



PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Ecole Doctorale : INFORMATIQUE - AUTOMATIQUE - ELECTRONIQUE - ELECTROTECHNIQUE - MATHEMATIQUES (ED n°77, IAEM Lorraine)

Laboratoire d'accueil :

- Centre de Recherche en Automatique de Nancy, CRAN UMR 7039, Université de Lorraine, CNRS
Département : Ingénierie des Systèmes Eco-Techniques (ISET)

Lieu : Faculté des Sciences et Technologies, Vandoeuvre-les-Nancy, France

Directeurs de thèse :

MdC. Mario Lezoche, CRAN (Mario.Lezoche@univ-lorraine.fr)

Prof. Hervé Panetto, CRAN (Herve.Panetto@univ-lorraine.fr)

Titre de la thèse : Le futur des jumeaux numériques vers l'acquisition d'habilités cognitives à travers l'Analyse Polyadique de Concepts.

Description du projet :

Le terme "jumeau numérique" (JN) a été utilisé pour la première fois par John Vickers de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) en 2002. Il a également donné la première définition formelle du jumeau numérique en 2010 comme "une simulation intégrée multi-physique, multi-échelle et probabiliste d'un système tel que construit qui utilise les meilleurs modèles physiques disponibles, les mises à jour des capteurs, etc. pour refléter la vie de son jumeau correspondant" [1]. Les cas d'utilisation du JN couvrent l'ensemble du cycle de vie d'un produit.

Faisons référence au concept de cognition. La définition classique de la cognition donnée par Neisser [2] comprend "...tous les processus par lesquels l'entrée sensorielle est transformée, réduite, élaborée, stockée, récupérée et utilisée...". Les aspects fondamentaux de la cognition comprennent l'attention (concentration sélective), la perception (formation de préceptes utiles à partir de données sensorielles brutes), la mémoire (encodage et récupération des connaissances), le raisonnement (tirer des déductions à partir d'observations, de croyances et de modèles), l'apprentissage (à partir d'expériences, d'observations et d'enseignants), la résolution de problèmes (atteindre des objectifs), la représentation des connaissances, etc.

Le JN standard est celui qui possède une partie numérique, une partie physique correspondante et une connexion entre elles. **Cette version du JN a la capacité d'apprendre et de stocker automatiquement les connaissances dans une structure formelle comme les ontologies et les graphes de connaissances.** L'une des caractéristiques du JN est le fait que ses activités sont liées à une quantité massive de données à récupérer, à relier et à traiter. Ces données proviennent de sources hétérogènes.

Le JN ayant des capacités cognitives, en plus d'avoir la capacité d'apprendre, est doté des autres éléments de la cognition tels que la perception, l'attention, la mémoire, le raisonnement, la résolution de problèmes, etc.

L'exploration de données multi-relationnelles (MRDM) [3] est le processus de découverte de connaissances ou de modèles à partir de quantités massives de données (exploration de données), lorsque les données proviennent de sources hétérogènes liées (multi-relationnelles). De plus, l'apprentissage non supervisé est le nom donné au processus d'extraction de modèles à partir de données non étiquetées. Plusieurs cadres mathématiques ont été proposés pour traiter cette tâche, chacun ayant ses forces et ses faiblesses, notamment l'analyse formelle des concepts.

L'analyse formelle des concepts (FCA [4]) est un formalisme qui établit une connexion entre les données binaires classiques (croisables) et la structure des concepts et des règles qui peuvent être trouvés dans ces

données. Il est très puissant car il offre des structures mathématiques bien étudiées qui peuvent être exploitées par des algorithmes.

Comme les tables croisées sont une façon plutôt limitée de représenter les données, diverses extensions du formalisme ont été proposées pour traiter des données plus complexes, telles que les structures de motifs (Pattern Structures) [5], l'analyse des concepts relationnels (Relational Concept Analysis) [6], l'ACF floue (Fuzzy FCA) [7] ou l'ACF graphique (Graph FCA) [8]. Tout comme la FCA, elles sont basées sur la théorie des treillis [9].

L'analyse conceptuelle triadique [10] et l'analyse conceptuelle polyadique (ACP) [11] visent à étendre l'ACF aux données sous forme de relations n-aires (c'est-à-dire des tableaux croisés multidimensionnels) et ont la particularité de faire intervenir des n-treillis au lieu de treillis. Ces structures sont considérablement moins connues et étudiées, et des résultats qui seraient considérés comme fondamentaux dans la théorie des treillis font défaut. Les possibilités sont pourtant nombreuses, car les données multidimensionnelles sont désormais omniprésentes : les ensembles de données RDF, les sources de données des JN, les connaissances folksonomiques sont toutes intrinsèquement au moins triadiques et leur transformation pour les adapter à des tableaux croisés dyadiques n'entraîne qu'une perte d'informations. Certains travaux ont déjà été réalisés dans ce sens dans le domaine de l'exploration de règles d'association multidimensionnelles [12,13].

