

Segmentation vectorielle des signaux épileptiques une approche expérimentale multi-agents

Abel KINIE¹, Edouard DUCHESNAY¹, Fabrice WENDLING², Jean-Jacques MONTOIS¹,
Yann JACQUELET¹

¹LTSI/GRAID - IUT de Rennes/Saint-Malo, Bd Déportés BP 195, Saint-Malo Cédex

¹{Abel.Kinie,Edouard.Duchesnay,Jean-Jacques.Montois,
Yann.Jacquelet}@iutsm.univ-rennes1.fr

²LTSI groupe signal Université de Rennes1- Campus de Beaulieu, bât22, 35042 Rennes Cédex

²Fabrice.Wendling@univ-rennes1.fr

Résumé - Dans ce papier nous débattons d'une approche expérimentale de segmentation vectorielle basée sur un Système Multi-Agents (SMA) et son application aux signaux stéréo-électro-encéphalographiques enregistrés sur des patients souffrant de crises d'épilepsie partielles. Cette approche utilise l'interaction entre une plate forme logicielle OS-Agent/SMA-Vision et une algorithmie signal représentée par un algorithme de segmentation scalaire et un coefficient de corrélation non linéaire. L'interaction SMA/algorithmie signal permet d'envisager une détection des instants de changement qui serait accompagnée, sur un temps croissant lors du déroulement de la crise d'épilepsie, d'un partitionnement des voies sur lesquelles sont observés les changements concomitants.

Mots clés : regression non linéaire, multi-agents, seeg, épilepsie, segmentation

Abstract – In this paper we are discussing about a vectorial segmentation experimental approach based on Multi-Agent System (MAS) and its application on SEEG signals recorded on patients suffering from partial epilepsy crises. This approach uses the interaction between a software platform OS-Agent/MAS –Vision and a signal algorithm and a nonlinear correlation coefficient. The interaction MAS/ signal algorithm enables to contemplate a detection of times of change which could take place, on an increasing period during the epilepsy crises, with a partition of the brain areas which are concerned by concomitant times of change.

Key word : nonlinear regression, multi-agents, seeg, epilepsy, segmentation

1. Introduction

L'épilepsie résulte d'un dysfonctionnement cérébral. Elle est caractérisée par la répétition de crises, périodes de temps au cours desquelles, des altérations incontrôlées, souvent stéréotypées, surviennent dans le comportement du patient. Cette pathologie est complexe dans la mesure où les symptômes ou signes cliniques extériorisés par le patient dépendent directement des structures mises en jeu lors du déclenchement et de la propagation des crises. Les méthodes d'investigation utilisées en épilepsie fournissent des données de type clinique (sémiologie, examen neurologique), anatomique (IRM, Scanner) et physiologique. Ces dernières sont principalement apportées par l'électroencéphalographie(EEG) sous la forme de signaux enregistrés sur plusieurs voies soit à partir d'électrodes posées sur le scalp (EEG de surface) ou d'électrodes intra-cérébrales (EEG de profondeur ou stéréo-EEG).

Cet article s'intéresse plus particulièrement aux signaux SEEG. En effet l'observation de ces signaux montre que l'activité qu'ils reflètent évolue en fonction du temps. On peut la qualifier de stationnaire par morceaux (ou pseudo-stationnaire). Le problème qu'on se pose en segmentation vectorielle est de décrire cette "chronologie" spatio-temporelle : quels sont les groupes de voies (et donc quelles sont les structures) dont l'activité change dans un "même voisinage temporel"?

Lorsque la crise progresse au cours du temps, ces groupes sont-ils stables ? Se défont-ils ? Se refont-ils ? De nouveaux groupes se forment-ils ?

Le caractère non stationnaire et non linéaire du signal SEEG n'a pas toujours permis dans la littérature l'application d'approches de segmentation vectorielle à ce signal. L'objectif dans ce papier est de proposer une méthodologie originale de segmentation vectorielle qui associe un Système Multi-Agents(SMA), système qui peut être vu comme une approche distribuée et communicante, à une algorithmie signal.

Le §2 permet de préciser le problème ainsi considéré. Dans le §3 nous décrivons les grands principes de l'articulation SMA/algorithmie signal. Le §4 décrit le protocole expérimental et propose une architecture d'implémentation. Dans le dernier paragraphe nous discutons des résultats préliminaires et nous concluons.

