

Réalité augmentée spatiale mobile pour l'interaction 3D avec des objets tangibles

AUTEURS DE L'ARTICLE : Guillaume Cortes, Eric Marchand, Guillaume Brincin, Anatole Lécuyer

AUTEUR DU RAPPORT: ABALO Kokou

SUPERVISEUR : HO Tuong Vinh Ph.D.

Institut Francophone International

Abstract— Ce document est un résumé de l'article intitulé "MoSART : Mobile Spatial Augmented Reality for 3D Interaction With Tangible Objects" et publié en Août 2018. Il porte sur la réalité augmentée spatiale.

I. INTRODUCTION

Les technologies de réalités augmentée (AR), de par leurs différentes applications, ne sont pas restées en marge des progrès remarquables que subissent les technologies de l'information et de la communication. La portée de cet article s'inscrit dans cette logique en présentant les travaux déjà réalisées dans le domaine et leur limite puis en proposant une solution qui comble les insuffisances de ses systèmes déjà existant. Les problèmes des systèmes AR existants sont principalement axés sur le temps de latence élevé lors des interactions avec les utilisateurs, et les difficultés de portabilité de ses systèmes lié à leur encombrement matériel.

Les imperfections sont les suivantes :

- Problème d'efficacité lié au matériel avec la configuration casque sur la tête et téléphone à la main, ce qui n'est pas adapté aux interactions directes entre l'utilisateur et le système. Ce cas est lié au système VST-AR (Video See-Through AR) qui fonctionne à base de système de transparence visuelle sensibles à la latence.
- Difficulté à fournir des champs de vision étendus et inadaptation à une utilisation multi-utilisateur. Ce cas s'illustre à travers les systèmes AR qui utilisent le modèle de conception OSTAR, moins encombrant que les VST-AR.
- Inefficacité d'interaction malgré la portabilité du système, limitation de la mobilité. Ce sont des systèmes réalisés à base du concept Réalité Augmentée Spatiale qui repose sur une projection directe sur des surfaces physiques.

II. SOLUTION PROPOSEE

La solution proposée est dénommée MoSART, c'est-à-dire Réalité Augmentée Spatiale Mobile sur des objets

tangibles. On appelle objet tangible, tout objet palpable, tout objet ayant une existence réelle. Il s'agit d'un système remplissant les fonctionnalités telles que : la Réalité Augmentée Spatiale sur des objets mobiles, les interactions 3D avec des objets tangibles, les scénarios uniques ou collaboratifs avec partage d'expérience dans des applications de RA. C'est une approche novatrice basée sur un casque « tout-en-un » qui regroupe tous les équipements AR nécessaires. Ces équipements sont constitués d'une part de systèmes de projection et de suivi et d'autre part d'un ensemble d'objets tangibles et d'outils d'interaction. La Fig.1 en est une illustration.



Fig. 1

Avec cette configuration, l'utilisateur peut se déplacer aisément, saisir et manipuler les objets tangibles et les outils améliorés. Les expériences collaboratives peuvent être partagées avec d'autres utilisateurs grâce à la projection et interaction directe. En somme, cette approche est la première à permettre une interaction 3D directe sur des objets tangibles, la mobilité, des expériences multi-utilisateurs, ainsi qu'un champ de vision plus large et une faible latence en RA, tel un concept répondant aux besoins exprimés par l'étude des systèmes existants.

Comme l'illustre la Fig.2, les principaux composants et concepts d'un système MoSART sont :

- Une projection montée sur la tête (1).

- Un suivi optique monté sur la tête (2)
- Un ou plusieurs objets tangibles (3).
- Plusieurs outils d'interaction (4).

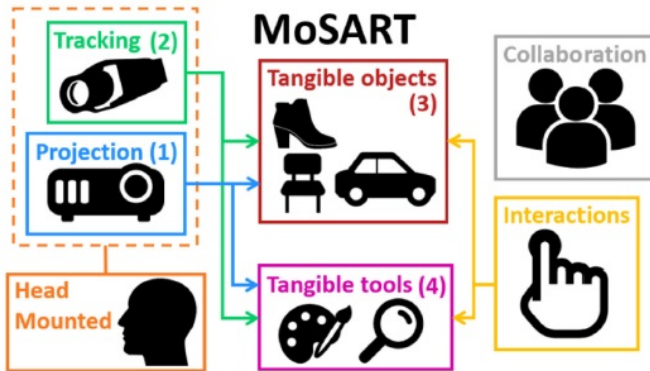


Fig. 2

Les composants de la Fig. 2 se décrivent comme suit :

