea unor componente specifice care să permită o astfel de adaptare. Adaptarea este realizată, în acest caz, prin introducerea unui nivel de tip Enterprise Service Bus, în strânsă legătură cu o serie de motoare de execuție (printr-un nivel suplimentar de orchestrare), pentru a oferi un suport îmbunătățit pentru integrare, interoperare și comunicare sigură. Exercițiul de completare al acestei arhitecturi a folosit o serie de

informații introduse anterior prin proiectele VISIP și PEGAF, în ceea ce privește orchestrarea și coreografia serviciilor.

Al doilea capitol al acestei părți (Cloud Management ad Cloud Governance) acoperă o multitudine de aspecte legate de guvernanța și managementul în zona Cloud Computing. Sunt analizate o serie de aspecte considerate relevante în acest context, ca pași intermediari pentru evidențierea unui ciclu de viață complet al serviciilor cloud, inclusiv intermedierea serviciilor și resurselor cloud (Cloud Brokerage), managementul în zona cloud, bazat pe un ciclu tipic de tip MAPE-K, și completat cu informații specifice pentru SLA (Service Level Agreements) și QoS (Quality of Services), dar și guvernanța cloud, considerată ca fiind o componentă esențială pentru dezvoltarea unui mediu capabil să ofere facilități superioare către întreprinderile mici și mijlocii, eventual printr-o abordare bazată pe interoperabilitatea semantică a unor baze de cunoștințe specifice, și dezvoltarea unui mediu colaborativ pentru crearea unor soluții integrate.

Ideile din acest capitol sunt completate cu informații dintr-o direcție de cercetare puțin abordată la acel moment, managementul incidentelor cloud, fiind identificat în acest context un ciclu de viață asociat acestei componente de management și o arhitectură, la nivel conceptual, pentru a sprijini dezvoltarea ulterioară a conceptelor astfel introduse.

Principalele rezultate care au fost utilizate pentru a compune această parte. împreună cu informații specifice provenite dinspre proiectele în contextul cărora au fost generate aceste rezultate, includ:

- R. Olejnik, T.-F. Fortiș, and B. Tousrel, “Webservices oriented data mining in knowledge architecture,” [9, 28 citări]
- T.-F. Fortis and V. I. Munteanu, “From Cloud Management to Cloud Governance,” [10, 9 citări]
- V. I. Munteanu, A. Edmonds, T. M. Bohnert, and T.-F. Fortis, “Cloud Incident Management, Challenges, Research Directions, and Architectural Approach,” [11, 17 citări]
- A. Copie, T. Fortis, V. I. Munteanu, and V. Negru, “From Cloud Governance to IoT Governance,” [12, 21 citări]

Partea a 3-a: Performanța bazelor de date

Diferitele proiecte de cercetare derulate de-a lungul perioadei acoperite prin teza de abilitare curentă au pus în evidență o serie de cerințe legate de managementul eficient al datelor, în diferitele scenarii de execuție avute în vedere: citiri ale senzorilor, într-un scenariu IoT incipient, în contextul proiectului DEHEMS; date necesare pentru a suporta implementări pentru guvernanță cloud sau IoT, caracterizând serviciile elementare din domeniul de guvernanță cloud sau date complexe provenind de la diferitele „obiecte” (things) gestionate, în contextul proiectelor mOSAIC și MODAClouds. Aceste aspecte sunt acoperite în partea a 3-a a prezentei lucrări, Benchmarking Databases.

Primul capitol al acestei părți (Benchmarking for the Requirements of Sensor Readings), oferă o privire de ansamblu asupra rezultatelor obținute în cadrul cercetărilor asociate proiectului DEHEMS în ceea ce privește performanțele unor baze de date în ceea ce privește gestiunea datelor asociate citirilor unor cantități variabile de senzori, în vederea scalării rezultatelor proiectului. Plasat în contextul unui Internet of Things (IoT) aflat la începutul investigațiilor, studiile realizate se concentrează asupra unor date relativ simple, organizate ca serii de timp, date provenind din măsurătorile realizate în cadrul proiectului respectiv. Având potențialul de a genera cantități uriașe de informații, într-un interval de timp de ordinul lunilor, chiar și într-un scenariu simplu de utilizare, framework-ul utilizat urmărează identificarea soluției care să răspundă cel mai bine acestor cantități de informație. Framework-ul pentru realizarea măsurătorilor de

performanță a fost conceput pentru a reflecta două stagii diferite în managementul datelor: depozitarea și agregarea acestora.

