

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE DE SAVOIE

pour obtenir

le grade de DOCTEUR

discipline : Electronique - Electrotechnique - Automatique

par

M. Thomas ALLEVARD

le 07 juillet 2005

Représentation symbolique de la configuration
de la main - application à la reconnaissance de signes
et au contrôle d'un robot mobile

Préparée au LISTIC

Laboratoire d'Informatique, Systèmes, Traitement de l'Information et de la Connaissance

COMPOSITION DU JURY

M. Patrick MILLOT	Président
M ^{me} Bernadette BOUCHON-MEUNIER	Rapporteur
M. Patrice DALLE	Rapporteur
M. Michel de MATHELIN	Examineur
M. Laurent FOULLOY	Directeur de thèse
M. Eric BENOIT	Codirecteur de thèse

Conclusion

Dans ce travail, nous avons construit une description symbolique de la configuration de la main et défini des méthodes de traitement de cette information symbolique qui nous ont permis de reconnaître des signes statiques et dynamiques ainsi que de contrôler un robot mobile avec le geste de la main. Les contributions apportées dans ce travail sont de plusieurs ordres.

Une première contribution d'ordre bibliographique est la revue des systèmes intrusifs de mesure du geste manuel dans le chapitre 1. Les principales caractéristiques de ce geste ont été rappelées dans ce même chapitre. Nous nous sommes concentrés sur les systèmes de localisation de la main dans l'espace et de mesure de sa configuration. Nous avons également mentionné les principes de mesure du geste par les systèmes de vision, sans toutefois présenter les différents systèmes existant. Cette revue nous a permis de souligner la diversité des technologies utilisées pour cette mesure, plus particulièrement de celles mises en oeuvre dans les gants numériques. Elle a également permis de situer le Cyberglove que nous avons utilisé par rapport aux autres technologies existantes.

L'autre apport d'ordre bibliographique se trouve dans le chapitre 2 où nous avons référencé et détaillé les principales méthodes envisagées dans la littérature pour la reconnaissance de signes statiques ainsi que de signes dynamiques. Nous nous sommes particulièrement attachés à la description des méthodes de classification. Nous avons, là encore, pu souligner la diversité de ces méthodes que nous avons tenté de répertorier selon les approches utilisées. Nous avons fourni les performances des différents systèmes de

reconnaissance, en soulignant toutefois la difficulté qui se pose lorsque l'on veut comparer ces performances. En effet, la variété des gestes étudiés et des systèmes de mesure utilisés contribue au manque de données de référence telles qu'on en trouve en général pour d'autres problèmes de classification.

Des contributions d'ordre théorique ont été apportées principalement au chapitre 3, dans lequel nous avons tout d'abord fait une présentation détaillée du formalisme des symbolisations et plus particulièrement des ϕ -symbolisations que nous avons introduites. Ce formalisme rassemble dans un cadre cohérent différents travaux portant sur la conversion numérique-symbolique. Trois processus complémentaires de construction de ces symbolisations ont été proposés et les bases de règles ont été introduites comme une représentation particulière d'un de ces trois processus. Dans ce chapitre 3, on trouve également une étude détaillée d'une famille particulière de relations, les relations $(\perp - T^*)$. Après un bref rappel sur les relations d'équivalences floues et leur rapport à certaines métriques généralisées, nous avons présenté plusieurs résultats concernant ces relations particulières. Nous avons enfin introduit un nouvel opérateur de distance entre descriptions floues issues d'une *Id*-symbolisation. Cet opérateur, appelé distance du transport, permet de généraliser aux descriptions floues une métrique définie sur les symboles. Elle est une extension directe de la distance associée à la relation d'égalité floue $(\perp_L - T_M)$ puisque ces deux distances sont égales lorsque la métrique définie sur les symboles est la métrique discrète.

