
Laboratoire d'accueil
Institut Pascal, UMR6602
Université Clermont Auvergne, Clermont Auvergne INP, CNRS
Campus Universitaire des Cézeaux, 4 Avenue Blaise Pascal
63178 AUBIERE
<http://www.institutpascal.uca.fr/index.php/fr/>

Ecole doctorale : SPI - Université Clermont Auvergne

Co-directeur de thèse :

A. IHAMOUTEN

Tél : 02 40 84 56 39

amine.ihamouten@univ-eiffel.fr

Directeur de thèse :

K. EL KHAMLIHI DRISSI

Tél. : 04 73 40 73 26

khalil.drissi@uca.fr

Co-encadrant :

C. PASQUIER

Tél. : 04 73 40 52 80

christophe.pasquier@uca.fr

Sujet : Détection et classification des réseaux enterrés par 3D-Radar : Matrix Pencil Method

La détection et la localisation des réseaux de services publics en contexte urbain sont devenues un sujet d'intérêt majeur depuis quelques années. La norme (NF S 70-003) exige la reconnaissance des réseaux et une localisation précise à moins de 11 cm par des sociétés certifiées. D'après les retours d'expérience des unités techniques du Ministère de la Transition écologique, aucune solution ne répond actuellement à ce besoin de cartographie des réseaux sur une grande surface à un coût acceptable pour les collectivités.

Pour une telle entreprise, une cartographie précise des réseaux combinant des méthodes physiques, méthodes d'intelligences artificielles (IA) et technologies innovantes adaptées à l'hybridation, offre un avantage indéniable pour optimiser le travail en termes de temps et de coûts. Cette étape entraînera des gains de fiabilité et contribuera à réduire les risques liés aux réseaux sensibles.

Le projet ANR PROMETHEUS (ANR-21-CE22-0019-03) cherche à introduire une telle solution méthodologique et technologique non invasive, basée sur la technologie radar géophysique 3D, pour structurer la cartographie urbaine des réseaux enterrés.

La thèse de doctorat s'inscrit dans l'action WP2 de PROMETHEUS et porte sur la détection des canalisations enterrées et leur suivi dynamique. La réponse électromagnétique du signal radar SFR-3D peut être utilisée comme caractéristique pour l'identification et la classification des cibles enterrées. Cette réponse se focalise entre autre autour des résonances naturelles complexes (CNR) de ces cibles, elle rend aussi compte de l'impact du sol et du radar considéré.

Nous proposons d'identifier ces CNR en appliquant la méthode haute résolution (Matrix Pencil Method) dans le domaine fréquentiel. Cette méthode est capable d'encoder ces CNR en faisant émerger des clusters de pôles et de résidus que l'on cherchera à associer aux objets enterrés, et potentiellement à l'effet du sol et du radar considéré.

Il est important de rappeler que les signatures brutes issues des réponses électromagnétiques des cibles seront modifiées par l'effet du couplage entre le radar (et la topologie de ses antennes) et les milieux de propagation ce qui suggère de combiner ces signatures modifiées à une approche par réseau de neurones profonds pour un encodage adhoc et un suivi dynamique adapté.

Par ailleurs, l'encadrement de l'université Gustave Eiffel fournira des données expérimentales issues du radar à sauts de fréquence multi-antennes, ces données seront l'entrée des modèles supervisés que l'on se propose de fournir pour les autres actions.

Une interaction régulière devra être menée avec les autres actions du projet PROMETHEUS pour une progression efficiente de ce travail de thèse.

Programme de recherche envisagé :

Le(a) doctorant(e) sera impliqué(e) dans le projet ANR-PROMETHEUS. Il (elle) pourra ainsi bénéficier d'échanges fructueux avec l'ensemble des chercheurs mais aussi avec l'autre doctorant(e) recruté(e) qui se focalisera sur le développement d'une approche complémentaire à celle du WP3 qui consiste à inverser les signaux radar et à estimer les caractéristiques physiques de réseaux enterrés.

1. L'étude bibliographique comprendra deux parties :

- Bibliographie sur les techniques d'auscultation dédiées à la détection et localisation des réseaux notamment les méthodes radars et les méthodes haute résolution utilisées en traitement du signal,
- Bibliographie sur les méthodes d'apprentissage et leur adaptation aux applications de génie civil notamment les techniques de Deep Learning appliquées aux signaux GPR.

2. Mise en œuvre de l'imagerie par radar à pénétration de sol pour cartographier les structures souterraines (premier lit en profondeur) avec des cas d'études simples et contrôlés en laboratoire puis des cas complexes sur sites réels.

A partir de l'écho propre acquis lors de l'émission-réception d'un appareil GPR multi-antennes (données brutes de A-scan, B-scan et C-scan en amplitude et en phase dans le domaine fréquentiel), on se propose de construire un corpus de signatures à partir de Matrix Pencil Method (MPM). Cette signature sera composée des résonances naturelles complexes (RCN) du réseau cible souterrain, probablement modifiées par l'effet du GPR et/ou du sol.