Pornind de la rezultatele asociate managementului și guvernanței cloud, al doilea capitol (Benchmarking for the Requirements of Cloud and IoT Governance) investighează calitatea unor sisteme de gestiune a bazelor de date în contextul noilor tehnologii, încercând să ofere o acoperire unitară atât abordărilor tradiționale, bazate pe SQL, cât și noilor tendințe la acel moment, non-SQL. Astfel de investigații devin necesare în contextul guvernanței cloud și IoT, având în vedere cantitatea mare de informație care poate fi asociată acestora, și problemele de scalabilitate care derivă din gestiunea unor asemenea cantități de informație. Măsurarea performanței bazelor de date devine esențială pentru a oferi predictibilitatea necesară în evoluția unei soluții de guvernanță cloud, ulterior adaptată la o soluție similară din zona IoT. De data acesta a fost avută în vedere o soluție în care un sistem de actori Akka a modelat sistemele multiagent necesare, în timp ce nivelul de transport a fost înlocuit cu o soluție bazată pe Apache Camel.

Printre rezultatele care au fost considerate pentru această parte, pot fi menționate următoarele:

- C. Pungila, T.-F. Fortis, and O. Aritoni, “Benchmarking Database Systems for the Requirements of Sensor Readings,” [13, 30 citări]
- V. I. M. Adrian Copie Teodor-Florin Fortiș, “Benchmarking Cloud Databases for the Requirements of the Internet of Things,” [14, 26 citări]
- A. Copie, T.-F. Fortis, and V. I. Munteanu, “Determining the Performance of the Databases in the Context of Cloud Governance,” [15]

Partea a 4-a: Sisteme multi-agent

Ultima parte a contribuțiilor științifice prezentate în această teză, Approaches for Multi-agent Systems, este dedicată unor contribuții aduse în realizarea unor sisteme agent, plasate de regulă în contextul proiectelor de cercetare menționate la începutul acestui rezumat. Pentru a sprijini dezvoltările prezentate în capitolele acestei părți au fost avute în vedere două metodologii diferite din zona AOSE (Agent-Oriented Software Engineering): Gaia și Prometheus.

Primul capitol din această parte, Multi-agent Approaches in the Context of Cloud Governance and Cloud Management, se concentrează pe descrierea unui sistem multi-agent utilizabil într-o arhitectură dedicată guvernanței Cloud. Cu toate că metodologia Gaia nu este conformă standardului FIPA, aceasta oferă anumite facilități prin cele două etape de dezvoltare. Prin urmare, aplicarea acestei metodologii s-a bazat pe un ciclu de viață al serviciilor, în contextul guvernanței Cloud, urmărind descrierea principalelor componente asociate acestui tip de aplicație: identificarea rolurilor, al modelului asociat agenților, modelul serviciilor, precum și protocolele asociate diferitelor roluri.

Pornind de la o serie de cerințe diferite, date de orientarea către IoT, al doilea capitol al acestei părți, The Internet-of-Things and the Prometheus Methodology, descrie printr-o perspectivă orientată bazată pe BPMN principalele cazuri de utilizare avute în vedere. O astfel de descriere permite aplicarea diferitelor faze ale metodologiei folosite pentru acest capitol: Faza 1, specificațiile sistemului, prin care sunt puși în evidență principalii actori implicați, identificarea scenariilor și a rolurilor identificate în sistem; Faza a 2-a, se concentrează pe asocierea rolurilor identificate cu agenții specializați în realizarea acțiunilor necesare, precum și pe descrierea interacțiunilor, în timp ce Faza a 3-a oferă posibilitatea de a descrie logica aflată în spatele diferenților agenți.

