



HAL
open science

Le Leap Motion Controller : de la souris gestuelle à la commande gestuelle

Jean-Marc Vannobel, Marie-Hélène Bekaert, Jean Baumann

► **To cite this version:**

Jean-Marc Vannobel, Marie-Hélène Bekaert, Jean Baumann. Le Leap Motion Controller : de la souris gestuelle à la commande gestuelle : Deux études de faisabilité. 12ème édition du congrès HANDICAP 2022, IFRATH, Jun 2022, Paris, France. pp.75-80. hal-03954654

HAL Id: hal-03954654

<https://hal.science/hal-03954654>

Submitted on 15 Feb 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright



HAL
open science

Le Leap Motion Controller : de la souris gestuelle à la commande gestuelle Deux études de faisabilité

Marie-Hélène Bekaert, Jean Baumann, Jean-Marc Vannobel

► To cite this version:

Marie-Hélène Bekaert, Jean Baumann, Jean-Marc Vannobel. Le Leap Motion Controller : de la souris gestuelle à la commande gestuelle Deux études de faisabilité. HANDICAP 2022, IFRATH, Jun 2022, Paris, France. hal-03954654

HAL Id: hal-03954654

<https://hal.science/hal-03954654>

Submitted on 24 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

Le Leap Motion Controller : de la souris gestuelle à la commande gestuelle

Deux études de faisabilité

Jean-Marc Vannobel¹, Marie-Hélène Bekaert¹, Jean Baumann¹

¹Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, UMR 9189 CRISAL,
F-59000 Lille, France
jean-marc.vannobel@univ-lille.fr

Résumé—Le Leap Motion Controller, petit périphérique de capture des mouvements de la main, a depuis son apparition sur le marché en 2013 fait l'objet de nombreuses études en particulier dans le domaine du handicap, du diagnostic ou de la rééducation fonctionnelle. Cet article présente deux études préliminaires sur l'utilisation de ce périphérique comme souris gestuelle puis comme commande gestuelle. Si le Leap Motion Controller se montre simple à mettre en œuvre, son manque de précision dans certaines configurations de geste et de fiabilité (données aberrantes) est certes un frein mais qui pourrait être levé dans le cadre d'une interaction multimodale.

Mots-clés—Technologie d'assistance, Souris gestuelle, Communication gestuelle, Leap Motion, Réseaux de Neurones Convolutifs.

I. Introduction

Si l'interaction entre l'humain et la machine se fait aujourd'hui communément au travers d'une interface utilisateur graphique (GUI) et de dispositifs de saisie (clavier) et de pointage (souris), l'arrivée du *smartphone* a permis de démocratiser un autre mode d'interaction certes toujours constitué d'une GUI mais directement pilotée à l'aide d'un stylet ou des doigts via un écran tactile [1]. Comparativement à la souris dont les qualités sont indéniables mais qui ne va pas sans poser de problèmes d'utilisation et qui peut même être utilisée sans faire appel aux boutons [2], une interaction tactile permet de réaliser facilement du scrolling en continu, une action de zoom et même de dessiner de façon plus naturelle.

Les interfaces sans contact constituent encore un autre mode d'interaction possible avec la machine. Dans le cadre de la domotique ou d'applications à destination des personnes âgées, des personnes en situation de handicap ou non habituées à l'ordinateur, pour des questions d'hygiène ou encore de sécurité sinon de communication au travers d'une langue naturelle, il est possible aujourd'hui de piloter un dispositif par le regard [3], par la voix [4] ou par le geste [5] [6].

Dans cet article, nous nous focalisons exclusivement sur l'interaction gestuelle, et plus particulièrement sur l'utilisation d'un dispositif de capture des mouvements de la main, le Leap Motion Controller (LMC). Après une première partie

consacrée à la présentation du LMC, nous proposons un rapide survol des utilisations référencées du LMC comme technologie d'assistance puis nous présentons deux études de faisabilité en vue de réaliser une interaction humain-machine gestuelle. Ces études ont été réalisées dans un environnement MS Windows à l'occasion d'un stage d'initiation à la recherche.

Devant les difficultés parfois rencontrées par certaines personnes (très jeunes, âgées ou en situation de handicap) à utiliser la souris de l'ordinateur, la première étude envisage la possibilité d'utiliser un LMC sur un ordinateur de type PC en remplacement de celle-ci. L'objectif est de permettre une interaction humain-machine plus naturelle. Un deuxième élément de notre cahier des charges, logiciel cette fois-ci, est de permettre une intégration facile du Leap Motion Controller dans l'environnement MS Windows, transparente vis-à-vis des logiciels utilisés.

Lors de notre deuxième étude, nous avons évalué la faisabilité d'utiliser le LMC en tant que périphérique de capture de gestes significatifs et ceci à des fins d'assistance à la personne.