- (1) Projection : la projection sert à l'affichage du contenu virtuel dans le champ de vision et l'espace de travail de l'utilisateur. Ceci permet ainsi d'augmenter les objets situés dans le champ de vision de l'utilisateur.
- (2) Suivi : Le suivi optique est utilisé pour suivre les objets tangibles et permettre leur manipulation dans l'espace de travail de MoSART. Avec ce composant, l'utilisateur peut marcher et se déplacer autour des objets, et les manipuler à leur guise. Cela implique naturellement que le projecteur SAR doit être intrinsèquement suivi par le système.
- (3) Objets tangibles : Permet d'avoir à la fois un modèle physique et un modèle virtuel 3D de l'objet avec lequel l'utilisateur interagit.
- (4) Outils d'interaction : des outils tangibles peuvent également être incorporés directement dans MoSART afin que ceux-ci tirent parti des fonctionnalités de projection et de suivi du système. Par exemple la surface de l'outil incorporé peut être utilisée pour projeter du contenu virtuel.
- Montage sur la tête : pour libérer les mains de l'utilisateur et lui offrir une mobilité complète. Ainsi, toutes les fonctions de projection et de suivi sont-elles montées sur la tête.
- Interaction directe : Il s'agit de l'interaction 3D. Ceci permet à l'utilisateur de saisir des objets concrets, puis les manipuler à volonté par mouvement de rotation ou de translation dans le champ de vision du projecteur.

- Collaboration : la collaboration et les interactions multi-utilisateurs constituent l'un des principaux apports de MoSART.

Deux modes de collaboration complémentaires sont possibles. Premièrement, la collaboration multi-utilisateur avec un seul utilisateur portant de casque MoSART. Dans ce cas, les autres utilisateurs peuvent également manipuler les objets tangibles ou un outil d'interaction. Deuxièmement, la collaboration multi-utilisateur avec des utilisateurs ayant chacun un casque. Dans ce cas de figure, les différents projecteurs sont utilisés pour agrandir la zone de projection. Par exemple un utilisateur projetant sur un côté de l'objet tangible et un autre projetant sur un autre côté. Un prototype du concept MoSART est présenté dans la section suivante et des détails de mise en œuvre sont fournis pour chaque composant MoSART.

III. REALISATION DE LA SOLUTION

La réalisation de la solution proposée présente les configurations suivantes :

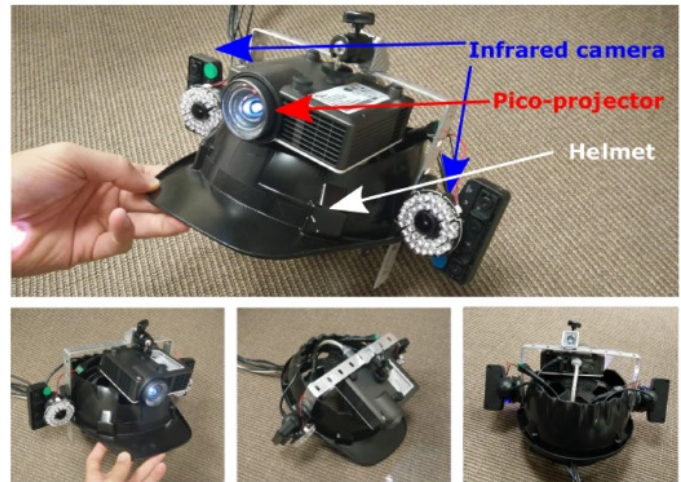


Fig. 3

- un casque (Fig.3) comprenant un pico-projecteur à courte focale (Optoma ML750ST) et deux caméras infrarouges (PSEye),
- un ensemble spécifique d'objets tangibles et d'outils tangibles, dotés de techniques d'interaction 3D dédiées.

Le casque comprend un pico-projecteur à courte focale (Optoma ML750ST) et deux caméras infrarouges (PSEye). L'ensemble du système de projection / suivi est monté sur la tête et il est positionné de sorte que la projection reste centrée dans la vision de l'utilisateur. Afin de suivre et de localiser un objet tangible à l'aide du système de suivi optique, des marqueurs

réfléchissants sont positionnés à sa surface. L'objectif de l'utilisation du système de suivi optique est de calculer la position et l'orientation des objets en fonction du projecteur. Les distances entre les marqueurs réfléchissants doivent être toutes différentes afin de réduire les ambiguïtés lors du calcul de la capture 3D à la pose des objets.

Les outils d'interaction tangibles quant à eux sont de deux(2) types. Le premier est un «Panneau interactif» (Fig. 4, à gauche). C'est un tableau blanc quadrillé utilisé pour afficher des informations. Le deuxième est le «stylet» (Fig. 4, à droite) qui a l'allure d'un stylo. Plusieurs techniques d'interaction 3D ont été conçues pour exploiter ces deux types d'outils dans MoSART.

Le panneau interactif est utilisé comme écran de contrôle (Fig. 4, à gauche). Il peut être utilisé directement pour afficher dynamiquement des menus 2D avec divers éléments. Il peut aussi être utilisé comme un outil spécifique, par exemple : une loupe (Brown et al., 2003), un visualiseur à rayons X, etc ... Le stylet interactif est utilisé comme pointeur 3D. Le stylet sert d'outil de sélection afin d'activer les options et de sélectionner des éléments en les touchant sur le panneau de commande (Fig. 4, à droite). Mais il peut également être utilisé comme outil spécifique, un outil de peinture, une lampe torche, un faisceau laser, etc ...

