

Analyse fractale de la variabilité temporelle d'oscillations rythmiques

Lemoine Loïc, Kjerstin Torre & Didier Delignières

EA 2991 Efficience et Déficience Motrice

Université Montpellier I

loic.lemoine@univ-montp1.fr

Introduction :

Robertson et al. (1999) montrent, en se basant sur la variance des séries produites, qu'il n'existe pas un timer unique, commun à toutes les activités rythmiques, mais de multiples timers tâche-spécifiques. Delignières, Lemoine et Torre (2004) confortent cette hypothèse, en se basant sur l'analyse spectrale de série d'intervalles temporels produits soit lors d'une tâche de tapping (mouvements discrets) soit lors d'une tâche d'oscillation de l'avant bras (mouvements continus). La figure 1 montre la différence des spectres de puissance obtenus avec une pente positive à haute fréquence pour la tâche de tapping, et une pente négative pour les mouvements continus. Les auteurs mettent en évidence l'existence de deux types de timers : un timer évènementiel, d'origine centrale, borné par des évènements discrets ; un timer dynamique, d'origine périphérique, basé sur la raideur de l'oscillateur.

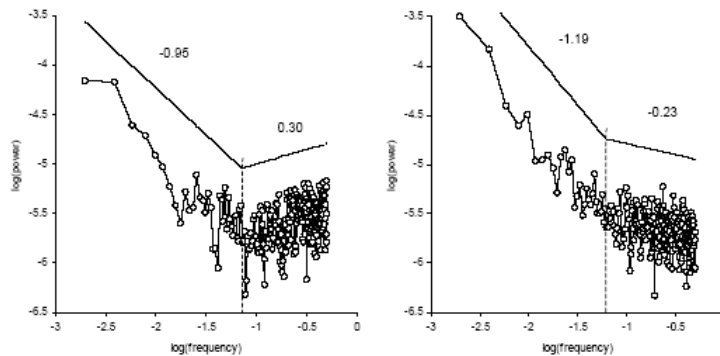


Figure 1 : Spectres de fréquences moyennés obtenus lors d'une tâche de tapping (à gauche) et lors d'une tâche d'oscillation de l'avant-bras (à droite).

Les timers évènementiels ont été largement étudiés. Gilden, Thornton & Mallon (1995) ont montré que les intervalles de temps produits dans les tâches de tapping présentaient des corrélations à long terme caractéristiques des processus fractals, et plus précisément de cette catégorie particulière dénommée bruit $1/f$. Pour comprendre cette fractalité, des études ont procédé à des comparaisons entre des groupes de sujets sains et des groupes de sujets atteints de pathologies chroniques. Ces résultats cependant reposent sur des attendus loin d'être démontrés et notamment que les indices fractals mesurés soient des caractéristiques stables et reproductibles dans des conditions identiques.

Le but de cette étude est d'initier une analyse systématique des timers dynamiques. Il s'agira dans un premier temps d'analyser l'effet de la fréquence d'oscillation sur ce type de timer, et dans un deuxième temps de vérifier que les différents indices mesurés constituent des caractéristiques fiables et reproductibles du fonctionnement des systèmes.

Méthode

13 sujets droitiers ont pris part à 2 sessions espacées de 2 mois. Ils effectuaient une tâche de production d'intervalles temporels par oscillation de l'avant-bras, selon 3 fréquences (2.7, 1.8, et 1.25 Hz), avec deux passages dans chaque fréquence. L'ordre de passage des

fréquences était tiré au sort lors de la première session, et était identique lors des 2 sessions. Des séries de 1024 données étaient collectées à chaque passage.

Deux analyses (power spectrum density analysis et detrended fluctuation analysis) ont été réalisées, dont les résultats ont été moyennés pour chaque passage pour estimer le coefficient α caractéristique de la série. L'analyse spectrale a également permis d'estimer la pente du spectre à haute fréquence. Les coefficients α ont ensuite été moyennés pour les fréquences de passage identiques lors d'une même session (α_F), mais aussi pour toutes les fréquences de passage lors d'une même session (α_S).

Résultats

On peut noter comme premier résultat le comportement fractal des séries étudiées avec un alpha moyen sur toutes les séries de 0.96, très proche du bruit $1/f$. Nous confirmons également l'exploitation d'un timer dynamique, mis en évidence par une pente moyenne à haute fréquence à -0.30. Cependant dans quelques cas, et notamment lors de la première session, les sujets exploitaient un timer événementiel (pente positive à haute fréquence). L'analyse de variance montre un effet fréquence sur le coefficient α , qui tend à diminuer lorsque la fréquence d'oscillation augmente ($F(2,24) = 3.33$, $p < 0.05$). Nous obtenons par ailleurs des corrélations significatives pour les α_F (2.7Hz : $r = 0.58$; 1.8Hz : $r = 0.80$; 1.25Hz : $r = 0.70$), mais aussi pour le α_S ($r = 0.88$). Pour les pentes à haute fréquence l'analyse de variance fait apparaître un effet session ($F(1,12) = 5.38$, $p < 0.05$), mais on observe des corrélations inter-session faibles.

Discussion

Le comportement fractal de ces séries constitue donc un indice fiable et reproductible du comportement des sujets (corrélations significatives). Des comparaisons de groupes peuvent donc être menées sur cet indice. Mais ces résultats montrent aussi l'importance de l'utilisation de plusieurs méthodes pour se rapprocher plus précisément de la valeur « vraie » de l'indice mesuré, ainsi que l'utilisation de la mesure répétée.

Le second résultat réside dans l'effet de la fréquence d'oscillation. On peut noter l'absence d'effet sur les pentes à haute fréquence, qui tendent quand même à croître avec la fréquence d'oscillation. On s'accorde alors à dire que l'effet fréquence obtenu sur le coefficient α provient d'une augmentation de la part relative du bruit avec la diminution de la fréquence d'oscillation. L'absence de corrélations (faibles) au niveau des pentes à haute fréquence peut s'expliquer ici par l'effet session et l'exploitation d'un timer événementiel et central quand la tâche était difficile, et donc moins exploité avec la diminution de la fréquence d'oscillation et lors de la seconde session où les sujets étaient habitués à la tâche.

Références

- Delignières, D., Lemoine, L., & Torre, K. (2004). Time intervals production in tapping and oscillatory motion. *Human Movement Science*, 23, 87-103.
- Gilden, D.L., Thornton, T. & Mallon, M.W. (1995). $1/f$ noise in human cognition. *Science*, 267, 1837-1839.
- Robertson, S. D., Zelaznik, H. N., Lantero, D. A., Bojczyk, K. G., Spencer, R. M., Doffin, J. G. & Schneidt, T. (1999). Correlations for timing consistency among tapping and drawing tasks: evidence against a single timing process for motor control. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 25(5), 1316-1330.