

MODÈLES MIXTES FONCTIONNELS POUR DES DONNÉES DE MOUSE-TRACKING

Emilie Devijver ¹ & Jean-Charles Quinton ² & Adeline Samson ² & Annique Smeding ³

¹ *Department of Mathematics and Leuven Statistics Research Center, Katholieke
Universiteit Leuven, Belgium, emilie.devijver@kuleuven.be*

² *Laboratoire Jean Kuntzman, Université Grenoble Alpes, France*

³ *Laboratoire InterUniversitaire de Psychologie : Personnalité, Cognition, Changement
Social, Université Savoie Mont Blanc, France*

Résumé. Dans cet exposé, on propose une méthode pour analyser des données de trace de souris d'ordinateur suite à des tests cognitifs faits sur plusieurs individus. Le modèle tient compte de la nature fonctionnelle des données en projetant la trajectoire sur une base de splines. De plus, on modélise les différentes variabilités avec un modèle mixte linéaire, pour tenir compte des variabilités intra-individus, inter-individus, et intra-essais. La méthode est basée sur l'analyse d'un jeu de données, où les tests ont été effectués sur des enfants martiniquais.

Mots-clés. Données fonctionnels, modèle à effets mixtes, mouvement de souris

Abstract. In this talk, we will propose a procedure to analyze mouse-tracking data corresponding to cognitive processes. As those data are functional, we project them onto a spline basis. Moreover, we take into account the several variabilities by considering a mixed effect linear model on those projected coefficients. The procedure is based on the analysis of a dataset where the experiences have been done on children.

Keywords. Functional data, mixed effect model, mouse-tracking

1 Introduction

Nous travaillons dans ce projet sur un jeu de données de psychologie sociale, dont le but est de comprendre les mécanismes cognitifs liés aux associations implicites (par exemple les préjugés ou stéréotypes). Il a été montré que le comportement moteur peut refléter les processus cognitifs sous-jacents [1,2]. En particulier dans le cas de tâches informatisées, on peut exploiter les mouvements continus de la main lorsqu'elle est employée pour bouger une souris d'ordinateur sur des tâches de prise de décision dynamique (choix à réaliser en cliquant sur une cible parmi plusieurs). Les données considérées sont donc les mouvements d'une souris d'ordinateur, avec les coordonnées sur l'écran enregistrées à travers le temps. C'est un moyen très peu coûteux et non invasif d'accès à des processus dits implicites (telles que l'EEG ou l'IRMf), mais aussi à des données de mouvement (qui requièrent sinon des dispositifs de capture complexes).

2 Le jeu de données considéré

Un exemple d'expérience est le suivant. On considère une banque de visages d'hommes générés numériquement (via une fonction de morphing), retravaillés pour avoir une échelle entre un visage 'blanc' et un visage 'noir', ainsi qu'une banque de phrases prononcées dans plusieurs langues (français, créole, japonais). L'expérience est constituée d'une série d'essais, et un visage est affiché en même temps qu'une phrase est énoncée pour chaque essai. On demande à des enfants martiniquais de maternelle, parlant français et créole chez eux, ou seulement français, de choisir sur un ordinateur si le visage est plutôt 'blanc' ou 'noir'. On cherche alors à comprendre l'influence du stimulus (visage et langue entendue) ainsi que du milieu social (par exemple la langue maternelle) dans la réponse.

Ces données de mouse-tracking sont fonctionnelles, dépendant du temps et à valeurs dans le plan. Dans la littérature, cet aspect fonctionnel n'est pas pris en compte, parce que ce sont des objets compliqués à étudier. À la place, les spécialistes modélisent l'aire sous la trajectoire de la souris (AUC), et expliquent les variabilités pour cette AUC. Cependant, cette simplification des données ne permet pas de prendre en compte toute leur richesse et complexité. Déjà, il est facile d'imaginer deux processus cognitifs (et donc deux mouvements de souris dans le plan) très différents qui amèneraient une même AUC. Ensuite, avec la modélisation temporelle, on va être capable de localiser dans le temps les plus fortes variabilités et influences associées.

On a d'abord procédé à un prétraitement pour éliminer les comportements atypiques (les personnes qui mettent trop de temps à répondre par exemple). Comme l'utilisateur doit choisir parmi deux réponses, situées en haut à gauche et en haut à droite de l'écran, on se focalise sur les coordonnées des abscisses, qui contiennent la majeure partie de l'information.

