



Titre de la thèse (acronyme) : REPOS

Sujet de thèse : Répondre aux appels d'offre s'appuyant sur un socle d'expérience de l'entreprise

Directeur de thèse : R. Vingerhoeds (ISAE-SUPAERO, DISC)

Co-Directrice de thèse : E. Vareilles (IMT – Mines Albi, CGI)

Thèse avec : MEDIANE INGENIERIE

Mots-clefs

Appels d'offres, ingénierie système, approche holistique, intelligence artificielle symbolique, connaissance d'experts, ontologies

Contexte et problématique

Le contexte industriel fait qu'on doit réagir de plus en plus vite pour ne pas « perdre » un marché. Comme l'a dit un des directeurs d'une très grande multinationale récemment, le mot clé est « SPEED ». Cela devient visible avec l'évolution ultra-rapide liée aux téléphones portables, tablettes, etc, mais s'applique également sur les développements comme par exemple le développement d'une carte électronique, un ECU (electronic control unit), un capteur, etc. Le temps laissé à un équipementier pour réagir à un appel d'offres est de plus en plus court et la complexité des développements demandés augmente sans cesse. Là où une multinationale peut s'appuyer sur une masse critique où il y a toujours quelqu'un qui peut gérer un appel d'offre sur un domaine spécifique, on ne peut pas dire la même chose pour les PME et les TPE. Pour eux, on peut noter qu'il devient difficile de maîtriser le risque encouru et de faire une offre maîtrisée dans le temps imparti, n'ayant pas la même masse critique et en plus un souci de capitalisation du savoir-faire, de l'expertise à gérer. En effet, le turn-over des experts dans des PME et TPE peut être important et comme il n'y a pas beaucoup de vrais experts, quand quelqu'un s'en va, l'expertise s'en va également.

Dans le cadre de cette thèse, l'accent est mis sur des PME et TPE dans un rôle de sous-traitant. Comme indiqué, des PME et des TPE n'ont pas la masse critique pour créer des départements orientés process, méthodes et outils, et que donc la capitalisation du process ne réside que dans les têtes de quelques-uns. Et puis, dans un monde où les experts se font débaucher par les concurrents, il y a un souci de capitalisation du savoir-faire, moins facilement à aborder dans un PME/TPE que dans un grand groupe (où on trouvera toujours quelqu'un pour aider).

On peut donc schématiser la problématique en deux volets :

- Connaissance des process, méthodes et outils utilisés – qui gouvernent un développement. Il peut y avoir des différences importantes entre les méthodes utilisés dans différentes entreprises, ce qui peut rendre une coopération difficile.
- Capitalisation du savoir-faire – la « mémoire » de l'entreprise. Dans un passé pas si lointain ces soucis ne se posaient que vraiment au départ à la retraite d'un collaborateur, permettant ainsi une possible anticipation de cette problématique. Aujourd'hui, les collaborateurs changent beaucoup

plus souvent d'entreprise, emmenant avec eux leur savoir-faire, et laissant l'entreprise le soin de former des nouvelles employées, parfois sans tuilage entre les acteurs.

Cette thèse vise à contribuer à une amélioration de cette situation, avec une application spécifiquement dans le développement électronique, cœur de métier de MEDIANE INGENIERIE, PME basé à Labège. Les contributions visées concernent une approche, avec un prototype à la fin de la thèse, d'un support pour la phase de RFQ (request for quotation), pour que les PME/TPE puissent rapidement cerner l'essentiel, identifier l'impact sur les processus, et identifier les risques.

Verrous scientifiques et techniques

Les verrous scientifiques suivants peuvent être identifiés :

- La difficulté à définir les facteurs à prendre en compte a minima pour un RFQ au niveau processus de développement des « deux côtés » (donneur d'ordre et équipementier), et ainsi de pouvoir « border » le risque associé,
- La difficulté à obtenir et structurer la connaissance antérieure afin de pouvoir la réutiliser pour un nouveau projet,
- La difficulté à définir les facteurs à prendre en compte a minima pour un RFQ au niveau technique et nouvelles technologies, et ainsi pouvoir l'utiliser pour des nouveaux RFQ,
- La difficulté à guider les ingénieurs pendant la phase d'un RFQ, dans un temps limité, avec une connaissance limitée du nouveau projet.

L'objectif de cette thèse est donc de travailler sur une approche capable d'aider une PME/TPE à formaliser la connaissance antérieure et à structurer les approches de développements, afin de pouvoir répondre à des RFQ dans les temps impartis avec un risque maîtrisé et connu.

