

Approche neuro-symbolique dans le cadre de la photogrammétrie pour le suivi d'ouvrage d'art :

Application à la détection et au suivi de fissures béton.

Objet

Les travaux envisagés dans le cadre de cette thèse visent la mise en place d'un système automatisé dédié à la détection et au suivi de fissures sur des structures bétons pour les ouvrages d'arts. Ce système reposera à la fois sur l'acquisition des données nécessaires par photogrammétrie, la mise en place d'une approche neuro-symbolique pour la détection et la classification de fissures béton et l'intégration des résultats dans un système d'information orienté Modélisation des Données du Bâtiment (Building Intelligent Modeling ou BIM).

Mots clés

Intelligence artificielle Neuro-Symbolique, Représentation des connaissances, Ontologies, Apprentissage automatique, Systèmes d'Information, Vision par Ordinateur

Contexte :

La surveillance et le suivi des ouvrages d'art est une problématique actuelle dans le domaine des Bâtiments et Travaux Public (BTP). Parmi les ouvrages les plus à risque, les structures béton comme les ponts ou les barrages sont surveillés et suivi grâce à l'étude des fissures pouvant apparaître à leur surface. Les méthodes actuelles de détection et de classification de fissures béton sont articulées autour de trois axes.

L'étude experte consistent à faire analyser par un expert béton des prises de vues de fissures ou les fissures elles même in situ. A partir des données recueillies, l'expert émet une conclusion afin de planifier les interventions nécessaires. L'intervention manuelle pose de nombreuses contraintes comme le nombre de structures à surveiller surpassant de loin la capacité d'inspection des experts ou l'accès aux sites eux-mêmes.

Les méthodes basées sur l'inférence logique reposent sur la formalisation des connaissances expertes impliquées dans la détection et la classification de fissures. Ces connaissances peuvent être intégrées dans des systèmes expert [1] ou dans des ontologies [2], [3]. Les moteurs d'inférence sous-jacent permettent alors de classifier les fissures à partir des données recueillies. De telles méthodes répondent à la problématique de la disponibilité des experts et à l'explicabilité des résultats fournis (par la nature de l'inférence logique). Cependant, elles sont soumises aux contraintes de l'inférence logique et de sa complexité algorithmique qui n'est pas adapté à de grands volumes de données.

L'apprentissage automatique, en particulier basé sur des images, permet dans la détection de fissures à partir de simples images. De nombreuses solutions ont été proposées à partir d'apprentissage machine standard [4] ou encore d'apprentissage profond [5], [6]. Ces solutions sont rapides, ne demandent pas l'acquisition de données complexes et ont un bon ratio de détection et de classification. Les contraintes de l'apprentissage automatique restent néanmoins présentes, comme la justification d'une détection / classification ou encore la prédiction de l'évolution d'une fissure.

Partenaires

IVM Technologies (Innovative Vision and Modeling Technologies)¹ est une jeune entreprise innovante marseillaise. Fondée en 2020 par d'anciens membres du département Innovation de COMEX, IVM propose à la vente des systèmes de reconstruction 3D par stéréophotogrammétrie subaquatique de haute précision (< 1mm), la gamme HYDRO Series. IVM réalise également des prestations de relevé photogrammétrique, de traitement des données et de contrôle dimensionnel dans tous les domaines subaquatiques, allant du génie civil à l'industrie pétrochimique en passant par la biologie et l'archéologie. Le système photogrammétrique HYDRO permet de réaliser les prises de vue des zones d'inspection sans contact avec cette dernière, tout en assurant une précision submillimétrique.

Le Laboratoire d'Informatique et Systèmes (LIS)² est une Unité Mixte de Recherche (UMR) sous tutelles du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) rattachée à l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I), de l'Université d'Aix-Marseille (AMU) et de l'Université de Toulon (UTLN). Ses locaux sont situés sur les campus de Saint-Jérôme et de Luminy à Marseille et sur le campus de l'Université de Toulon. Le LIS mène des recherches fondamentales et appliquées dans les domaines de l'informatique, de l'automatique, du signal et de l'image. L'équipe concernée par ce sujet est R2I (Recherche d'Information et Interactions) du pôle Sciences des Données, sur le site de Toulon.

