

MASTER Sciences Cognitives - 2018-2019

Deep Tongue : parole et contrôle prédictif des mouvements de la langue par le cerveau

Résumé

On peut parler en courant, en sautillant, la tête en bas ou en mâchouillant un chewing-gum, autant d'activités qui sont de nature à perturber le comportement dynamique des articulateurs de la parole. D'où vient cette étonnante robustesse aux perturbations ? Le stage cherche à répondre à cette question par un travail de modélisation. L'objectif sera de proposer une explication de la façon dont le cerveau humain produit la parole dans des conditions dynamiques variées, et de rendre compte des résultats expérimentaux obtenus dans ce domaine. On testera l'idée que le cerveau utilise un modèle du comportement dynamique des articulateurs de la parole pour en prédire à tout instant la position, et intègre en temps réel cette information prédite et l'information sensorielle bruitée et retardée pour assurer la bonne précision de la prononciation des sons en toute circonstance. Tout cela pouvant être fait en respectant des contraintes de minimisation de l'effort.

Contexte

La production de la parole est une tâche qui requiert 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 jusqu'à un âge très avancé. Cette tâche peut être exécutée avec précision dans des conditions très variables : en marchant, courant ou sautant, en mangeant, allongé ou debout, en apesanteur... 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 des retards de plusieurs dizaines de millisecondes affectent l'acheminement des signaux sensoriels et moteurs, ainsi que leur traitement cérébral. Ce retard dans la boucle « action-retour sensoriel » ne permet pas que le contrôle précis de la production de la parole puisse se baser exclusivement sur un contrôle de type feedback, qui chercherait à annuler l'écart entre les signaux de parole que l'on souhaite produire et ceux qui sont effectivement produits. Le contrôle de la parole nécessite donc une forme de prédiction des conséquences sensorielles de l'action, en fonction des caractéristiques de l'environnement et de la possibilité de perturbations.

C'est pourquoi nous faisons l'hypothèse que, pour produire une phrase, le cerveau met en jeu un modèle du comportement dynamique des articulateurs de la parole qui prédit leur état en fonction des conditions dans lesquelles on parle. Ceci lui permettrait de contrôler la trajectoire complexe de ces articulateurs de manière stable malgré des retours sensoriels retardés. Mais quels mécanismes met-il alors en jeu pour ce contrôle ?

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 et leur imprécision, (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 d'un coût (effort, imprécision...) 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. Une solution formelle à ce problème a été démontrée dans un cas simple.

L'objectif du travail dans le cadre du master sera d'explorer les prédictions d'un tel modèle en fonction des hypothèses formulées sur le coût à minimiser et l'imprécision des signaux sensorimoteurs. En fonction de l'aisance mathématique du candidat, celui-ci pourra tester des formulations plus ou moins complexes du contrôle optimal. Ce stage vient à la suite d'une thèse en sciences cognitives (soutenue début 2018) qui a étudié les possibilités de traitements de perturbations soudaines de la production de la parole, et d'une étude présentée à la *Society for Neuroscience* (2017). 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 du feedback de la parole en temps réel, et combinant à la modélisation des aspects expérimentaux.

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 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. Dans une phase préparatoire, avant l'arrivée au laboratoire, une courte étude bibliographique permettra de se familiariser avec les concepts et la structure des systèmes de contrôle optimal classiques. Au début du stage, l'étudiant sera guidé dans sa compréhension du code Matlab déjà développé au laboratoire pour calculer rapidement une approximation linéaire du modèle de langue dérivée des simulations, et tester un modèle de contrôle optimal simple. Ensuite, on cherchera à raffiner ce modèle, à en explorer le potentiel prédictif, et à tester d'autres principes de contrôle de complexité supérieure.

A partir des travaux actuels (Baraduc & Perrier 2017), qui testent le principe de minimisation d'effort (Guigon et al. 2008), on améliorera la modélisation des retours sensoriels, auditifs et proprioceptifs, et on développera la simulation pour explorer la variabilité du système en fonction des hypothèses sur la variabilité des signaux physiologiques. Ceci permettra de tester l'effet de perturbations du retour auditif ou de perturbations mécaniques de la langue. On cherchera à caractériser l'impact de la fiabilité (bruit) et du retard de ces signaux. Les prédictions de ces modèles de contrôle feedback optimal seront confrontées aux données de la littérature expérimentale sur la compensation de perturbations inattendues de la production de la parole.

Contacts

Pascal Perrier, PR Grenoble-INP, Pascal.Perrier@gipsa-lab.fr, 04 76 57 48 25

Pierre Baraduc, CR CNRS, Pierre.Baraduc@gipsa-lab.fr, 04 76 82 71 50

Financements

Indemnités de stage financées (projet BOSCOPP).

Références Bibliographiques

Todorov E, Jordan MI (2002). Optimal feedback control as a theory of motor coordination. *Nat Neurosci*, 5(11):1226-1235.

Guigon E, Baraduc P (2008). Optimality, stochasticity, and variability in motor behavior. *J Comput Neurosci*. 24(1):57-68.

Baraduc P, Perrier P (2017) Motor control of the tongue during speech: predictions of an optimization policy under sensorimotor noise. *Society for Neuroscience Annual Meeting, Washington, USA, and Speech Units Workshop: Perceptuo-motor relationships in speech communication, Geneva, Switzerland* (2018).