On trouve une autre contribution d'ordre théorique dans le chapitre 6, concernant le problème de la défuzzification symbolique qui est l'une des deux défuzzifications mises en évidence par la typologie des contrôleurs flous. La méthode des hauteurs est généralement utilisée pour cette défuzzification, mais nous avons vu que cette méthode présente plusieurs limitations et avons proposé une nouvelle méthode de défuzzification, basée sur l'utilisation de la distance du transport.

Enfin, nous avons apporté des contributions d'ordre plus technique, notamment dans le chapitre 4 où nous avons proposé une description lexicale de la configuration de la main et construit neuf symbolisations, utilisant quatre ensembles lexicaux. Cette description s'est révélée pertinente dans le sens où elle a permis de reconnaître efficacement des signes statiques, des signes dynamiques et qu'elle a également pu être utilisée pour la génération d'actions graduelles. Dans la reconnaissance des signes dynamiques, nous avons, en outre, proposé une nouvelle méthode de normalisation temporelle basée uniquement sur le calcul de distances entre postures ainsi qu'une méthode permettant de construire une métrique sur un ensemble de symboles d'une *Id*-symbolisation construite selon les trois processus introduits au chapitre 3. Enfin, nous avons mis en oeuvre un système de commande d'un robot mobile par le geste de la main, utilisant des commandes graduelles.

Ce travail ouvre de nombreuses perspectives, également d'ordres différents. Concernant les perspectives d'ordre théorique, nous avons déjà mentionné, en conclusion du chapitre 3, l'intérêt qu'il y aurait à pouvoir identifier un symbole s avec le singleton $\{s\}$, ces deux objets

ayant la même signification dans une symbolisation. Une solution serait à terme de construire le formalisme des symbolisations sur la base de la méréologie plutôt que la théorie des ensembles. A plus court terme, certaines conjectures ont été émises concernant les relations $(\perp - T^*)$ autres que $(\perp_L - T_M)$. Il reste à confirmer ou infirmer ces conjectures, le premier cas permettrait alors de disposer d'une relation d'égalité floue pour les ϕ -symbolisations en général et pas seulement pour les *Id*-symbolisations. Ce travail de généralisation aux ϕ -symbolisations doit également être effectué pour la distance du transport qui n'est aujourd'hui applicable qu'aux descriptions floues issues d'*Id*-symbolisations.

Une autre perspective théorique, à court terme, serait de travailler à la définition d'une défuzzification symbolique basée sur la distance du transport qui soit une extension directe de la méthode des hauteurs. Une telle défuzzification symbolique devrait se réduire à la méthode des hauteurs lorsque la métrique discrète est définie sur les symboles, ce qui n'est aujourd'hui pas le cas.

Nous avons également rencontré dans le chapitre 5 une limitation concernant la définition du signe *M*. Il faudra donc étendre le formalisme des symbolisations pour pouvoir lever cette limitation et permettre la définition de signes statiques faisant intervenir des contraintes de similarité.

D'autres perspectives, d'ordre technique sont bien sûr envisageables. Les neuf symbolisations ont été construites manuellement, il serait intéressant de développer des algorithmes d'apprentissage automatique des significations permettant d'adapter rapidement le système à un nouvel utilisateur, tout comme il serait intéressant d'envisager d'autres symbolisations pour la description de la main, par exemple inspirées des systèmes de notation des signes HamNoSys et SignWriting. Concernant la reconnaissance de signes dynamiques, des modèles de Markov capables de traiter des données discrètes floues pourraient être appliqués pour la comparaison dynamique des signes. Enfin, bien d'autres types d'actions graduelles pourraient être envisagés et il serait intéressant d'étudier l'apport que peut représenter la nouvelle méthode de défuzzification symbolique pour d'autres systèmes à base de contrôleurs flous.

Enfin, ce système de description de la configuration de la main pourra être intégré dans un système plus global, faisant intervenir d'autres types de mesures, tels qu'un système de localisation de la main ou une caméra permettant d'analyser la posture générale de l'opérateur. L'approche symbolique utilisée ici permettra de simplifier la fusion de données hétérogènes provenant des différents capteurs et de nous acheminer vers la construction d'un système d'interaction homme-machine multi-modal.