3. Classification des signatures modifiées par des méthodes d'intelligence artificielle. Cette classification s'appuiera sur différents scénarios dont on évaluera la performance numériquement par des modélisations FDTD :

- GPR et/ou sol sans réseau cible enterré à partir de données A-Scan,
- GPR et/ou sol avec réseau cible enterré à partir de données A-Scan.

4. Suivi des signatures à partir des données B-Scan et C-Scan et optimisation de la redondance issue des différents scénarios cités ci-dessus.

5. Production d'un encodage lisible des données de mesure.

Profil recherché :

- Il est attendu que les candidat(e)s à ce sujet de thèse aient des compétences en propagation des ondes électromagnétiques, en traitement du signal et en utilisation des méthodes de Deep Learning.
- Des compétences en mesure seront nécessaires pour une meilleure compréhension physique des phénomènes mis en jeu et des choix des modèles à hybrider.

Financement : projet ANR-PROMETHEUS (WP2)

Mots-clés : Matrix Pencil Method, Deep Learning, GPR, ElectroMagnétisme, génie civil, traitement du signal.

Subject: Detection and classification of buried utility networks by 3D-Radar: Matrix Pencil Method

The detection and localization of public service utilities in an urban context has become a subject of major interest in recent years. The French standard (NF S 70-003) requires the recognition of embedded networks and a precise location within 11 cm by certified companies. According to feedback from the technical units of the Ministry of Ecological Transition, no solution currently meets the need for utility network mapping over a large area at an acceptable cost for local authorities.

For such a company, precise mapping of utility networks combining physical methods, artificial intelligence (AI) methods and innovative technologies adapted to hybridization, offers an undeniable advantage for optimizing work in terms of time and costs. This step will lead to reliability gains and help reduce the risks associated with sensitive networks.

The ANR PROMETHEUS project seeks to introduce such a non-invasive methodological and technological solution, based on 3D geophysical radar technology, to structure the urban mapping of buried utility networks.

The doctoral thesis is part of the WP2 of PROMETHEUS and focuses on the detection of buried utility network and their dynamic monitoring. The electromagnetic response of the SFR-3D radar signal can be used as the core for the identification and classification of buried utility networks. This response focuses among the complex natural resonances (CNR) of these objects; it also gives information about soil and radar impacts.

We propose to encode these CNRs by applying the high-resolution method (Matrix Pencil Method) in the frequency domain. This method is capable of encoding these CNRs by bringing out clusters of poles and complex amplitudes. Those clusters will seek to associate with buried objects, and potentially with the ground and radar effects.

It is important to remember that the raw signatures resulting from the electromagnetic responses of the targets will be modified by the effect of the coupling between the radar (and the topology of its antennas) and the propagation medium, which suggests combining these modified signatures with a deep learning approach for ad hoc encoding and adaptive dynamic tracking.

In addition, the supervision of the Gustave Eiffel University will provide experimental data from the multi-antenna frequency hopping radar; these data will be the input of the supervised models provided for the other actions.

A constant interaction will be carried out with the other actions of the ANR PROMETHEUS project for an efficient progression of this thesis work.

Planned research program:

The doctoral student will be involved in the ANR-PROMETHEUS project. He (she) will thus be able to benefit from fruitful exchanges with all the researchers but also with the other doctoral student recruited who will focus on the development of an approach complementary to that of WP3, which consists in reversing radar signals and to estimate the physical characteristics of buried utility networks.

1. The bibliographic study will consist of two parts:

- Bibliography on auscultation techniques dedicated to the detection and localization of networks, in particular radar methods and the high-resolution methods used in signal processing,
- Bibliography on learning methods and their adaptation to civil engineering applications. In particular Deep Learning techniques applied to GPR signals.

2. Implementation of ground-penetrating radar imaging to map buried utility networks (first deep utility network) with simple and controlled laboratory case studies and then complex cases on real sites.

From the own echo acquired during the transmission-reception of a multi-antenna GPR device (raw data of A-scan, B-scan and C-scan in amplitude and phase in the frequency domain), we propose to build a corpus of signatures from Matrix Pencil Method (MPM). This signature corpus will be composed of the complex natural resonances (CNR) of buried utility network, probably modified by the GPR and/or the soil.

3. Classification of signatures by artificial intelligence methods. This classification will be based on different scenarios whose performance will be assessed numerically by FDTD methods:

- GPR and/or soil without buried target network from A-Scan data,
- GPR and/or ground with buried target network from A-Scan data.

4. Monitoring of signatures from B-Scan and C-Scan data and optimization of redundancy resulting from the various scenarios mentioned above.

5. Production of a readable encoding of the measurement data.

Required profile:

- Candidates for this thesis subject are expected to have skills in electromagnetic waves propagation, geophysics, signal processing and Deep learning methods.
- Measurement skills will be necessary for a better physical understanding of the phenomena involved and the choice of implemented models.

Funding:

ANR-PROMETHEUS project (WP2)

Keywords:

Matrix Pencil Method, Deep Learning, GPR, ElectroMagnetism, Civil Engineering, Signal processing.