II. Le Leap Motion Controller

A. Description

Proposé par Ultraleap [7], le LMC est un périphérique de capture des mouvements des mains que l'on trouve habituellement dans des environnements de Réalité Virtuelle [8]. Son intérêt principal réside dans sa capacité à proposer un traitement de l'information interne au boîtier qui renvoie à l'ordinateur un ensemble d'informations caractérisant les mains (orientation, coordonnées de la paume et des articulations...). Cela est illustré Fig. 1 et se fait depuis deux caméras infrarouges ($\lambda=850\text{nm}$) identiques intégrées au LMC. Séparées de 40mm selon l'axe x, ces caméras ont une définition de 640x240 pixels et prennent des vues en stéréovision de la scène d'intérêt à une fréquence paramétrable de 20 à 200 images par seconde, une scène qui se profile comme une pyramide inversée de 140x120° (Fig. 2).

Le LMC se connecte par USB au système de traitement qui pourra fonctionner sous Windows 7+, Mac OS X 10.7+ et

Linux (Ubuntu 12). Des kits de développement [9] permettent d'exploiter le potentiel du LEAP Motion Controller dans différents langages de programmation et en particulier le C++ pour la version 4 du SDK. Enfin, le LMC est également compatible avec les environnements 3D Unreal Engine et Unity.



Fig. 1. Dispositif de capture des mains Leap Motion et rendu graphique des points d'intérêt (d'après ultraleap.com).

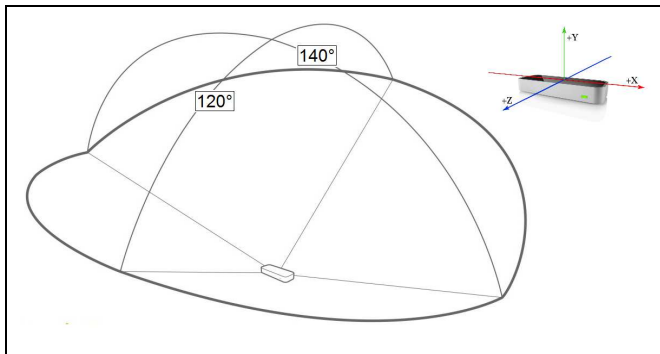


Fig. 2. Champ de mesure du LMC de 140° selon l'axe x et de 120° selon l'axe z (d'après ultraleap.com)

B. Robustesse : faiblesses et limitations du LEAP Motion Controller

Tout comme le Kinect de Microsoft qui n'est plus commercialisé, le LMC d'Ultraleap permet de détecter les mouvements des mains [10]. Une première limitation que l'on peut évoquer est que le Kinect permettait de faire des détections à l'intérieur d'une pièce quand le LMC ne dispose d'une distance de détection que de quelques dizaines de centimètres mais cela avec une précision 200 fois plus élevée.

Si de prime abord le LMC semble bien adapté à une interaction en langue des signes [11], [12], dans [13] Potter *et al.* ont pointé les faiblesses et limitations du LMC pour une telle utilisation car malgré une résolution du capteur inférieure à 1mm telle qu'annoncée par le constructeur, les auteurs insistent sur l'imprécision et le manque de fiabilité des mesures. A la décharge d'Ultraleap, contrairement aux informations fournies par les gants de données (*datagloves*) au prix d'une instrumentation de la main de l'utilisateur et d'une perte de liberté de mouvement [14], le LMC reconstruit les données de la main uniquement à partir des images capturées par ses caméras. Une imprécision inhérente aux algorithmes

de traitement d'image mis en œuvre et aux hypothèses de calcul apparaît donc.

Lors de la prise en main du matériel, nous avons à notre tour et comme Potter *et al.* [13], assez rapidement pu observer l'imprécision de la position renvoyée pour l'extrémité des doigts. De façon plus gênante en présence d'un expérimentateur pianiste confirmé et capable de réaliser une indépendance de mouvement de l'index, du majeur et de l'annulaire, nous avons constaté que les algorithmes d'Ultraleap ne respectaient pas la configuration manuelle réelle et qu'ils s'imposaient une dépendance de mouvement de ces trois doigts. Déjà en 2013, Silva *et al.* [15] indiquaient dans leur étude qu'en demandant une précision de la main particulière, le piano n'était peut-être pas l'instrument idéal pour être simulé avec un seul capteur LMC. Avec notre signeur pianiste, nous avons mené quatre campagnes de flexion de l'un de ces doigts indépendamment des autres afin d'obtenir nos propres données d'observation. La Fig. 3 illustre l'une de ces campagnes. Partant d'une position initiale où la main droite est orientée horizontalement au dessus du capteur doigts tendus (altitude 0 attribuée au barycentre de la paume), nous avons tour à tour individuellement et dans cet ordre, fléchi l'index, puis le majeur et enfin l'annulaire, les autres doigts restant tendus. On observe sur la Fig. 3 que des flexions parasites sont effectivement renvoyées par le LMC. Lors de la flexion de l'index, on constate surtout une information parasite renvoyée pour le majeur et dans une moindre mesure pour l'annulaire. Lors de la flexion du majeur, c'est surtout pour l'index que l'on constate une information erronée. Lors de la flexion de l'annulaire, une fausse flexion du majeur est constatée.