Objectifs de la thèse

Les objectifs de la thèse visent une amélioration des phases de l'appel à d'offres, en s'appuyant sur des techniques de l'intelligence artificielle symbolique et de l'ingénierie systèmes (voir la section « État de l'Art»). Les questions centrales pour cette thèse sont :

- *Comment adresser la phase d'appel d'offres pour un produit ou un service, dans un temps limité, avec une connaissance minimale sur le produit, tout en maîtrisant le risque ?*
- *Comment assurer la capitalisation du savoir-faire au profit d'une meilleure gestion d'appel d'offres ?*

La solution proposée dans cette thèse s'appuiera sur l'ingénierie système comme cadre holistique, ainsi que sur des techniques issues de l'intelligence artificielle symbolique (voir état de l'art). L'ingénierie système est une approche transdisciplinaire et intégrative visant à permettre la réussite dans la réalisation, l'utilisation et la mise hors service de systèmes d'ingénierie, en utilisant des principes et des concepts de systèmes ainsi que des méthodes scientifiques, technologiques et de gestion [3]. Plus particulièrement, la thèse s'appuiera sur le MBSE (Model-Based Systems Engineering, ingénierie systèmes dirigée par des modèles [2]), dont les avantages sont multiples [1]:

- Concevoir des solutions équilibrées qui répondent aux besoins et selon des points de vue variés des différentes parties prenantes
- Détecter les problèmes de conception dès les premières phases du développement du système

- Gérer la complexité et les risques

D'autre part, la solution s'appuiera sur les ontologies, des descriptions formelles *explicite* des concepts dans un domaine donné. Cette définition de façon formelle d'un domaine, permet, avec des instances individuelles d'objets et des classes, d'avoir une base de connaissances, avec comme avantages :

- Partager une compréhension commune de la structure de l'information
- Permettre la réutilisation des connaissances du domaine
- Rendre explicites les hypothèses du domaine

Pour la base de connaissance, les instanciations individuelles, l'utilisation d'intelligence artificielle de type symbolique (PPC, CBR= r est proposée. Le lien entre les ontologies et l'IA Symbolique a été mis en œuvre dans des thèses récentes, sur quels travaux cette nouvelle thèse peut construire.



Figure 1 – Ingénierie systèmes et ontologies, avec le raisonnement basé sur des cas

Dans la thèse, les ontologies, l'IA symbolique, et le MBSE seront mis ensemble dans une seule approche, afin de pouvoir proposer un cadre holistique adressant la problématique décrite.

Les travaux de thèse s'inscrivent dans les activités de recherche menés au sein du Département d'ingénierie des systèmes complexes (DISC) de l'ISAE-SUPAERO et le Centre pour Génie Industriel (CGI) de l'IMT-Albi.

Le DISC développe des compétences en mathématiques et informatique pour l'ingénierie aéronautique et spatiale. En enseignement comme en recherche, il s'intéresse aux modèles, méthodes et outils nécessaires pour maîtriser le comportement et les performances de systèmes complexes. Cette complexité peut être induite par le caractère multi-physiques ou multi-échelles des systèmes étudiés, leur comportement dynamique, leur structure distribuée et communicante. Les activités de cette thèse se trouvent dans le groupe de recherche THÉMIS « Théorie, Modélisation et Ingénierie des Systèmes ». Ce groupe s'intéresse à l'ingénierie des systèmes complexes dans le but de développer des méthodes, techniques et outils permettant de maîtriser (c'est-à-dire comprendre, analyser, évaluer, contrôler et concevoir) le comportement fonctionnel, opérationnel et les performances de ces systèmes. Ainsi, l'accueil de cette thèse au sein du DISC rentre dans une orientation de recherche tout à fait naturelle. Le CGI développe une expertise internationalement reconnue dans l'application de méthodes issues de l'intelligence artificielle au monde du génie Industriel. Cela se formalise dans 4 axes : science de données (faire émerger des modèles situationnels menant à une prise de décision), ingénierie des connaissances (modéliser et exploiter les connaissances spécifiques pour préparer à la prise de décision), ingénierie des modèles (construire, gérer et exploiter des modèles de situations relevant pour les axes de recherche du CGI), et recherche opérationnelle (accompagner la prise de décision en conception, amélioration et optimisation de systèmes). L'accueil de cette thèse au sein du CGI se fait donc également tout à fait naturel.