Ultimul capitol, A Multi-Agent System for the Analysis of Flight Qualities, este dedicat

modelării unei probleme complet diferite: un sistem pentru determinarea unor metriki asociate analizei zborului unor aparate de tip UAV (Unmanned Aerial Vehicles). Contextul domeniului și diferențele modele matematice prezentate au condus la necesitatea realizării unor investigații numerice pentru a putea înțelege evoluția diferențelor modele și pentru a putea valida rezultatele asociate diferențelor framework-uri teoretice dezvoltate cu această ocazie. Rezultatele surprinse în acest capitol au avut la bază modelele ADMIRE și ALFLEX, pentru care au fost analizate diferențe relevante. și pentru acest sistem modelat, FlightQM, a fost folosită metodologia Gaia, pentru identificarea rolurilor, organizațiilor, protoocoalelor și modelelor de interacțiune, și pentru utilizarea informațiilor rezultate din această analiză în vederea descrierii sistemului care să permită execuția automată a unora dintre rezultatele teoretice modelate.

În această parte au fost folosite o serie de rezultate, incluzând:

- B. Manate, T.-F. Fortis, and V. Negru, “Infrastructure Management Support in a Multi-agent Architecture for Internet of Things,” [16, 30 citări]
- B. Manate, V. I. Munteanu, and T.-F. Fortis, “Towards a Scalable Multi-agent Architecture for Managing IoT Data,” [17, 20 citări]
- V. I. Munteanu, T.-F. Fortis, and V. Negru, “An Event Driven Multi-agent Architecture for Enabling Cloud Governance,” [18, 8 citări]
- T. F. Fortiș, A. E. Fortiș, and Ș. Balint, “FlightQM: a multi-agent system for the analysis of flight qualities,” [19]

Ultima parte a acestei teze prezintă planul de evoluție al carierei candidatului, propunerile de dezvoltare ale acesteia, pe de o parte dintr-o perspectivă academică, iar pe de altă parte, dintr-o perspectivă educațională.

2 Abstract

While the author's PhD thesis (*Contextual grammars with concatenation*) was successfully defended in 2001, with a series of results inspired by Marcus contextual grammars, the current habilitation thesis covers the candidate's scientific results published after 2008, and includes the main research directions from this time interval. Along with highlighting the main research directions, a career development plan is included in the last part of this thesis.

It is worth mentioning that the research results included in this thesis complement in a remarkable way the results obtained in a series of successive research projects, implemented since 2005, as follows:

- The VISp project, (FP6-IST, ID 027178, 2005-2008), work package coordinator (for West University of Timișoara);
- The PEGAF project (PN-II, contract No. 11064, 2007-2011), manager for the West University of Timișoara;
- The DEHEMS project (FP7-ICT, ID 224609, 2008-2011), Member of the implementation team (Institute e-Austria, Timișoara);
- The mOSAIC project (FP7-ICT, ID 256910, 2010-2013), Member of the implementation team (Institute e-Austria, Timișoara);
- The MODAClouds project (FP7-ICT, ID 318484, 2012-2015), Member of the implementation team (Institute e-Austria, Timișoara);
- The Cloudlightning project (H2020-ICT, ID 643946, 2015-2018), Member of the implementation team (Institute e-Austria, Timișoara).

The presented results cover various aspects of distributed systems, including Grid-based developments (VISp, PEGAF), Cloud Computing (mOSAIC, MODAClouds, partly CloudLightning) or Internet of Things (DEHEMS, partly CloudLightning). Under this umbrella we can find different research approaches, such as those related to the development of ontologies & semantic web or workflow technologies, methodologies for multi-agent systems, and many others.

The results presented in the current habilitation thesis have been grouped into four parts, each including several chapters, in an attempt to provide a homogeneous presentation of the different research directions considered, and thought to be the main results obtained by the author in the reference period.

