

Approche hiérarchique et multi-échelles pour la localisation des sources d'activité en MEG/EEG

Responsable du projet :

Bernard Goulard
 CRM, Université de Montréal
 Tél : (514) 343 2237
 Courriel : goulard@crm.umontreal.ca

Chercheurs principaux :

F. Nekka	Centre de recherche mathématiques, Dep. de Pharmacie, Université de Montréal.
J. M. Lina de Montréal.	Centre de recherche mathématiques, Université
H. Benali (France)	Centre de recherche mathématiques et INSERM

Collaborateurs :

O. Marcotte	GERAD, UQAM
P. Hansen	GERAD, HEC
L. Garnero	CNRS (France) - CHU Pitié-Salpêtrière
Y. Burnod	INSERM (France) - CHU Pitié-Salpêtrière

Description du projet

Introduction

Nous présentons ici un projet qui, tout en s'inscrivant dans la ligne de recherche habituelle du groupe PhysNum et dans la poursuite de sa collaboration avec le partenaire industriel ANIQ, contient une focalisation délibérée sur les applications à l'imagerie cérébrale. Conçu au cours de la dernière année, ce **nouveau projet** contient maintenant tous les éléments pour le rendre opérationnel. Sa durée est de *deux ans*.

type de contraintes dans la modélisation multi-échelle des images. Le formalisme Bayésien a donné lieu à une approche originale (usage d'ondelettes complexes) ayant des applications certainement prometteuses. Il s'agissait alors d'une régularisation de type fonctionnel en contraignant la solution à résider dans un espace de régularité prédéterminée. Ce travail, comme d'ailleurs tous ceux qui l'ont précédé, a démontré l'apport de l'information de phase dans la représentation complexe. C'est dans ce courant de pensée que nous avons inscrit dans notre collaboration rcm_2 la modélisation markovienne multi-échelle des images. Ce travail (réalisé dans le cadre du doctorat de D. Clonda) est en cours de rédaction. S'appuyant sur l'*a priori* d'un modèle markovien en échelle, il fournit, entre autres résultats, une technique d'estimation (débruitage) par rétrécissement d'amplitude *non radial*. En comparaison avec les approches bayésiennes habituelles qui expriment la contrainte de régularité, cette approche statistique repose sur un modèle de dépendance statistique sur les coefficients en ondelettes et permet de mieux cerner le rôle de la phase pour en tenir compte d'une façon plus explicite dans la modélisation. On retiendra surtout de cet aspect du travail notre intérêt récent pour les modèles graphiques appliqués à la modélisation des images puisque ce cadre a permis d'exprimer la dépendance statistique entre les nœuds des quad-arbres de la représentation multi-échelle. Les modèles graphiques sont ainsi devenus un volet important de nos travaux actuels dont on trouvera, dans la deuxième phase du projet de recherche présenté ici, une prolongation en collaboration avec les experts du centre de recherche GERAD.

Le sujet de recherche : son contenu

La construction des régions d'activité cérébrale à partir des mesures magnéto et électro-encéphalographiques (MEG/EEG) fait partie des problèmes inverses mal posés classiques. Sans information supplémentaire, la solution n'est pas unique; par ailleurs, il y a généralement des données manquantes ou mal déterminées. Par conséquent, il faut régulariser le problème en utilisant de l'information a priori sur la solution recherchée. Dans ce thème de recherche, nous proposons une approche statistique (Maximum d'Entropie en Moyenne) pour sélectionner une solution unique. Cette approche permet de prendre en compte l'information a priori, exprimée sous la forme d'une contrainte non linéaire mais convexe. Ce thème de recherche s'inscrit dans le cadre général de l'activité de l'équipe puisque nous voulons adapter cette méthode statistique à une approche multi-échelle (en espace). Le bénéfice de cette approche hiérarchique est double : d'une part placer les détails de la solution aux lieux où celle-ci présente des fluctuations significatives (adaptativité); d'autre part, réduire le temps de calcul actuellement prohibitif en approchant la solution par une technique "from coarse to fine scale".

Pour ce faire, nous utiliserons, lors de la deuxième année, les derniers développements

par un signal IRMf. Ce dernier, plus précis spatialement, caractérise des structures locales. Ce n'est pas le cas des signaux acquis en MEG et EEG, où le signal recueilli sur la surface externe de la tête correspond à une sommation complexe de différentes contributions neuronales.