À la suite de ce constat, il a été décidé de ne pas utiliser de configuration manuelle impliquant plus d'un doigt à la fois, exception faite du pouce.

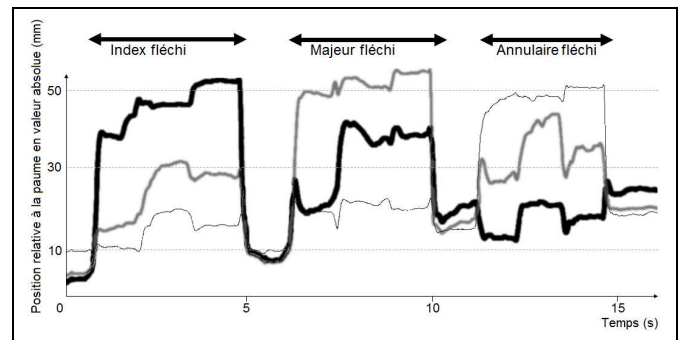


Fig. 3. Relevé dynamique en valeur absolue de la position verticale à la paume (mm) des extrémités de l'index (en gras), du majeur (en gris et en gras) et de l'annulaire (trait fin)

III. Le LMC, comme technologie d'assistance

Le Leap Motion Controller peut s'intégrer facilement dans des systèmes de réalité virtuelle pour le suivi de la main ou pour faciliter l'interaction immersive [16], [17]. Alimanova *et al.* décrivent un jeu de rééducation de la main pour développer

le tonus musculaire et augmenter la précision des gestes (ramasser et déplacer des objets ménagers, faire correspondre des blocs de couleur, jeter les ordures...) [18]. Taylor *et al.* misent sur le potentiel du LMC pour augmenter la motivation et l'implication des jeunes adultes, habitués des jeux vidéo, dans la rééducation de la main après un traumatisme [19]. Ce que confirme l'étude menée par Tarakci *et al.* sur 103 patients entraînés sur 2 jeux interfacés avec le LMC et qui présente ce type de jeu comme une option de traitement alternative efficace chez les enfants et les adolescents ayant un handicap physique [20]. Cortés-Pérez *et al.* concluent à l'utilité et à l'efficacité du LMC comme dispositif de réalité virtuelle haptique pour améliorer différents aspects de la fonction motrice des membres supérieurs chez les patients atteints de maladies du système nerveux central [21].

En dehors du jeu, le Leap Motion Controller a également été utilisé comme outil d'évaluation et d'analyse du mouvement des mains pour différentes pathologies. Un algorithme de reconnaissance des gestes de la main dédié au suivi des sept gestes pour la rééducation résidentielle des patients post-AVC a été développé par Li *et al.* [22]. Chez Chopuk *et al.*, le LMC a été utilisé pour mesurer les angles des articulations afin d'évaluer un mouvement anormal du doigt (doigt déclencheur) [23]. Quatre postures y ont été évaluées (une flexion de l'articulation IP du pouce, une position neutre de l'articulation PIP du doigt, une flexion de l'articulation MP du doigt, une abduction radiale du pouce).

Deux études menées par Butt *et al.* ont inclu des patients parkinsoniens (PwPD, Patient with Parkinson Disease) [24], [25]. Dans la première, les auteurs ont étudié le potentiel du LMC dans l'évaluation du dysfonctionnement moteur des patients et ont conclu à un potentiel modéré. La seconde étude réalisée a visé une classification objective et automatique de la maladie de Parkinson avec le LMC. Les résultats ont révélé que le système ne renvoyait pas de données cliniquement significatives pour mesurer le tremblement postural chez les PwPD, qu'il présente un potentiel limité pour mesurer la pronation/supination de l'avant-bras mais une signification statistique et clinique pour le tapotement des doigts et l'ouverture/fermeture de la main. Coton *et al.* ne préconisent pas l'utilisation du LMC dans l'analyse du mouvement des doigts (pour l'item 18 de la Mesure de la Fonction Motrice) par manque de robustesse et de précision [26].