Le défi scientifique est d'étudier la meilleure façon pour les JNs d'acquérir des compétences cognitives telles que le raisonnement. Les outils méthodologiques qui seront analysés pour atteindre cet objectif sont les extensions de l'ACF avec un intérêt particulier pour l'ACP et sa capacité à étudier les relations n-air. L'objectif final est de pouvoir structurer les connaissances contenues dans les différents JNs sous forme de règles d'association multidimensionnelles.

Ce sujet de thèse, impliquant une recherche à la fois théorique et appliquée, est complémentaire aux thèmes de recherche de l'équipe-projet S&O-2I (prochain COPIL) du département ISET (prochain MPS2I) du CRAN. Au niveau international, ce sujet est partiellement couvert par la communauté de chercheurs de l'IFAC TC 5.3 "Enterprise Integration and Networking", qui s'intéresse également à cette problématique de formalisation de sémantique et de modèles pour l'interopérabilité des systèmes.

Connaissances et compétences requises :

Au cours de cette thèse il sera nécessaire d'acquérir une connaissance de la théorie des treillis, en particulier de treillis des concepts, pour pouvoir maîtriser l'analyse des concepts formels. Cette connaissance est préalable au développement d'une méthode qui permette l'évaluation des processus d'interopérabilité des systèmes de pilotage et de gestion d'entreprise (ERP, MES, SCM, CRM, ..).

Conditions

La durée est de trois ans : de septembre 2023 à septembre 2026.

Le lieu de travail sera l'Université de la Lorraine, laboratoire CRAN dans le département ISET à Vandoeuvre les Nancy.

La rémunération est liée au contrat doctoral relative à la bourse du gouvernement Français.

On attend un étudiant avec des fortes compétences en mathématique, informatique et qui connaît le monde industriel.

Références :

- [1] E. Negri, L. Fumagalli, and M. Macchi, "A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems," *Procedia Manufacturing*, vol. 11, pp. 939–948, 2017.
- [2] R. L. Solso, M. K. MacLin, and O. H. MacLin, "Cognitive Psychology". Pearson Education, New Zealand, 2005.
- [3] Saso Dzeroski. "Multi-relational data mining: an introduction". In: *ACM SIGKDD Explorations Newsletter* 5.1 (July 2003), pp. 1–16. issn: 1931-0145. doi: 10.1145/959242.959245.
- [4] Bernhard Ganter and Rudolf Wille. *Formal Concept Analysis: Mathematical Foundations*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [5] Bernhard Ganter and Sergei O. Kuznetsov. *Pattern Structures and Their Projections*. In *International conference on conceptual structures*, pages 129–142. Springer, 2001.

- [6] Mohamed Rouane-Hacene, Marianne Huchard, Amedeo Napoli, and Petko Valtchev. Relational Concept Analysis: Mining Concept Lattices from Multi-Relational Data. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 67(1):81–108, 2013.
- [7] Jonas Poelmans, Dmitry I Ignatov, Sergei O. Kuznetsov, and Guido Dedene. Fuzzy and Rough Formal Concept Analysis: a Survey. *International Journal of General Systems*, 43(2):105–134, 2014.
- [8] Sébastien Ferré and Peggy Cellier. Graph-fca: An extension of formal concept analysis to knowledge graphs. *Discrete applied mathematics*, 273:81–102, 2020.
- [9] Garrett Birkhoff. *Lattice Theory*, volume 25. American Mathematical Soc., 1940.
- [10] Fritz Lehmann and Rudolf Wille. A Triadic Approach to Formal Concept Analysis. In *International conference on conceptual structures*, pages 32–43. Springer, 1995.
- [11] George Voutsadakis. Polyadic Concept Analysis. *Order*, 19(3):295–304, 2002.
- [12] Rokia Missaoui, Pedro HB Ruas, Léonard Kwuida, Mark AJ Song, and Mohamed Hamza Ibrahim. Computing triadic generators and association rules from triadic contexts. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, pages 1–23, 2022.
- [13] Alexandre Bazin, Nicolas Gros, Aurelie Bertaux, and Christophe Nicolle. Condensed representations of association rules in n-ary relations. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2022.