Comme on peut le voir dans la Figure 1, les courbes sont très variables : elles dépendent bien sûr de l'enfant (et donc de son milieu social), mais aussi du visage observé (qui est une interpolation entre un visage noir et un visage blanc, via une fonction de morphing, il n'y a donc pas de réponse correcte dans l'absolu), de la phrase prononcée (contenu et langue dans laquelle elle a été prononcée). La complexité de ces données vient de la présence de facteurs incidents (les consignes demandent de catégoriser le visage, sans tenir compte de ce qui est prononcé), mais surtout des différentes sources de variabilités présentes dans l'expérience (inter-individuelles, intra-individuelles, inter-essais, ...). Nous les avons décrites avec des effets aléatoires. On utilise donc un modèle mixte fonctionnel pour prendre en compte toute l'information disponible dans le mouvement de la souris. De plus, notre approche fonctionnelle permet de représenter chacun des effets, comme par exemple la réponse en fonction de l'effet du morphing, ce qui permet de comprendre les processus cognitifs sous-jacents.

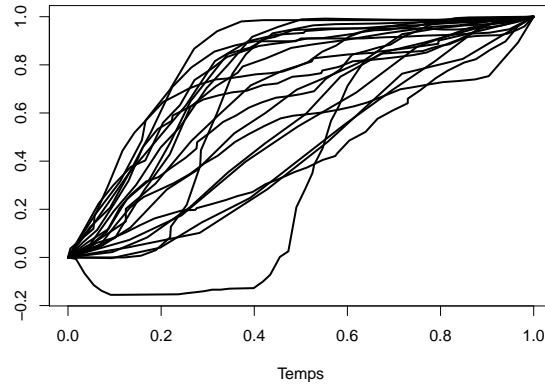


Figure 1: Échantillon de 20 courbes de mouvement de souris. On a représenté ici l'abscisse du mouvement, on ne tient donc pas compte de la réponse (qui est située en haut à gauche et en haut à droite de l'écran).

3 Le modèle

Chaque trajectoire (on s'est restreint à l'abscisse du mouvement) est projetée sur une base de splines. Ainsi, plutôt que de se focaliser sur des courbes y_i observées aux points $(t_{i,j})_{1 \leq j \leq T_i, 1 \leq i \leq n}$, on regarde l'approximation de ces signaux $\mathbf{y}_i \in \mathbb{R}^p$ sur une base de splines évaluée en p points. Préalablement, les points observés ont été reparamétrés pour couvrir l'intervalle $[0, 1]$.

Alors, on propose d'utiliser le modèle suivant

$$\boldsymbol{\alpha}_i^y = \boldsymbol{\alpha}^\mu + \boldsymbol{\alpha}_i^U + \boldsymbol{\alpha}_j^m + \boldsymbol{\alpha}_u^r + \boldsymbol{\alpha}_{j,u}^{i^{m,r}} + \boldsymbol{\alpha}_k^T + \boldsymbol{\alpha}_l^F + \boldsymbol{\alpha}_s^S + \boldsymbol{\varepsilon}_{i,j,k,l,s} \quad (1)$$

où on a décomposé le signal comme la somme de différents effets :

- une courbe moyenne μ , et ses coefficients sur la base de splines $\boldsymbol{\alpha}^\mu$,
- un effet aléatoire par enfant, noté U_i pour l'individu i , supposé gaussien, centré, et de matrice de covariance diagonale Σ^U , et ses coefficients sur la base de splines $\boldsymbol{\alpha}_i^U$,
- un effet fixe sur le morphing, noté m_j pour le niveau $j \in \{0, \dots, 4\}$, et ses coefficients sur la base de splines $\boldsymbol{\alpha}_j^m$,
- un effet aléatoire sur la langue parlée noté T_k , avec $k \in \{1, 2, 3\}$, supposé gaussien, centré et de matrice de covariance diagonale Σ^T , et ses coefficients sur la base de splines $\boldsymbol{\alpha}_k^T$,
- un effet aléatoire sur le visage observé, noté F_l pour le visage $l \in \{1, 2, 3\}$, supposé gaussien, centré et de matrice de covariance diagonale Σ^F , et ses coefficients sur la base de splines $\boldsymbol{\alpha}_l^F$,

- un effet aléatoire sur la phrase énoncée, noté S_s pour la phrase s , supposé gaussien, centré et de matrice de covariance diagonale Σ^S , et ses coefficients sur la base de splines α_s^S ,
- un effet fixe sur la réponse, noté r_u , où u correspond à chaque réponse, et ses coefficients sur la base de splines α_u^r ,
- un terme d'interaction entre le morphing et la réponse, noté $i_{j,u}^{m,r}$ et supposé fixe, et ses coefficients sur la base de splines $\alpha^{j^{m,r}}$.

On testera l'importance des effets et on proposera des critères graphiques pour interpréter leur valeur.

Bibliographie

- [1] J. B. Freeman et N. Ambady. *Mousetracker: Software for studying real-time mental processing using a computer mouse-tracking method*, Behavior Research Methods, 42(1):226–241, 2010.
- [2] M. J. Spivey, M. Grosjean, et G. Knoblich. *Continuous attraction toward phonological competitors*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102(29):10393–10398, 2005.