Deuxième phase - Pour compenser l'imprécision spatiale de la MEG et de l'EEG, en plus de l'exploitation de données du type IRMf et IRMa, nous comptons utiliser comme informations a priori les résultats *d'études sur la connectivité des "clusters" de cellules neuronales à l'intérieur du cerveau*. Cette continuation du projet de recherche sera pratiquée dans le cadre de l'optimisation en théorie des graphes en posant le problème suivant: étant donné une fonction de coût informative (de type Kullback) et la réponse fonctionnelle des voxels acquise en IRM, quel est le graphe d'association optimal entre les régions anatomiques cérébrales ? Outre les techniques d'approximation multi-échelle inhérentes à l'optimisation des graphes (graphes décrivant l'interaction de régions de plus en plus précise), ce volet de la recherche entre de plain-pied d'une part dans l'activité scientifique du groupe PhysNum puisque son objectif est l'obtention de connaissances *a priori* pour le problème inverse décrit dans ce projet. Il entre d'autre part dans le domaine de la plasticité du cerveau, domaine de plus en plus actif.

Plan de travail et échéancier

- Mois 1 à 4 : Le problème direct dans un modèle sphérique en MEG/EEG. Adaptation au problème MEG/EEG du logiciel MEM réalisé en tomographie PET.
- Mois 5 à 15 : Développement des approches hiérarchiques pour la résolution du problème inverse par MEM. Estimation multi-échelle de densité de probabilité. Implantation numérique et simulations.
- Mois 2 à 6 : Modèle graphique pour l'analyse fonctionnelle cérébrale. Évaluation des résultats par les spécialistes en neurologie.
- Mois 12 à 15 : Formulation des connaissances *a priori* acquises en IRMf.
- Mois 15 à 20 : Fusion des connaissances *a priori* dans le problème inverse.
- Mois 12 à 24 : Simulation et comparaison avec d'autres méthodes de détection d'activation cérébrale.

Les collaborations

aura un rôle important dans l'acquisition des données MEG et en nous fournissant l'algorithme du "problème direct" de la MEG déterminant le potentiel électromagnétique provoqué sur le scalp par un ensemble de sources.

Deuxième phase :

L'étude sur la connectivité des réseaux neuronaux implique des protocoles expérimentaux montés par **Y. Burnod** (CHU Pitié-Salpêtrière), expert dans ce domaine, et la collaboration active d'experts en théorie des graphes dans l'optimisation de la connectivité. Deux séances de travail préliminaires ont eu lieu avec **P.Hansen** et **O. Marcotte** du GERAD lors d'un récent séjour de H. Benali au CRM. Un plan de travail a été amorcé pour mettre en œuvre cet aspect de la seconde phase du projet qui ouvre un domaine nouveau de la cartographie cérébrale pour les collaborateurs du GERAD.

Cécile Amblard, stagiaire post-doctorale, arrivée le 30 novembre, travaillera plus particulièrement sur l'implantation de la méthode MEM pour la résolution du problème inverse en MEG/EEG.

Ervig Lapalme (boursier CRSNG, candidat PhD) étudiera l'approche hiérarchique pour la résolution du problème inverse.

Diego Clonda (boursier FCAR, candidat PhD) étendra son expertise sur les modèles graphiques dans le contexte de l'optimisation pour la cartographie cérébrale. Ce travail impliquera également un ou deux stagiaires du GERAD.

Collaboration avec d'autres centres rcm_2

La collaboration directe avec des membres du GERAD a été déjà évoquée. Il a été également convenu avec R. Garcia de CIRANO de maintenir une collaboration au niveau des méthodes de modélisation statistique employées dans nos deux domaines. Marc André Lewis, post-doc chez Garcia, assurera la liaison. L'ampleur des calculs impliqués nous amènera, en cours de projet, à nous appuyer sur le GERAD ou le CRT pour utiliser une des machines parallèles mises à la disposition du rcm_2 .

Contexte médical et industriel

L'objectif du projet est d'amener des méthodes originales et innovantes de localisation des sources d'activités en MEG et EEG pour améliorer le bilan chirurgical préopératoire des patients qui présentent une lésion cérébrale. La validation de ces traitements de l'image est effectuée par des neurochirurgiens de l'hôpital Pitié-Salpêtrière. En collaboration avec la compagnie de R&D ANIQ, dirigée par K.Scott, des prototypes de logiciels seront mis au point, incorporant les résultats obtenus par le groupe.

dans ce domaine tout nouveau à Montréal peut se révéler fort profitable et amorcer une nouvelle branche d'activité rcm_2 en imagerie médicale.

- Ce projet donnera lieu à des logiciels commercialisables portant sur des algorithmes contenant des méthodes originales, ceci dans des domaines nouveaux. (Notre partenaire industriel, ANIQ, avec lequel le groupe PhysNum travaille depuis 10 ans dans le cadre de partenariats R&D financés par le CRSNG, a déjà pris contact avec la compagnie CTF).