2. Articulation SMA/Algorithmie Signal

On considère généralement en première approximation que l'observation SEEG correspond à la sommation de signaux issus de plusieurs sources et qui émettent simultanément. On dénombre ainsi une multitude de capteurs (pas moins de 100 canaux en observation de profondeur). L'analyse des processus cérébraux observés lors de décharges paroxystiques en

épilepsie par EEG et Stéréo-EEG a ainsi conduit à la notion de réseau épileptogène introduite par le professeur P. CHAUVEL[1]. Il écarte le modèle d'un foyer circonscrit et se fonde sur une organisation plus complexe constituée d'ensembles distribués reliés par des connexions anormalement facilitées. C'est en s'appuyant sur cette hypothèse qu'il nous a semblé naturel dans le problème de segmentation vectorielle que nous posons de nous tourner vers des outils de type IA distribuée, donc des Systèmes Multi-Agents.

2.1 OS-Agent/SMA-Vision en segmentation du signal SEEG.

La plateforme expérimentale OS-Agent/SMA-Vision, développée au LTSI/GRAID est une architecture Multi-Agents originale qui exploite les concepts des pyramides irrégulières adaptatives et transpose un schéma de graphes d'adjacence à un Système-Multi-Agents intelligent[2]. Cette transposition qui repose sur un concept "distribué et communicant" autorise compte tenu des mécanismes de génération du signal SEEG une formulation du problème considéré en segmentation vectorielle, à partir d'un Système Multi-Agents

OS-Agent/SMA-vision est une plateforme expérimentale composée d'agents dont les comportements locaux- les interactions- sont réglés selon 4 principaux attributs sociaux (accointances, affinités, désirs, négociation). Dans ce papier nous détaillons complètement l'étude des 2 premiers attributs, les notions de désirs et de négociation restant encore complètement ouvertes en ce qui concerne l'analyse et l'interprétation de l'activité épileptique par les méthodes de types SMA. Nous proposons néanmoins les premiers éléments d'appréciation

OS-Agent fonctionne sur une machine multiprocesseurs (SMP) et permet aux agents de communiquer par envoi de message, la stratégie de communication, au niveau système, est déduite suivant que les agents soient sur la même machine (mémoire partagée) ou sur des machines distantes (PVM+TCP/IP).

Dans ce papier, le processus de segmentation/analyse de la propagation de la décharge paroxystique suppose

- la définition des accointances
- le calcul des affinités
- la mise en place du schéma

organisationnel de la propagation de la crise qui passe par le dialogue entre agents et la mise en évidence des groupes de voies SEEG qui « travaillent » ensemble.

2.1.1. Accointances

Elles représentent les voisins les plus immédiat de chaque agent. Le choix des accointances ici a été dictée non seulement par des considérations anatomophysiologiques mais également par la connaissance grâce au clinicien du positionnement des électrodes à l'intérieur du cerveau.

Sachant qu'une électrode intra-cérébrale est constituée en moyenne de 15 plots ou capteurs, numérotés de 1 (pour le plot le plus à l'intérieur du cerveau) à 15 (le plot le plus externe), nous avons choisi afin de coller au plus près de la philosophie SMA sans perdre les informations neuroanatomiques, indispensables à l'interprétation clinique, l'organisation suivante :

Pour des raisons de simplicité (en Stéréo-SEEG, on considère généralement un découpage de l'électrode en trois régions : interne, médian, externe) et de clarté chaque électrode SEEG implantée dans le cerveau est subdivisée en 3 groupes de 5 plots chacun qui forment ce que nous allons appeler les **accointances-intra-électrodes**. Le premier groupe est constitué de « plots internes », le deuxième groupe de « plots médian » et le troisième groupe regroupe les 5 plots les plus externes.

Les combinaisons entre électrodes elles, vont définir les **accointances inter-électrodes**, dont interstructures cérébrales.

Le deuxième élément qui va caractériser le comportement de l'agent et sa communication avec ses « voisins » est donné par le calcul des affinités de l'agent.

2.1.2. Affinités

Elles traduisent les liens (forts ou faibles) de similarité qui vont relier un agent donné et ses voisins ou un de ses voisins sur la même électrode ou sur une autre électrode dans l'enregistrement opéré.

Afin de matérialiser ce lien et compte tenu de la nature (non stationnaire) même d'une observation SEEG avons choisi d'opérer de la manière suivante :

a) Observations associées aux agents

Afin de décrire au mieux la « chronologie » spatio-temporelle de l'observation SEEG. Chaque signal SEEG issu d'un capteur donné et compris dans un intervalle $[0, T]$ est segmenté en plusieurs segments qui peuvent présenter des durées non égales mais inférieures à l'intervalle d'observation $[0, T]$. Mais afin d'éviter une combinatoire trop importante on a choisi d'étudier les différentes mises en relations pour chaque capteur (agent) aux alentours de la décharge paroxystique critique.