Dans [27], G. Colombini *et al.* ont passé en revue 19 études ayant évalué objectivement l'apport du LMC dans 4 domaines psychologiques spécifiques (le trouble du spectre autistique, le trouble déficitaire de l'attention/hyperactivité, la démence et les troubles cognitifs légers). Le LMC a également été utilisé avec succès dans des séances de musicothérapie [28]. Le système proposé capture le geste de l'utilisateur via un LMC et les signaux ainsi générés sont envoyés à un outil logiciel qui convertit les mouvements en notes de musique.

Du geste manuel à la parole, de nombreuses études utilisant le LMC pour reconnaître les mouvements des doigts et de la main afin de retranscrire en texte ou en parole la langue des signes ont été listées par Galván-Ruiz *et al.* [29]. La formation du signeur est un facteur clé dans le processus de reconnaissance du signe et l'ordre dans lequel les mouvements

de signe sont effectués affecte la précision [30] (American Sign Language). Le LMC a aussi été utilisé pour la reconnaissance d'autres langues des signes [31] (Arabic Sign Language), [32] (Chinese Sign Language), [33] (Indian Sign Language). En complément de la parole, Škraba *et al.* ont utilisé le LMC pour le pilotage d'un fauteuil roulant [34].

IV. Etude 1: La souris gestuelle

A. Introduction

Comme évoqué précédemment, les fonctions attendues d'une souris gestuelle sont le survol de l'écran, le pointage, la navigation dans les menus de logiciels et toutes les activités où l'usage de la souris est inadapté. La fonction choisie pour illustrer notre propos est le dessin dans Paint mais nous aurions tout aussi bien pu générer une signature manuelle dans Acrobat.

Les caractéristiques de notre souris gestuelle doivent permettre un déplacement dans l'espace en 2D associé au déplacement du curseur de la souris dans une IHM et la définition d'un geste symbolique du « clic ». Nous nous sommes inspirés des nombreux travaux disponibles dans la littérature pour en reproduire certains éléments [35], [36], [37], [38].

B. Méthodologie

Nous avons retenu les coordonnées renvoyées dans le plan (xOy) (voir illustration Fig. 2) pour déplacer le curseur de la souris à l'écran. Si des essais ont d'abord été menés sur les coordonnées de l'index droit, nous avons finalement retenu les valeurs renvoyées par le LMC pour la paume droite après normalisation dans le plan de coordonnées de l'écran. Ce choix a été fait pour éviter des déplacements parasites du curseur de la souris alors que l'index et plus particulièrement le pincement pouce/index ont permis par la suite de matérialiser le clic gauche de la souris. L'axe z a servi pour simuler l'équivalent des « mouvements en l'air » du périphérique souris en vue de repositionner la main du signeur dans l'espace.

Une dernière manipulation nous a permis de réaliser un *multi-touch* gestuel destiné dans notre étude à redimensionner la fenêtre active à l'écran. Nous avons souhaité ici faire appel aux deux mains. Une fois le curseur de la souris positionné sur l'icône de redimensionnement, le clic souris est déclenché par le pincement du pouce et de l'index de la main secondaire. Le redimensionnement se faisant alors par simple déplacement du curseur de la souris à l'aide de la main droite.

Les deux possibilités de clic, main droite et main gauche, pourraient ainsi matérialiser les deux boutons d'une souris afin de compléter ce dispositif d'interaction « souris gestuelle ».

C. Mise en oeuvre pratique

Notre développement informatique a été réalisé à partir d'un programme d'exemple fournis par Ultraleap ainsi qu'à l'aide des API Windows de contrôle de la souris et de la structure de données `INPUT_MOUSE`. Le fonctionnement de base de l'exécutable que nous générons est de type événementiel et fait pour cela appel à des fonctions *Callback* fournies par Ultraleap. Cet exécutable s'utilise comme un

driver de souris qui permet au LMC de venir se substituer à cette dernière.

D. Résultats

Les essais ont été réalisés dans le logiciel de dessin Paint. Il a été nécessaire de filtrer les données renvoyées par le LMC. Un filtrage passe bas du flux de coordonnées sur une fenêtre glissante d'environ 15 mesures a permis de résoudre le bruit d'imprécision qui se manifestait par des tremblements parasites du curseur à l'écran (Fig. 4 gauche et droite). Comme le LMC renvoie parfois de façon erronée les coordonnées d'une « main fantôme » située en arrière-plan (Fig. 4, centre), il a aussi été nécessaire de les éliminer.

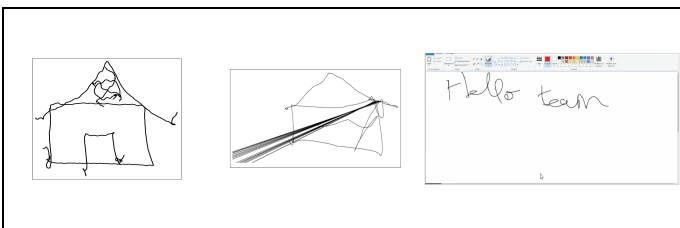


Fig. 4. Dessin dans Paint, de gauche à droite : coordonnées non filtrées, présence d'une main fantôme, coordonnées filtrées.

v. Etude 2 : geste communicant

A. Introduction

Considérer le LMC comme une simple souris gestuelle est très réducteur au regard des possibilités offertes tant par le périphérique que par une langue des signes.