First Part: Ontologies

A first part of this thesis, *Ontologies in Distributed Environments*, is dedicated to ontology-based developments in distributed environments. The first chapter in this part (Ontologies in the Context of Service-Oriented Computing) provides details related to the results obtained in the context of the VISp and PEGAF projects, on the one hand, projects that focused on building a semantically oriented approach for services, for to facilitate the automatic composition of workflows that were to be implemented in various domains. For example, within the VISp project, the target was the semantic description of services in the ISP field, and the facilitation of their composition and interoperation in order to be able to offer a series of personalized services, adapted to customer requirements. The VISp ontology thus allowed the construction

of a complex knowledge base, its operation facilitating the implementation of a complete life cycle of various specialized services in the targeted field through the implementation of the project. With a somewhat similar approach, the semantic support in the PEGAF project provides an insight into the automatic composition of services in the area of Service-Oriented Computing (SOC).

The second chapter in this part (Cloud Management ad Cloud Governance) provides an introduction to the results obtained in this direction by the mOSAIC project. The mOSAIC ontology was among the first developments in this direction, in the Cloud Computing area, being built to provide a uniform and consistent definition of services and their interfaces. These results were later supplemented by the inclusion of cloud governance and management concepts to facilitate semantic interoperability of services, possibly through a semantic registry.

The first part ends with a chapter dedicated to several newly introduced cloud patterns (Cloud-based Patterns), through two of the previously mentioned projects, based on a series of execution scenarios considered relevant in their context. Ten different templates for mOSAIC-based applications were identified, which were also influenced by the specifics of the applications targeted by the project. On the other hand, the MODAClouds project identifies a number of new patterns that are characteristic of multi-cloud applications, four of which are provided with a full description. It should be noted that the initial analysis performed to identify and describe templates in the mOSAIC context provided a relevant background for the development of the first version of the mOSAIC ontology.

The information presented in this part are based on the data coming from the following papers:

- T.-F. Fortiș and C. Mindruta, “Ontologies in a Service Oriented Computing Environment,” [1, *cited by* 15]
- D. Pop, T.-F. Fortiș, and V. Negru, “Applying ontologies for workflow modelling and execution for a virtual ISP,” [3]
- F. Moscato, R. Aversa, B. Di Martino, T.-F. Fortiș, and V. Munteanu, “An analysis of mOSAIC ontology for Cloud resources annotation,” [4, *cited by* 237]
- T.-F. Fortiș, V. I. Munteanu, and V. Negru, “A taxonomic view of cloud computing services,” [5, *cited by* 26] și T.-F. Fortiș, V. I. Munteanu, and V. Negru “Towards an Ontology for Cloud Services,” [6, *cited by* 38]
- T.-F. Fortiș, G. E. Lopez, I. P. Cruz, G. Ferschl, and T. Máhr, “Cloud Patterns for mOSAIC-enabled Scientific Applications,” [7, *cited by* 9]
- C. Mindruță and T.-F. Fortiș, “A Semantic Registry for Cloud Services,” [8, *cited by* 15]

Second Part: Architectures

The second part of this thesis, Architectures, is dedicated to some developments in order to define specific architectural aspects, either in the area of Grid Computing, or with orientation towards Cloud Computing. Thus, the first chapter in this part ((Workflow enablement)) focuses on aspects for the migration of a distributed solution for data mining (the DisDaMin and DG-ADAJ projects, developed within the *Laboratoire d'Informatique Fondamentale de Lille*) in the area of Service-Oriented Computing, by adding specialized components that allow such adaptation. This adaptation is achieved by introducing an Enterprise Service Bus (ESB) layer, tightly coupled with a series of execution engines (through an additional layer of orchestration) to provide improved support for integration, interoperability and communication. The approach considered for this architecture used a number of insights previously introduced through the VISP and PEGAF projects, regarding service orchestration and choreography.

The second chapter of this part (Cloud Management ad Cloud Governance) covers a multitude of issues related to governance and management in the area of Cloud Computing. A series of aspects considered relevant in this context are analyzed, as intermediary steps to highlight a complete lifecycle of cloud services, including the mediation of cloud services and resources (via Cloud Brokerage), cloud management, based on a typical MAPE-K cycle, and completed with specific information for SLA (Service Level Agreements) and QoS (Quality of Services), but also cloud governance, considered to be an essential component for the development of an environment capable of offering superior facilities to small and medium-sized enterprises, possibly through an approach based on the semantic interoperability of specific knowledge bases, and the development of a collaborative environment for the creation of integrated solutions.