La complémentarité entre les approches développées au DISC et au CGI, ainsi que le fait que les 2 directeurs de thèse ont déjà travaillé ensemble, font que des solides bases existent pour cette thèse.

Supervision de la thèse

La thèse sera supervisée par l'ISAE (Rob Vingerhoeds, HDR) et par IMT Mines Albi (Elise Vareilles, HDR) d'un point de vue académique et MEDIANE INGENIERIE d'un point de vue industriel.

Contacts

- Rob Vingerhoeds (rob.vingerhoeds@isae-supero.fr)
- Elise Vareilles (elise.vareilles@mines-albi.fr)

Bibliographie

1. Kaitlin Henderson and Alejandro Salado. Value and benefits of modelbased systems engineering (MBSE): Evidence from the literature. Systems Engineering, 2021.
2. Saqui-Sannes Pierre de, Vingerhoeds Rob A., Garion Christophe, Thirioux Xavier, A Taxonomy of MBSE Approaches by Languages, Tools and Methods. 2022, IEEE Access. vol. 10 pp. 120936-120950. ISSN 2169-3536, DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3222387, 2022.
3. International Council on Systems Engineering (INCOSE) (2023). Systems engineering handbook: a guide for system life cycle processes and activities. (5th ed.). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Thesis title (acronyme) : REPOS

Thesis topic : Response to calls for quotations building on company experience

Thesis supervisor : R. Vingerhoeds (ISAE-SUPAERO, DISC)

Thesis co-supervisor : E. Vareilles (IMT – Mines Albi, CGI)

Thesis with : MEDIANE INGENIERIE

Keywords

Calls for tenders, system engineering, holistic approach, symbolic artificial intelligence, expert knowledge, ontologies

Context and issues

The current industrial context makes that we have to react more and more quickly to avoid “losing” a market. As one of the directors of a very large multinational recently said, the key word is “SPEED”. This is becoming visible with the ultra-rapid evolution linked to mobile phones, tablets, etc., but also applies to developments such as the development of an electronic card, an ECU (electronic control unit), a sensor, etc. The time left to an equipment manufacturer to react to a call for tenders is getting shorter and shorter and the complexity of the requested developments is constantly increasing. Where a multinational can rely on a critical mass where there is always someone who can manage a call for tenders in a specific area, the same cannot be said for SMEs (Small and Medium-size Enterprises) and VSEs (Very Small Enterprises). For them, it can be noted that it becomes difficult to control the risk incurred and to make a controlled offer in the allotted time, not having the same critical mass and in addition a concern for capitalizing on know-how, expertise to manage. Indeed, the turnover of experts in SMEs and VSEs can be significant and as there are not many real experts, when someone leaves, the expertise also leaves the company.

Within this thesis, the emphasis is placed on SMEs and VSEs in a subcontracting role. As indicated, SMEs and VSEs do not have the critical mass to create departments oriented towards processes, methods and tools, and that therefore the capitalization of the process only resides in the heads of a few. And then, in a world where experts are poached by competitors, there is a concern for capitalizing on know-how, which is less easy to address in an SME/VSE than in a large group (where you will always find someone to help).

We can therefore schematize the problem in two parts:

- Knowledge of the processes, methods and tools used – which govern a development. There can be significant differences between the methods used in different companies, which can make cooperation difficult.
- Capitalization of know-how – the “memory” of the company. In the not-so-distant past, these concerns only really arose when an employee retired, thus allowing possible anticipation of this problem. Today, employees change companies much more often, taking their know-how with them, and leaving the company to train new employees, sometimes without overlapping between the players.

This thesis aims to contribute to an improvement of this situation, with an application specifically in electronic development, the core business of MEDIANE INGENIERIE, an SME based in Labège. The intended contributions concern an approach, with a prototype at the end of the thesis, of a support for the RFQ (request for quotation) phase, so that SMEs/VSEs can quickly identify the essentials, identify the impact on processes, and identify risks.

Scientific challenges

The following scientific challenges can be identified:

- The difficulty in defining the factors to be taken into account at a minimum for an RFQ at the development process level on “both sides” (principal and equipment manufacturer), and thus to be able to “border” the associated risk,
- The difficulty in obtaining and structuring prior knowledge in order to be able to reuse it for a new project,
- The difficulty in defining the factors to be taken into account at a minimum for an RFQ at the technical and new technology level, and thus to be able to use it for new RFQs,
- The difficulty in guiding engineers during the phase of an RFQ, in a limited time, with limited knowledge of the new project.