La deuxième étude que nous proposons explore le pilotage d'un dispositif externe par une commande gestuelle basée sur une succession de gestes de base devenus des mots. Il n'est pas nécessaire, pour une activité de ce type, de disposer d'une modélisation aussi poussée du geste communicatif que celle rencontrée en LSF par exemple [39]. Le langage mis en œuvre tout comme la notion de grammaire sous-jacente restent très primitifs.

L'objectif visé est de permettre à une personne en situation de handicap de saisir des commandes gestuelles pour piloter un dispositif d'assistance.

B. Méthodologie de reconnaissance des formes

La problématique est ici bien différente de celle rencontrée dans le cas de la souris gestuelle. Un ordre de commande est constitué d'un clap de début, d'une suite de signes constitués de trajectoires à reconnaître individuellement et séparés d'un clap et un geste final de validation. La principale difficulté de l'opération consiste à reconnaître les signes. Nous avons pour cela fait appel à deux méthodes radicalement différentes et que nous détaillons ci-après.

C. Reconnaissance par critères géométriques

La classification par critères géométriques que nous avons mise en œuvre est une implémentation de la méthode décrite par Jorge *et al.* [40]. Elle consiste à extraire de la trajectoire du signe des critères tels que le périmètre et l'aire de son enveloppe convexe (EC) comme illustré sur la Fig. 5. D'autres critères pourraient être utilisés comme le périmètre et l'aire du

triangle de surface maximale (TSM) inscrit dans l'enveloppe convexe tel que proposé par Dobkin et Snyder [41] ou la longueur du tracé. La Fig. 6 illustre la reconnaissance par critères géométriques de trois signes distincts : une ligne et un triangle pour constituer un alphabet de base et une rature pour manifester le souhait de supprimer le dernier geste accompli.

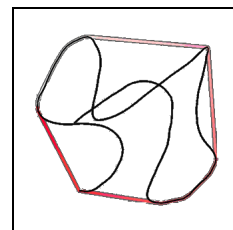


Fig. 5. Enveloppe convexe (EC) d'un tracé géométrique.

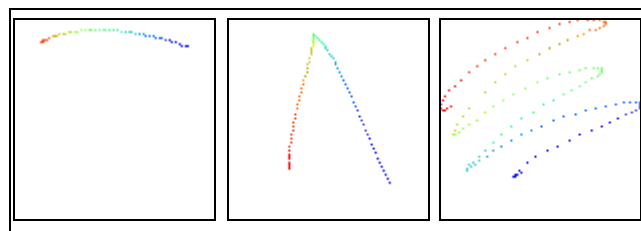


Fig. 6. Alphabet gestuel, de gauche à droite : ligne, triangle, rature.

D. Reconnaissance par Réseau de Neurons Convolutif

Les réseaux de neurones convolutifs (CNN) sont des réseaux de neurones dont le modèle s'inspire du cortex visuel des animaux vertébrés et qui s'appuient sur un empilage multicouche de perceptrons monocouches. Un CNN se distingue totalement d'un perceptron multicouche (MLP) puisque le nombre de connexions entre un neurone et ses voisins des couches adjacentes y est très réduit contrairement à ce qu'il se passe dans un MLP, réduisant ainsi drastiquement la complexité du réseau et le temps d'apprentissage. Les CNN sont généralement utilisés pour réaliser la reconnaissance d'images [42] mais aussi en traitement du langage naturel [43] où les entrées du CNN sont des mots et non plus des pixels [44]. Nous avons donc modifié le programme de contrôle du curseur de la souris pour générer des images des trajectoires dessinées à l'écran. Le réseau de neurones convolutif que nous avons implémenté a été créé autour des systèmes d'apprentissage automatique *Tensorflow* de Google [45] et *Keras* [46] d'après l'exemple fourni dans [47] et a été entraîné sur trois gestes, les mêmes que ceux de la méthode géométrique. L'ensemble de données utilisé contenait environ 60 images pour chacune de ces 3 classes.