The ideas in this second chapter are supplemented with information from a new direction of research at the time, namely cloud incident management. In this context, a lifecycle associated with this specific management component and an architecture, at a conceptual level, were identified to support the further development of the concepts thus introduced. The most important results that were considered for this part include:

- R. Olejnik, T.-F. Fortiș, and B. Tousrel, “Webservices oriented data mining in knowledge architecture,” [9, *cited by* 28]
- T.-F. Fortis and V. I. Munteanu, “From Cloud Management to Cloud Governance,” [10, *cited by* 9]
- V. I. Munteanu, A. Edmonds, T. M. Bohnert, and T.-F. Fortis, “Cloud Incident Management, Challenges, Research Directions, and Architectural Approach,” [11, *cited by* 17]
- A. Copie, T. Fortis, V. I. Munteanu, and V. Negru, “From Cloud Governance to IoT Governance,” [12, *cited by* 21]

Third Part: Benchmarking Databases

The different research projects carried out during the period covered by the current habilitation thesis have highlighted a series of requirements related to efficient data management, in the miscellaneous execution scenarios considered: sensor readings, in an early IoT scenario, in the context of the DEHEMS project; data needed to support cloud or IoT governance deployments, which characterize elementary cloud governance services, or complex data from the various managed “things”, in the context of the mOSAIC and MODAClouds projects. These aspects are covered in the third part of this paper, Benchmarking Databases.

The first chapter of this part (Benchmarking for the Requirements of Sensor Readings), provides an overview of the results obtained within the researches associated with the DEHEMS project regarding the performance of some databases regarding the management of sensor data. readings, to scale project results. Placed in the context of the Internet of Things (IoT) at the beginning of the investigations, the studies carried out focus on relatively simple data, organized as time series, data derived from the measurements carried out within the respective project. With the potential to generate huge amounts of information, in a time frame of months, even in a simple usage scenario, the considered framework sought to identify the solution that best responds to these varied amounts of information. A performance measurement framework was designed to reflect two different stages in data management: data storage and data aggregation.

Starting from the results associated with cloud management and governance, the second chapter (Benchmarking for the Requirements of Cloud and IoT Governance) investigates the quality of database management systems in the context of new technologies, with the intention of providing a unified coverage of both the traditional approaches, based on SQL, as well as the new trends of the time, non-SQL. Such investigations become necessary in the context

of cloud and IoT governance, given the large amount of information that can be associated with them and the scalability issues that arise from managing such amounts of information. Database performance measurement becomes essential to provide the necessary predictability in the evolution of a cloud governance solution, later adapted to a similar solution in the IoT area. This time a solution was considered where an Akka actor system modeled the required multiagent systems, while the transport layer was replaced by an Apache Camel based solution.

Among the results included in this part, one can mention the following:

- C. Pungila, T.-F. Fortis, and O. Aritoni, “Benchmarking Database Systems for the Requirements of Sensor Readings,” [13, *cited by 30*]
- V. I. M. Adrian Copie Teodor-Florin Fortiș, “Benchmarking Cloud Databases for the Requirements of the Internet of Things,” [14, *cited by 26*]
- A. Copie, T.-F. Fortis, and V. I. Munteanu, “Determining the Performance of the Databases in the Context of Cloud Governance,” [15]

Fourth part: Multi-agent systems

The last part of the scientific contributions presented in this thesis, Approaches for Multi-agent Systems, is dedicated to the contributions made in the construction of some agent systems, usually placed in the context of the research projects mentioned at the beginning of this summary. To support the developments presented in the three chapters of this part, two different methodologies from the AOSE (Agent-Oriented Software Engineering) area were considered: Gaia and Prometheus.

The first chapter in this part, Multi-agent Approaches in the Context of Cloud Governance and Cloud Management, focuses on describing a multi-agent system to be used in an architecture dedicated to Cloud governance. Although the Gaia methodology does not conform to the FIPA standard, it provides certain facilities through the two stages of development. So, the application of this methodology was based on a service life cycle, in the context of Cloud governance, aiming to describe the main components associated with this type of application: the identification of roles, the model associated with agents, the service model, as well as the protocols associated with different roles.

