

Contrôle feedback optimal : application au contrôle de la parole.

Contact : Pascal.Perrier@gipsa-lab.fr Pierre.Baraduc@gipsa-lab.fr

Le contexte

La production de la parole est une tâche qui nécessite une grande dextérité. Certains sons, comme le /i/, le /s/ ou le // nécessitent un positionnement très précis de la langue dans l'espace buccal au cours du temps. Pourtant, sauf situation pathologique, chaque humain est capable de cette tâche motrice, depuis son plus jeune âge (1 an pour les premiers mots) jusqu'à un âge très avancé. Cette tâche peut aussi être exécutée avec précision dans des conditions très variables : en marchant, en courant, en sautant, en mangeant... Cette précision et cette stabilité sont probablement assurées en partie par les propriétés physiques et physiologiques de l'appareil de production de la parole (langue, mandibule, lèvres, plis vocaux), mais elles seules ne suffisent pas à expliquer toutes les situations d'adaptation observées. Par ailleurs, la parole est une tâche très rapide, dont les transitions entre sons peuvent être de l'ordre de quelques dizaines de millisecondes, alors même que le traitement des retours sensoriels, auditifs et somatosensoriels, par le cortex est de l'ordre d'une centaine de millisecondes. Le contrôle précis de la production de la parole ne peut donc pas s'appuyer exclusivement sur un contrôle de type feedback qui se baserait uniquement sur les signaux d'erreur entre les objectifs de la production de la parole et les signaux effectivement produits.

Dans ce contexte les propositions faites pour le contrôle moteur autour de l'hypothèse d'un contrôle feedback optimal (Todorov et Jordan, 2002) semble une piste intéressante. Le principe du contrôle feedback optimal consiste à prendre en compte (1) les retours sensoriels avec leur retard, (2) des prédictions de l'état effectif instantané du système de production à l'aide d'un modèle interne de ce système dans le cerveau, et (3) des principes de minimisation de l'effort pour assurer la stabilité de la tâche et la correction des commandes motrices dans le cas d'un choix initial inapproprié des commandes motrices ou dans le cas de perturbations externes inattendues.

L'objectif du travail dans le cadre du master sera d'implémenter et tester une partie des briques de ce qui sera ensuite une première version d'un tel contrôle pour la production de la parole. Ce stage viendra à la suite d'une thèse en sciences cognitives (à soutenir au premier trimestre 2017) qui a étudié les possibilités de traitements de perturbations soudaines de la production de la parole, sans pour autant se placer dans le cadre du contrôle feedback optimal. Ce stage pourra ensuite donner lieu à une thèse se focalisant, selon les intérêts scientifiques du candidat, plutôt sur les aspects de contrôle optimal ou plutôt sur les aspects liés à la prise en compte d'un feedback dans le schéma général du contrôle en temps réel de la parole.

Programme de travail

L'hypothèse d'un contrôle feedback optimal sera testée sur le contrôle d'un modèle biomécanique de la langue qui produit des mouvements d'articulation à partir des commandes motrices envoyées aux principaux muscles linguaux. Ce modèle est couplé à un modèle acoustique qui permet de calculer les caractéristiques spectrales du signal de parole associé aux mouvements de la langue, caractéristiques pertinentes pour le système perceptif de l'auditeur. Un grand nombre de simulations (environ 20000) a été réalisé, qui

permet de caractériser les relations entre commandes motrices, déplacement de la langue et caractéristiques spectrales du signal de parole.

Dans une phase préparatoire, avant l'arrivée au laboratoire, une courte étude bibliographique permettra de se familiariser avec les concepts et la structure d'un système de contrôle stochastique feedback optimal. Le stage proprement dit débutera avec construction en Matlab un code d'optimisation pour un modèle linéaire de la langue dérivé des simulations biomécaniques. On cherchera à tester progressivement des modèles de complexité croissante.

Une première étape se centrera sur l'optimisation de l'effort (ou de la variabilité puisqu'elle en est étroitement dépendante) dans un modèle purement en boucle ouverte, selon le principe décrit par Harris & Wolpert (1998). On dérivera ainsi des trajectoires articulaires dont on étudiera la dépendance aux caractéristiques biomécaniques de l'articulateur ainsi qu'au contexte (co-articulation).

Dans une deuxième étape, on rajoutera un étage d'estimation optimale des retours sensoriels, auditifs et proprioceptifs, pour obtenir un système en boucle fermée. Ceci permettra de tester l'effet de perturbations du retour auditif ou de perturbations mécaniques de la langue. On cherchera en particulier à caractériser l'impact de la fiabilité (bruit) et du retard des signaux sensoriels, ainsi que l'impact d'éventuels biais dans l'anticipation par le cerveau des conséquences sensorielles des commandes motrices. Enfin, les prédictions de ce modèle de contrôle stochastique feedback optimal seront confrontées aux données de la littérature expérimentale sur la compensation de perturbations inattendues de la production de la parole, et serviront à guider de futures expériences.

Références

Todorov, E., & Jordan, M. I. (2002). Optimal feedback control as a theory of motor coordination. *Nature neuroscience*, 5(11), 1226-1235.

Wolpert, D. M., Miall, R. C., & Kawato, M. (1998). Internal models in the cerebellum. *Trends in cognitive sciences*, 2(9), 338-347.

Harris C., Wolpert, D.M. (1998) Signal-dependent noise determines motor planning. *Nature*, 394 (6695) 780-784