E. Résultats, comparaison des méthodes de reconnaissance

La reconnaissance de formes sur critères géométriques est très rapide (quelques millisecondes) mais présente un désavantage, elle est peu flexible. En effet, l'utilisateur doit dessiner des formes géométriques proches de ce qui est attendu, sans quoi la forme n'est pas reconnue voire peut être confondue avec une autre. Il est possible de rendre le système plus tolérant à ce niveau mais cela augmente le risque de confusion. En pratique, il n'est pas simple d'arriver à dessiner correctement les signes pour qu'ils soient reconnus. Une autre limite est que pour ajouter un nouvel élément dans l'alphabet,

et donc une nouvelle forme, il faut trouver des critères spécifiques qui la caractérisent.

La reconnaissance de formes par réseau de neurones convolutif corrige les deux principaux inconvénients de la méthode géométrique :

- Le système peut s'adapter à l'utilisateur en mettant à jour son ensemble de données au fur et à mesure de l'utilisation. Ainsi, si l'utilisateur trouve une posture pour signer plus confortable, le modèle le suivra petit à petit,
- Il est facile d'ajouter un nouveau mot, sous réserve de créer un ensemble d'exemples d'apprentissage suffisamment fourni pour entraîner correctement le modèle, ce qui est coûteux en temps de mise en œuvre.

Cette méthode a pour désavantage d'être bien moins fiable que la précédente pour des raisons liées ici au modèle et non pas à l'utilisateur, et nécessite une base de données toujours plus conséquente à chaque geste ajouté.

VI. Conclusion et perspectives

En nous appuyant sur les exemples fournis par Ultraleap (*imagesample.c* notamment) et les API de Windows, nous avons montré que le maniement d'un logiciel grand public comme « Paint » par exemple pouvait se faire uniquement à l'aide d'un système générique d'interaction gestuelle venant se substituer à la souris de l'ordinateur. Totalement indépendante de l'application finale et facile à installer, cette interface peut représenter un mode de communication alternatif à la souris pour des personnes rencontrant des difficultés avec son maniement ou simplement pour des questions d'hygiène. Il ne faut cependant pas perdre de vue que même si une interaction gestuelle semble de, prime abord, plus naturelle que le maniement d'une souris, un périphérique de capture d'information se doit d'être adapté à ce que l'on souhaite faire et l'on ne peut pas le considérer indistinctement de l'IHM du logiciel dont on fait l'usage. Un clavier est adapté à la saisie de caractères alphanumériques, une souris permet de naviguer précisément dans des menus, le contenu d'un document texte ou d'un tableur mais l'est beaucoup moins pour écrire à la main ou dessiner à l'écran. Une tablette numérique et un stylet seraient pour cela bien plus indiqués.

On pourrait alors imaginer aller bien plus loin que le simple remplacement d'un périphérique existant et réaliser une véritable interface gestuelle conçue pour un langage naturel et donnant par conséquent accès à des gestes signifiants. Dans cette perspective, nous avons lors d'une deuxième étude proposé les éléments d'une interaction gestuelle faite sur la base d'un alphabet réduit à quelques signes « simples » exécutés dans un plan, signes dont l'assemblage permettrait de créer des ordres ou des commandes destinés à des machines d'assistance à la personne. Parmi les applications envisageables, nous pourrions citer par exemple la conduite de fauteuil roulant ou encore une insertion professionnelle facilitée des personnes en situation de handicap dans un environnement de Réalité Augmentée ou Virtuelle sinon de collaboration humain-robot [48].

Un dernier point important que nous avons observé durant nos essais pratiques concerne l'espace ou le plan d'exécution de la communication gestuelle. D'un point de vue espace et confort d'utilisation, faire appel au capteur IR 170 [49] du même constructeur et qui couvre une région de 170x170° serait beaucoup moins contraignant. En effet, avec une région de 140x120° pour le LMC, il n'est pas aisé de rester dans le champ des caméras. L'IR 170 coûte cependant plus du double du prix du LMC et n'est pas fourni dans un boîtier hermétique, ce qui peut représenter des freins à son développement. Quant à la communication gestuelle en elle-même, si elle s'avère a priori plus naturelle, son aspect contraint engendre rapidement une fatigabilité importante au niveau du bras. Une solution pourrait être apportée en faisant par exemple reposer le poignet sur une surface plane transparente comme suggéré dans [26].

Remerciements

Les travaux présentés ont été réalisés par Jean Baumann, élève ingénieur en 4^e année à Polytech Lille dans la spécialité « Systèmes Embarqués », dans le cadre d'un stage d'initiation à la recherche d'une durée de 10 semaines effectué au Laboratoire CRISAL.