Starting from a number of different requirements given by an IoT orientation, the second chapter of this part, The Internet-of-Things and the Prometheus Methodology, describes through a BPMN-oriented perspective the main intended use cases. Such a description allows the use of the different phases of the methodology used for this chapter: Phase 1, the system specifications, through which the main actors involved are highlighted, the identification of the scenarios and the roles identified in the system; Phase 2, which focuses on associating the identified roles with specialized agents to perform the necessary actions as well as describing the interactions; while Phase 3 provides the opportunity to describe the logic behind the various agents.

The last chapter, A Multi-Agent System for the Analysis of Flight Qualities, is dedicated to the modeling of a completely different problem: a system for determining the metrics associated with the flight analysis of UAV (Unmanned Aerial Vehicles) devices. The context of the field and the different mathematical models presented led to the need to carry out some numerical investigations to be able to understand the evolution of the different models and to be able to validate the results associated with the different theoretical frameworks developed on this occasion. The results captured in this chapter were the exploitation of the ADMIRE and ALFLEX models, for which different important relationships were analyzed. Also for this modeled system, the FlightQM system, the Gaia methodology was used to identify roles, organizations, protocols and interaction patterns, and to use the information resulted from this

analysis to describe the system and to enable the automatic execution of some of the theoretical results modeled.

This part uses several results, including:

- B. Manate, T.-F. Fortis, and V. Negru, “Infrastructure Management Support in a Multi-agent Architecture for Internet of Things,” [16, *cited by 30*]
- B. Manate, V. I. Munteanu, and T.-F. Fortis, “Towards a Scalable Multi-agent Architecture for Managing IoT Data,” [17, *cited by 20*]
- V. I. Munteanu, T.-F. Fortis, and V. Negru, “An Event Driven Multi-agent Architecture for Enabling Cloud Governance,” [18, *cited by 8*]
- T. F. Fortiș, A. E. Fortiș, and Ș. Balint, “FlightQM: a multi-agent system for the analysis of flight qualities,” [19]

The final part of this thesis presents a career development plan, sketches proposals for their development, both from an academic perspective and a teaching one.