L'algorithme de segmentation utilisé est basé sur le rythme du signal SEEG. Cette méthode s'appuie sur l'amplitude et la fréquence du signal. Deux grandeurs essentielles dans l'analyse de l'activité épileptique selon les cliniciens. Il s'agit d'une méthode de segmentation simple et adaptative, basée sur une dérivée moyenne écriée du signal. Cette fonction représente un signal dont la moyenne varie par *paliers* en fonction du rythme du signal sur lequel elle est calculée. La méthode de segmentation va donc utiliser le détecteur de Page-Hinkley [3], appliqué non pas sur le signal, mais sur la courbe de *rythme du signal*, pour repérer les changements de moyenne[4].

b) Analyse des liens entre agents

Pour chaque groupe de 5 agents et pour chacune des régions « accountantes », interne, médian, externe, les segments SEEG obtenus sont ensuite analysés par paire grâce au coefficient d'intercorrélacion non linéaire h^2 qui est défini par :

$$h^2_{X_1 X_2} = \frac{E\{(X_2(t) - E\{X_2(t)\})^2\} - E\{(X_2(t) - f(X_1(t)))^2\}}{E\{(X_2(t) - E\{X_2(t)\})^2\}}$$

où $f(X_1(t))$ est une forme de régression non linéaire et permet de mesurer la similarité – dont l'affinité- linéaire ou non entre deux processus observés $X_1(t)$ et $X_2(t)$ obtenus sur un support temporel borné [5].

On cherche ici à approcher l'espérance conditionnelle E_{X_2/X_1} de l'observation X_2 connaissant X_1 en effectuant dans le plan défini par les deux observations une régression affine par morceaux avec contrainte de continuité de X_2 sur X_1 .

Ce coefficient permet également d'estimer un temps de retard entre X_1 et X_2 et renseigne ainsi sur la direction de la propagation[6].

La combinaison de ces deux premiers « comportements agents » constitue la première étape, essentielle, à la mise en place des deux derniers attributs sociaux de l'agent.

3. Architecture expérimentale SMA.

Dans cette étude, on associe à chaque agent $(a_k)_i$ $k=1$ à 3 ($k=1$ désigne le groupe de 5 agents de la région « interne », $k=2$ pour le groupe de 5 agents de la région « médian » et $k=3$ pour le groupe de la région « externe ») et $i=1$ à 5 , un signal $X_i(t)$, $t = 1..N$, où N représente le nombre total d'échantillons du signal. $X_i(t)$ est un signal obtenu aux alentours de la décharge critique pour chaque agent $(a_k)_i$. Il s'agit d'un signal de recrutement caractérisé par une activité très rapide.

La construction des « premières briques » de l'articulation SMA, conduit à analyser dans chacune des trois régions déterminées, les couples d'associations :

$$(X_i(a_k)_i, X_j(a_k)_j), i, j = 1...5$$

$$i \neq j, k = 1...3$$

La figure 1 illustre sur trois électrodes l'articulation SMA=>SEEG

Ces trois électrodes, ont été implantées dans l'hémisphère droit d'un patient souffrant d'une épilepsie partielle bilatérale ; l'électrode C dans le gyrus temporal moyen, l'électrode D dans le gyrus fusiforme-T2 et l'électrode O dans le gyrus cingulaire postérieur.

Pour caractériser au mieux chacun des signaux $X_i(a_k)_i$, des statistiques locales ont été calculées tant dans le domaine temporelle (moyenne, intercorrélacion

par exemple) que dans le domaine fréquentielle (bande passante, densité spectrale de puissance, moments spectraux d'ordre n).

Sur la figure 1 les flèches verticales indiquent les relations inter-électrodes, dont inter-structures alors que les flèches horizontales renseignent sur les relations intra-électrodes. Les deux blocs « affinités » et « statistiques locales » constituent « l'outil de dialogue » entres agents.

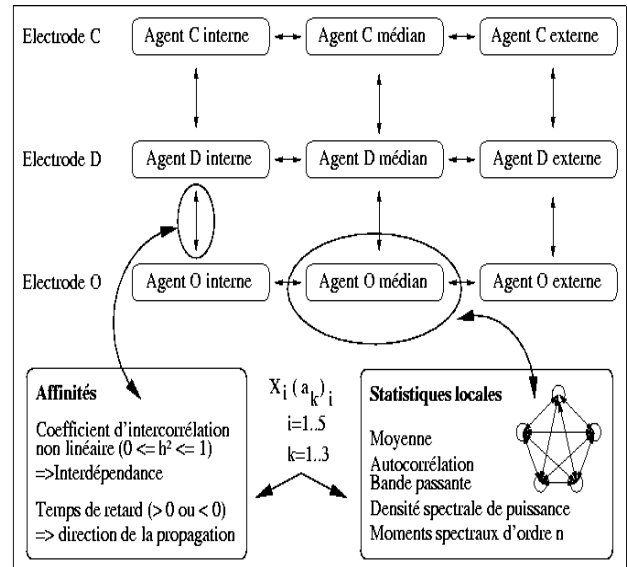


FIG 1 : Articulation SMA=>SEEG

On analyse ensuite grâce au coefficient non linéaire h^2 et ceci par région et par paire les combinaisons $X_i(a_k)_i$, vs $X_j(a_k)_j$.