References

- [1] A. Martinet, "Etude de l'influence de la séparation des degrés de liberté pour la manipulation 3-D à l'aide de surfaces tactiles multipoints," Thèse de Doctorat en Informatique, Université de Lille1, Fr, 2011.
- [2] J.-P. Deblonde, "Exploitation de la dynamique du geste en IHM. Application aux fonctions de transfert pour le pointage et l'extraction d'événements discrets," Thèse de Doctorat en Informatique, Université de Lille1, Fr, 2012.
- [3] J. Qinjie, "Utilisation de l'eye-tracking pour l'interaction mobile dans un environnement réel augmenté," Thèse de Doctorat en Informatique, Université de Lyon, Fr, 2019.
- [4] M.B. Hoy, "Alexa, Siri, Cortana, and More: An Introduction to Voice Assistants," *Medical Reference Services Quarterly*, vol. 37(1), pp. 81-88, 2018.
- [5] K. Małeckı, A. Nowosielski and M. Kowalicki, "Gesture-Based User Interface for Vehicle On-Board System: A Questionnaire and Research Approach," *Applied Sciences* 10, n°18:6620, 2020.
- [6] V. Belissen, "Sign Recognition to Automatic Sign Language Understanding : Addressing the Non-Conventionalized Units," Thèse de Doctorat en Vision Artificielle et Reconnaissance des Formes, Université Paris-Saclay, Fr, 2020.
- [7] <https://www.ultraleap.com>
- [8] P. Wozniak, O. Vauderwange, A. Mandal, N. Javahiraly and D. Curticapean, "Possible applications of the LEAP motion controller for more interactive simulated experiments in augmented or virtual reality," *SPIE Proceedings*, vol. 9946, pp: 234-245, September 2016.
- [9] <https://www.ultraleap.com/developers/>
- [10] G. Marin, F. Dominio and P. Zanuttigh, "Hand gesture recognition with leap motion and kinect devices," *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp. 1565-1569, October 2014.
- [11] A. Borysova, "Leap Motion Controller for sign language recognition: A review of the literature," 2017.
- [12] J. Galván-Ruiz and al., "Perspective and Evolution of Gesture Recognition for Sign Language: A Review," *Sensors* 2020, vol. 20(12):3571, 2020.