Equipe d'encadrement de thèse (LIS) : Elisabeth Muriasco (PR, elisabeth.muriasco@univ-tln.fr), Julien Seinturier (MCF, julien.seinturier@univ-tln.fr), Emmanuel Bruno (MCF, emmanuel.bruno@univ-tln.fr). Site LIS : www.lis-lab.fr

Contact : Julien Seinturier (julien.seinturier@univ-tln.fr)

Verrous scientifiques

Le principal verrou identifié et la mise en place d'une approche neuro-symbolique pour répondre à la problématique. Le choix des méthodes automatiques et le choix d'un cadre de formalisation des connaissances expertes s'avère alors critique. Au-delà de la simple détection de fissure, l'approche doit également être capable de justifier ses choix et de les expliquer aux experts (qui restent les décideurs finaux). Un verrou secondaire est l'évaluation de la meilleure méthode d'intégration entre approche neuronale et approche symbolique (comme utiliser l'approche neuronale comme fournisseur de faits pour l'inférence symbolique ou utiliser la connaissance symbolique pour paramétrer le réseau de neurones).

Description des travaux

Les travaux engagés visent à proposer une approche permettant l'automatisation de la détection et de la classification de fissures béton en intégrant les approches basées sur l'apprentissage automatique [4]–[6] et les approches basées sur la représentation des connaissances et l'inférence [3] au sein d'un même cadre unifié. La construction de ce cadre s'appuiera sur les dernières recherches menées dans le domaine de l'intelligence artificielle neuro symbolique [9], [10].

Dans un premier temps, un état de l'art sera réalisé à sur la détection et la classification d'objets par apprentissage automatique ainsi que sur la représentation de connaissances expertes et l'inférence sur celles-ci. Différentes méthodes issues de ces approches seront implantées et testées afin de retenir les plus à mêmes d'être intégrées dans un cadre unifié.

¹ <http://www.ivm-technologies.com>

² <https://www.lis-lab.fr>

Dans un second temps, le cadre unifié sera implémenté au moyen d'ontologies. Le formalisme choisi reposera sur l'Ontology Web Language étendu aux logiques de descriptions (OWL-DL)[11] pour la formalisation de connaissances et sur le Semantic Web Rule Language (SWRL)[12] pour ses capacités d'inférences. Le choix de baser le cadre sur OWL permettra d'intégrer également des représentations ontologiques du temps [13] et de l'espace [14], [15], notions fondamentales dans la localisation et le suivi d'objets.

Une fois des méthodes de détection automatiques de fissures par apprentissage automatique et la connaissance experte formalisée, une approche neuro-symbolique pour la détection et la classification de fissures sera proposée à partir de l'état de l'art [9], [10]. Une première piste pouvant être suivie dans ce contexte étant de peupler l'ontologie à partir des résultats de détection / classification automatique et de procéder à des inférences classiques ou du requêtage, par exemple via SPARQL.

Après avoir mis en place le pipeline de détection / classification fondé sur une approche neuro-symbolique, les travaux seront évalués en utilisant des données réelles acquises par le système de photogrammétrie HYDRO Series déployé sur des sites identifiés.

Organisation

Le doctorant sera affecté pour 70% de son temps au sein de la société Innovative Vision & Modeling Technologies SAS (IVM), à Marseille et pour 30% au sein de l'équipe R2I du Laboratoire d'Informatique & Systèmes (LIS umr CNRS 7020) sur le site de l'Université de Toulon (UTLN) ou sur le site de Saint-Jérôme à Marseille.

Retombées attendues

Afin de développer l'entreprise et fournir un service complet allant de l'acquisition des images à l'exploitation du modèle 3D par le client, IVM Technologies souhaite développer un module de traitement et de prédiction de l'évolution des structures de génie civil. IVM Technologies est également une jeune entreprise innovante, et dans ce cadre, le renforcement des compétences en interne dans les domaines de l'intelligence artificielle et de la représentation des connaissances via l'accueil d'un doctorant est un atout majeur pour l'avenir de l'entreprise.

Pour le LIS, les résultats scientifiques seront publiés dans les conférences et revues majeures du domaine.

Bibliographie

- [1] P. Dalmagioni, M. Lazzari, R. Pellegrini, S. Paolo, et M. Emborg, « An Expert System For Managing Early Age Concrete Crack Prediction », in *Proceedings of the 9th International Workshop of the European Group for Intelligent Computing in Engineering*, Darmstadt, Germany, août 2002.
- [2] W. T. Chen et T. A. Bria, « A Review of Ontology-Based Safety Management in Construction », *Sustainability*, vol. 15, n° 1, 2023, doi: 10.3390/su15010413.
- [3] S. Jung, S. Lee, et J. Yu, « Ontological Approach for Automatic Inference of Concrete Crack Cause », *Appl. Sci.*, vol. 11, n° 1, déc. 2020, doi: 10.3390/app11010252.
- [4] H. Kim, E. Ahn, M. Shin, et S.-H. Sim, « Crack and Noncrack Classification from Concrete Surface Images Using Machine Learning », *Struct. Health Monit.*, vol. 18, n° 3, p. 725-738, avr. 2018, doi: <https://doi.org/10.1177/14759217187687>.
- [5] P. Tupe-Waghmare et R. R. Joshi, « A Scoping Review of Classification of Concrete Cracks using Deep Convolution Learning Approach », *Libr. Philos. Pract.*, vol. 5127, n° 1, févr. 2021, [En ligne]. Disponible sur: <https://digitalcommons.unl.edu/libphilprac/5127/>