Abstract References

- [1] T.-F. Fortiș and C. Mindruta, “Ontologies in a Service Oriented Computing Environment,” in *Workshops at the Grid and Pervasive Computing Conference, GPC 2009, Geneva, Switzerland, May 4-8, 2009*, IEEE, May 2009. DOI: [10.1109/gpc.2009.19](https://doi.org/10.1109/gpc.2009.19).
- [2] D. Pop, T.-F. Fortiș, and V. Negru, “Ontology-Based Modeling and Execution of Workflows for Virtual ISP,” in *International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS-2008), March 4th-7th, 2008, Technical University of Catalonia, Barcelona, Spain*, IEEE, 2008. DOI: [10.1109/cisis.2008.84](https://doi.org/10.1109/cisis.2008.84).
- [3] D. Pop, T.-F. Fortiș, and V. Negru, “Applying ontologies for workflow modelling and execution for a virtual ISP,” *International Journal of Web and Grid Services*, vol. 4, no. 3, p. 330, 2008. DOI: [10.1504/ijwgs.2008.021498](https://doi.org/10.1504/ijwgs.2008.021498).
- [4] F. Moscato, R. Aversa, B. Di Martino, T.-F. Fortiș, and V. Munteanu, “An analysis of mOSAIC ontology for Cloud resources annotation,” in *2011 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 2011, pp. 973–980.
- [5] T.-F. Fortiș, V. I. Munteanu, and V. Negru, “A taxonomic view of cloud computing services,” vol. 11, no. 1, p. 17, 2015. DOI: [10.1504/ijcse.2015.071360](https://doi.org/10.1504/ijcse.2015.071360).
- [6] T.-F. Fortiș, V. I. Munteanu, and V. Negru, “Towards an Ontology for Cloud Services,” IEEE, Jul. 2012. DOI: [10.1109/cisis.2012.138](https://doi.org/10.1109/cisis.2012.138).
- [7] T.-F. Fortiș, G. E. Lopez, I. P. Cruz, G. Ferschl, and T. Máhr, “Cloud Patterns for mOSAIC-enabled Scientific Applications,” in *International Conference on Parallel Processing (Euro-Par 2011)*, ser. Lecture Notes in Computer Science, vol. 7156, Bordeaux, France: Springer, 2012, pp. 83–93, ISBN: 978-3-642-29736-6. DOI: [10.1007/978-3-642-29737-3_10](https://doi.org/10.1007/978-3-642-29737-3_10).
- [8] C. Mîndruță and T.-F. Fortiș, “A Semantic Registry for Cloud Services,” IEEE, Mar. 2013. DOI: [10.1109/waina.2013.100](https://doi.org/10.1109/waina.2013.100).
- [9] R. Olejnik, T.-F. Fortiș, and B. Toursel, “Webservices oriented data mining in knowledge architecture,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 25, no. 4, pp. 436–443, Apr. 2009. DOI: [10.1016/j.future.2008.09.011](https://doi.org/10.1016/j.future.2008.09.011).
- [10] T.-F. Fortis and V. I. Munteanu, “From cloud management to cloud governance,” in *Computer Communications and Networks*, Springer London, 2014, pp. 265–287. DOI: [10.1007/978-1-4471-6452-4_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6452-4_11).
- [11] V. I. Munteanu, A. Edmonds, T. M. Bohnert, and T.-F. Fortis, “Cloud incident management, challenges, research directions, and architectural approach,” in *2014 IEEE/ACM 7th International Conference on Utility and Cloud Computing*, IEEE, Dec. 2014. DOI: [10.1109/ucc.2014.128](https://doi.org/10.1109/ucc.2014.128).
- [12] A. Copie, T. Fortis, V. I. Munteanu, and V. Negru, “From cloud governance to IoT governance,” in *2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, IEEE, Mar. 2013. DOI: [10.1109/waina.2013.169](https://doi.org/10.1109/waina.2013.169).
- [13] C. Pungila, T.-F. Fortis, and O. Aritoni, “Benchmarking database systems for the requirements of sensor readings,” *IETE Technical Review*, vol. 26, no. 5, p. 342, 2009. DOI: [10.4103/0256-4602.55279](https://doi.org/10.4103/0256-4602.55279).

- [14] V. I. M. Adrian Copie Teodor-Florin Fortiș, “Benchmarking cloud databases for the requirements of the internet of things,” in *Proceedings of the ITI 2013 35th International Conference on INFORMATION TECHNOLOGY INTERFACES*, University Computing Centre - SRCE, 2013. doi: 10.2498/iti.2013.0546.
- [15] A. Copie, T.-F. Fortis, and V. I. Munteanu, “Determining the performance of the databases in the context of cloud governance,” in *2013 Eighth International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing*, IEEE, Oct. 2013. doi: 10.1109/3pgcic.2013.40.
- [16] B. Manate, T.-F. Fortis, and V. Negru, “Infrastructure management support in a multi-agent architecture for internet of things,” in *2014 European Modelling Symposium*, IEEE, Oct. 2014. doi: 10.1109/ems.2014.36.
- [17] B. Manate, V. I. Munteanu, and T.-F. Fortis, “Towards a scalable multi-agent architecture for managing IoT data,” in *2013 Eighth International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing*, IEEE, Oct. 2013. doi: 10.1109/3pgcic.2013.46.
- [18] V. I. Munteanu, T.-F. Fortis, and V. Negru, “An event driven multi-agent architecture for enabling cloud governance,” in *2012 IEEE Fifth International Conference on Utility and Cloud Computing*, IEEE, Nov. 2012. doi: 10.1109/ucc.2012.50.
- [19] T. F. Fortiș, A. E. Fortiș, and S. Balint, “FlightQM: A multi-agent system for the analysis of flight qualities,” *International Journal of Adaptive and Innovative Systems*, vol. 2, no. 2, p. 118, 2015. doi: 10.1504/ijais.2015.072146.