- [13] L. E. Potter, J. Araullo and L. Carter, "The leap motion controller: A view on sign language," in 25th Australian Computer-Human Interaction Conference: Augmentation, Application, Innovation, Collaboration, (OzCHI 2013), pp. 175–178, November 2013.
- [14] H. Gunawardane and N. T. Medagedara, "Comparison of hand gesture inputs of leap motion controller & data glove in to a soft finger," IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors (IRIS), pp. 62-68, October 2017.
- [15] E.S. Silva, J. Abreu, J.H. Almeida, V. Teichrieb and G. Ramalho, "A Preliminary Evaluation of the Leap Motion Sensor as Controller of New Digital Musical Instruments," 2013.
- [16] S. Scheggi, L. Meli, C. Pacchierotti and D. Prattichizzo, "Touch the virtual reality: using the leap motion controller for hand tracking and wearable tactile devices for immersive haptic rendering," ACM Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques Conference Posters (SIGGRAPH'15), Article 31, pp. 1, July 2015.
- [17] E. Gusai, C. Bassano, F. Solari and M. Chessa, "Interaction in an Immersive Collaborative Virtual Reality Environment: A Comparison Between Leap Motion and HTC Controllers," ICIAP Workshops, 2017.
- [18] M. Alimanova and al., "Gamification of Hand Rehabilitation Process Using Virtual Reality Tools: Using Leap Motion for Hand Rehabilitation," First IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC), pp. 336-339, April 2017.
- [19] J. Taylor and K. Curran, "Using Leap Motion and Gamification to Facilitate and Encourage Rehabilitation for Hand Injuries: Leap Motion for Rehabilitation," in Handbook of Research on Holistic Perspectives in Gamification for Clinical Practice, D. Novák, B. Tulu, & H. Brendryen, Eds., pp. 183-192.
- [20] E. Tarakci, N. Arman, D. Tarakci and O. Kasapcopur, "Leap Motion Controller-based training for upper extremity rehabilitation in children and adolescents with physical disabilities: A randomized controlled trial," Journal of Hand Therapy, vol. 33(2), pp. 220-228, 2020.
- [21] I. Cortés-Pérez and al., "Leap Motion Controller Video Game-Based Therapy for Upper Extremity Motor Recovery in Patients with Central Nervous System Diseases. A Systematic Review with Meta-Analysis," Sensors 2021, vol. 21(6):2065, 2021.
- [22] W. Li, C. Hsieh, L. Lin and W. Chu, "Hand gesture recognition for post-stroke rehabilitation using leap motion," International Conference on Applied System Innovation (ICASI), pp. 386-388, 2017
- [23] P. Chopuk, S. Chumpen, S. Tungjitsulmun and P. Phasukkit, "Hand postures for evaluating trigger finger using leap motion controller," 8th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON), pp. 1-4, 2015.
- [24] A.H. Butt and al., "Leap motion evaluation for assessment of upper limb motor skills in Parkinson's disease," IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, pp. 116-121, July 2017.
- [25] A.H. Butt and al., "Objective and automatic classification of Parkinson disease with Leap Motion controller," Biomedical Engineering Online, vol. 17(1):168, 12 November 2018.
- [26] J. Coton, J. Veytizou, G. Thomann and F. Villeneuve, "Etude de faisabilité de l'analyse de mouvement de doigts par le capteur Leap Motion," Conférence Handicap 2016-9^{ème} édition, Paris, pp. 75-80, Juin 2016.
- [27] G. Colombini, M. Duradoni, F. Carpi, L. Vagnoli and A. Guazzini, "LEAP Motion Technology and Psychology: A Mini-Review on Hand Movements Sensing for Neurodevelopmental and Neurocognitive Disorders," International Journal of Environmental Reseach and Public Health, vol. 18(8):4006, April 2021.
- [28] A. Baratèlia, A. Elia, L.A. Ludovico and E. Oriolo, "The Leap Motion Controller in Clinical Music Therapy - A Computer-based Approach to Intellectual and Motor Disabilities," 10th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU 2018), pp. 461-469, March 2018.
- [29] J. Galván-Ruiz and al., "Perspective and Evolution of Gesture Recognition for Sign Language: A Review," Sensors 2020, vol. 20(12):3571, 2020.
- [30] L. Quesada, G. López, L.A. Guerrero, "Sign Language Recognition Using Leap Motion," International conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence, pp. 277-288, December 2015.
- [31] M. Deriche, S. O. Aliyu and M. Mohandes, "An Intelligent Arabic Sign Language Recognition System Using a Pair of LMCs With GMM Based Classification," IEEE Sensors Journal, vol. 19(18), pp. 8067-8078, September 2019.
- [32] Y. Xue, S. Gao, H. Sun and W. Qin, "A Chinese Sign Language Recognition System Using Leap Motion," International Conference on Virtual Reality and Visualization (ICVRV), pp. 180-185, October 2017.
- [33] D. Naglot and M. Kulkarni, "ANN based Indian Sign Language numerals recognition using the leap motion controller," International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), pp. 1-6, August 2016.
- [34] A. Škraba, A. Koložvari, D. Kofjač and R. Stojanović, "Wheelchair maneuvering using leap motion controller and cloud based speech control: Prototype realization," 4th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), pp. 391-394, 2015.
- [35] D. Bachmann, F. Weichert and G. Rinkeauer, "Evaluation of the leap motion controller as a new contact-free pointing device," Sensors 2014, vol. 15(1), pp. 214-233, December 2014.
- [36] M. C. Bessa Seixas, J. C. S. Cardoso and M. T. G. Dias, "The Leap Motion movement for 2D pointing tasks: Characterisation and comparison to other devices," 5th International Conference on Pervasive and Embedded Computing and Communication Systems (PECCS), pp. 15-24, January 2015.
- [37] T. Aswathi and al., "A paradigm of Sixth Sense: Finger Cursor," 2nd International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICICT), pp. 1558-1562, 2019.
- [38] J.Y. Tung and al., "Evaluation of a portable markerless finger position capture device: accuracy of the Leap Motion controller in healthy adults," Physiological Measurement, vol. 36(5), pp. 1025–1035, May 2015.
- [39] O. Losson and J.-M. Vannobel, "Sign Language Formal Description and Synthesis," International Journal of Virtual Reality, vol. 3(4), pp. 27-34, 1998.
- [40] J.A. Jorge and M.J. Fonseca, "A Simple Approach to Recognise Geometric Shapes Interactively," Graphics Recognition Recent Advances. GREC 1999. Lecture Notes in Computer Science, vol 1941, pp. 266-274, 2000.
- [41] D.P. Dobkin and L. Snyder, "On a general method for maximizing and minimizing among certain geometric problems," 20th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (FSCS 1979), pp 9-17, October 1979.
- [42] I. Zafar, G. Tzanidou and R. Burton, "Hands-On Convolutional Neural Networks with TensorFlow," Packt Publishing Eds, ePub, August 2018
- [43] Y. Kim, "Convolutional Neural Networks for Sentence Classification," Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP 2014), pp. 1746–1751, 2014.
- [44] <https://towardsdatascience.com/nlp-with-cnns-a6aa743bdc1e?gif=true>
- [45] <https://github.com/tensorflow/tensorflows>
- [46] <https://github.com/keras-team/keras>
- [47] <https://www.tensorflow.org/tutorials/images/classification?hl=fr>
- [48] G.A. Al, P. Estrela and U. Martinez Hernandez, "Towards an intuitive human-robot interaction based on hand gesture recognition and proximity sensors," IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration, pp. 330-335, September 2020
- [49] <https://www.ultraLeap.com/product/stereo-ir-170/>