Lorsque :

i) $h^2 X_i(a_k)_i X_j(a_k)_j < 0$ on dira que l'événement $X_j(t)$ est plus tôt que l'événement $X_i(t)$ avec $i \neq j$.

ii) $h^2 X_i(a_k)_i X_j(a_k)_j > 0$ on dira que l'événement $X_i(t)$ est plus tôt que l'événement $X_j(t)$

iii) $h^2 X_i(a_k)_i X_j(a_k)_j = 0$ on admettra que les deux événements sont synchrones.

Les combinaisons présentant une valeur significative de h^2 , c'est à dire qui s'écarte sensiblement de zéro, seront retenues dans chaque région pour constituer la première « cartographie » du plan des affinités. C'est à dire des régions ou structures fortement liées entre elles et présentant des statistiques locales sensiblement identiques.

4. Résultats préliminaires

Nous présentons ici une partie des premiers résultats obtenues sur des données réelles et sur quelques combinaisons . 3 Combinaisons sur l'électrode C (gyrus temporal moyen) et 3 combinaisons sur l'électrode D et 3

combinaisons sur l'électrode O (gyrus cingulaire postérieur). La longueur totale des échantillons est N=1000, soit 5s de signal échantillonnés à 200HZ. L'instant supposé de la décharge critique a été déterminé aux alentours de la seconde 5 après le début de l'enregistrement SEEG.

Electrode C

	Valeur h^2	Direction
Groupe « Interne »	0.695	>0
Groupe « Median »	0.281	>0
Groupe « Externe »	0.44	>0

Electrode D

	Valeur h^2	Direction
Groupe « Interne »	0.785	>0
Groupe « Mediane »	0.255	<0
Groupe « Externe »	0.416	>0

Electrode O

	Valeur h^2	Direction
Groupe « Interne »	0.353	<0
Groupe « Mediane »	0.158	<0
Groupe « Externe »	0.179	>0

Sur ces tableaux nous montrons que des valeurs significatives pour h^2 sont trouvées en moyenne sur les plots internes. Il apparaît également que la zone médian présente les valeurs de h^2 les plus faibles sur les trois électrodes. Ceci est un éclairage significatif pour la construction du plan d'affinités sur un ensemble de 128 canaux. Il faudrait donc poursuivre l'analyse sur un plus grand nombre de canaux.

5. Conclusion

Nous avons proposé dans cet article une méthodologie originale de segmentation vectorielle. Nous avons mis en évidence les notions d'accointances et d'affinités dans les enregistrements SEEG. La démarche proposée et les premiers résultats obtenus montre qu'on peut espérer aller plus loin dans l'exploitation des techniques SMA pour la description de la propagation de la décharge épileptique. Le fait de pouvoir obtenir un grand nombre d'agents ouvre la voie aux traitements non plus d'une dizaine de voies SEEG comme pour les algorithmes classiques mais d'un nombre important de canaux.(128 par exemple). Il reste à affiner les notions de désirs et de négociation en SEEG pour pouvoir exploiter au mieux la structure SMA développée au LTSI/GRAID. Le projet de segmentation vectorielle à partir des Systèmes Multi-Agents couvre toutes ces questions.

Références

- [1] P. Chauvel. *La zone « épileptogène" chez l'homme représentation des évènements intercritiques par cartes spatio-temporelles.* Revue neurologique: vol 143 no.6 443-450. 1987
- [2] J.-J. Montois. *Contribution à l'émergence de la notion de commande intelligente coopérative : application à la robotique mobile et à l'image.* HDR, Université de Rennes1. 2001
- [3] M. Basseville. *Detection of abrupt changes in signals and dynamical systems.* Lectures notes in Control and Information Sciences vol 77, Series Eds M.Thomas, A Wyner, springer Verlag. 1986.
- [4] F. Wendling *Mise en correspondance d'observations EEG de profondeur pour la reconnaissance de signatures spatio-temporelles dans les crises d'épilepsie .* Thèse, Université de Rennes1. 1996.
- [5] Rao. *Linear Statistical Inference and its Applications.* John Wiley and Sons.1965.
- [6] A .Kinié. *Détection de relations de causalités et estimation de temps de retard en épilepsie.* Thèse, Université de Rennes1, Rennes. 1996