The objective of this thesis is therefore to work on an approach capable of helping an SME/VSE to formalize prior knowledge and to structure development approaches, in order to be able to respond to RFQs within the allotted time with a controlled and known risk.

Thesis objectives

The objectives of the thesis aim at improving the phases of the call for tenders, based on symbolic artificial intelligence and systems engineering techniques (see the “State of the Art” section). The central questions for this thesis are:

- *How to address the call for tenders phase for a product or service, in a limited time, with minimal knowledge about the product, while controlling the risk?*
- *How to ensure the capitalization of know-how for the benefit of better call for tenders management?*

The solution proposed in this thesis will be based on systems engineering as a holistic framework, as well as on techniques from symbolic artificial intelligence (see state of the art). Systems engineering is a transdisciplinary and integrative approach aimed at enabling success in the realization, use and decommissioning of engineering systems, using system principles and concepts as well as scientific, technological and management methods [3]. More specifically, the thesis will be based on MBSE (Model-Based Systems Engineering [2]), which has multiple advantages [1]:

- Design balanced solutions that meet the needs and according to the varied points of view of the different stakeholders
- Detect design problems from the early phases of system development
- Manage complexity and risks

On the other hand, the solution will be based on ontologies, explicit formal descriptions of concepts in a given domain. This formal definition of a domain allows, with individual instances of objects and classes, to have a knowledge base, with the following advantages:

- Share a common understanding of the structure of the information
- Allow the reuse of domain knowledge
- Make domain hypotheses explicit

For the knowledge base, individual instantiations, the use of symbolic artificial intelligence (PPC, CBR= r is proposed. The link between ontologies and Symbolic AI has been implemented in recent theses, on which work this new thesis can build.



Figure 1 – Systems engineering and ontologies, with case-based reasoning

In the thesis, ontologies, symbolic AI, and MBSE will be put together in a single approach, in order to be able to propose a holistic framework addressing the described problem.

The thesis work is part of the research activities carried out within the Department of Complex Systems Engineering (DISC) of ISAE-SUPAERO and the Center for Industrial Engineering (CGI) of IMT-Albi.

DISC develops skills in mathematics and computer science for aeronautical and space engineering. In teaching as in research, it is interested in the models, methods and tools necessary to control the behavior and performance of complex systems. This complexity can be induced by the multi-physical or multi-scale nature of the systems studied, their dynamic behavior, their distributed and communicating structure. The activities of this thesis are in the ThéMIS research group "Theory, Modeling and Engineering of Systems". This group is interested in the engineering of complex systems with the aim of developing methods, techniques and tools to control (i.e. understand, analyze, evaluate, control and design) the functional, operational behavior and performance of these systems. Thus, the reception of this thesis within the DISC is part of a completely natural research orientation.

The CGI is developing internationally recognized expertise in the application of methods from artificial intelligence to the world of industrial engineering. This is formalized in 4 axes: data science (to bring out situational models leading to decision-making), knowledge engineering (modeling and exploiting specific knowledge to prepare for decision-making), model engineering (building, managing and exploiting situation models relevant to the CGI's research axes), and operational research (supporting decision-making in the design, improvement and optimization of systems). The reception of this thesis within the CGI is therefore also completely natural.

The complementarity between the approaches developed at DISC and CGI, as well as the fact that the two thesis directors have already worked together, mean that solid foundations exist for this thesis.

Supervision de la thèse

The thesis will be supervised by ISAE (Rob Vingerhoeds, HDR) and by IMT Mines Albi (Elise Vareilles, HDR) from an academic point of view and MEDIANE INGENIERIE from an industrial point of view.

Contacts

- Rob Vingerhoeds (rob.vingerhoeds@isae-superaero.fr)
- Elise Vareilles (elise.vareilles@mines-albi.fr)

References

1. Kaitlin Henderson and Alejandro Salado. Value and benefits of modelbased systems engineering (MBSE): Evidence from the literature. Systems Engineering, 2021.
2. Saqui-Sannes Pierre de, Vingerhoeds Rob A., Garion Christophe, Thirioux Xavier, A Taxonomy of MBSE Approaches by Languages, Tools and Methods. 2022, IEEE Access. vol. 10 pp. 120936-120950. ISSN 2169-3536, DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3222387, 2022.
3. International Council on Systems Engineering (INCOSE) (2023). Systems engineering handbook: a guide for system life cycle processes and activities. (5th ed.). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.