- [6] W. R. L. da Silva et D. S. de Lucena, « Concrete Cracks Detection Based on Deep Learning Image Classification », in *Proceedings of the 18th International Conference on Experimental Mechanics ICEM18*, Brussels, Belgium, janv. 2018, vol. 2, n° 8. doi: 10.3390/ICEM18-05387.
- [7] F. Menna *et al.*, « Evaluation of vision-based localization and mapping techniques in a subsea metrology scenario », *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. XLII-2/W10, p. 127-134, mai 2019, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W10-127-2019.
- [8] F. Menna *et al.*, « Towards real-time underwater photogrammetry for subsea metrology applications », in *Proceedings of OCEANS 2019 conference*, Marseilles, France, juin 2019, p. 1-10. doi: 10.1109/OCEANSE.2019.8867285.
- [9] P. Hitzler et S. Kamruzzaman, *Neuro-Symbolic Artificial Intelligence: The State of the Art*, Joost Breuker, Nicola Guarino., vol. 342. Nieuwe Hemweg 6B 1013 BG, Amsterdam, Netherlands: IOS Press, 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://ebooks.iospress.nl/ISBN/978-1-64368-245-7>
- [10] A. d'Avila Garcez *et al.*, « Neural-Symbolic Learning and Reasoning: Contributions and Challenges », in *Proceedings of the 2015 AAAI Spring Symposium Series*, Stanford University, USA, mars 2015. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.aaai.org/ocs/index.php/SSS/SSS15/paper/view/10281>
- [11] OWL Working Group, « OWL 2 Web Ontology Language Document Overview », W3C, Recommandation, déc. 2012. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/>
- [12] I. Horrocks, P. F. Patel-Schneider, H. Boley, S. Tabet, B. Grosz, et M. Dean, « SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML », W3C, Submission, mai 2004. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.w3.org/Submission/SWRL/>
- [13] S. Cox et C. Little, « Time Ontology in OWL », W3C, Recommandation, nov. 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.w3.org/TR/owl-time/>
- [14] S. Marc-Zwecker, F. de Bertrand de Beuvron, C. Zanni-Merk, et F. Le Ber, « Qualitative spatial reasoning in RCC8 with OWL and SWRL », in *Proceedings of the 5th International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development KEOD2013*, Vilamoura, Algarve, Portugal, sept. 2013, p. 214-221. doi: 10.5220/0004543702140221.
- [15] Y. Wang, Q. Mengling, H. Liu, et X. ye, « Qualitative spatial reasoning on topological relations by combining the semantic web and constraint satisfaction », *Geo-Spat. Inf. Sci.*, vol. 21, n° 2, p. 80-92, févr. 2017, doi: 10.1080/10095020.2018.1430659.
- [16] Md. Safiuddin, A. B. M. A. Kaish, C.-O. Woon, et S. N. Raman, « Early-Age Cracking in Concrete: Causes, Consequences, Remedial Measures, and Recommendations », *Appl. Sci.*, vol. 8, n° 10, sept. 2018, doi: 10.3390/app8101730.
- [17] C. J. Larosche, « Types and causes of cracking in concrete structures », *Failure, distress and repair of concrete structures*. Woodhead Publishing Limited, p. 57-83, 2009. doi: 10.1533/9781845697037.1.57.
- [18] J. F. Allen, « Maintaining knowledge about temporal intervals », *Commun. ACM*, n° 11, p. 832-843, nov. 1983, doi: <https://doi.org/10.1145/182.358434>.
- [19] J. F. Allen, « An Interval-Based Representation of Temporal Knowledge », in *Proceedings of the 7th international joint conference on Artificial intelligence IJCAI'81*, Vancouver, BC, Canada, août 1981, vol. 1, p. 221-226. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ijcai.org/Proceedings/81-1/Papers/045.pdf>
- [20] D. A. Randell, Z. Cui, et A. G. Cohn, « A spatial logic based on regions and connection », in *Proceedings of the Third International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, Cambridge, oct. 1992, p. 165-176.