IV. EXPERIMENTATION ET RESULTATS

Les expérimentations sont faites sur deux (2) cas à savoir le prototypage virtuel et la visualisation médicale.

A. Cas de prototypage virtuel

MoSART permet d'augmenter les maquettes physiques avec un nombre infini de textures virtuelles. En effet, les utilisateurs sont en mesure d'interagir directement avec la maquette en éditant et en visualisant les variantes texturées du même objet. La sélection des textures s'effectue à l'aide d'un menu 2D affiché sur le panneau interactif.

Une prévisualisation de chaque texture disponible est affichée sur le panneau (Fig. 4, à droite). La sélection est réalisée en pointant le bon endroit du panneau avec le stylet interactif. Grâce aux outils d'interaction, l'utilisateur peut aussi modifier la texture en appliquant une peinture virtuelle sur la maquette tangible. Le panneau interactif permet d'afficher les différentes couleurs de peinture (Fig.4, à gauche). Le stylet interactif agit comme un pinceau permettant à l'utilisateur de sélectionner la couleur souhaitée, mais également une

taille ou une forme de pinceau. Ensuite, l'utilisateur peut directement peindre la maquette tangible avec le stylet comme s'il peignait une statue, Fig.4 à droite.



Fig. 4

B. Cas de visualisation médicale

Notre deuxième expérimentation est un scénario de visualisation médicale permettant d'interagir avec une forme corporelle tangible. Pour illustrer ce cas d'utilisation, un mannequin de coffre pour femme est utilisé comme objet tangible.

L'utilisateur peut visualiser différents composants internes comme les os ou les organes positionnés par rapport au corps humain tangible. Sur la fig.5, l'image de gauche illustre la visualisation des os de la poitrine et l'image de droite illustre la visualisation des os et des organes de la poitrine humaine.

Les outils d'interaction peuvent d'abord être utilisés pour modifier l'état de visualisation de l'application afin d'afficher : les os, les organes, le système digestif ou l'ensemble. Pour ce faire, le panneau interactif affiche un menu avec des boutons à deux états que l'utilisateur peut basculer avec le stylet interactif utilisé comme pointeur. L'utilisateur peut notamment utiliser le panneau comme une loupe pour se positionner devant une zone voulue, par exemple, pour observer certains petits organes cachés de la poitrine. Le stylet peut également servir de lampe de poche pour éclairer les organes et mieux percevoir leur géométrie et leur matériau.

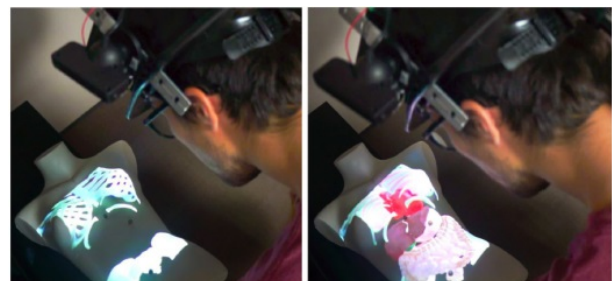


Fig. 5

V. LIMITES ACTUELLES DE LA SOLUTION

Le prototype réalisé comporte certes des limites mais celles-ci pourraient être résolues par amélioration de la conception :

- Projection stéréoscopique : le système MoSART pourrait tirer parti de la projection stéréo. Cependant, un rendu stéréoscopique induit généralement un besoin supplémentaire de lunettes et peut empêcher certains scénarios de collaboration.
- Problème de focus : La focalisation du projecteur peut être un problème avec le prototype actuel. Ce problème peut être résolu en utilisant un projecteur laser ou des algorithmes de mise au point automatique.
- Portabilité totale : les calculs de suivi et de projection sont actuellement effectués sur un ordinateur externe. Cet ordinateur pourrait être intégré à un sac à dos avec une batterie pouvant alimenter le projecteur. L'ensemble du système pourrait également être finalement miniaturisé et placé à l'intérieur du casque.
- Portabilité totale : les calculs de suivi et de projection sont actuellement effectués sur un ordinateur externe. Cet ordinateur pourrait être intégré à un sac à dos avec une batterie pouvant alimenter le projecteur. L'ensemble du système pourrait également être finalement miniaturisé et placé à l'intérieur du casque.
- Suivi par modèle : Il pourrait être intéressant de tester l'approche MoSART avec un suivi basé sur un modèle qui permettrait d'en savoir plus sur la géométrie générale de la scène réelle et non seulement sur les objets augmentés, bien que ce soit peut-être au détriment des performances.
- Occlusions : l'utilisation d'outils concrets peut générer des problèmes d'occlusion partiels car les outils peuvent parfois être situés entre le projecteur et l'objet tangible. Ces problèmes pourraient être résolus en détectant les occlusions avec un capteur de profondeur puis en supprimant la projection sur les parties occlusives.
- Résolution : lors de la projection sur de petites surfaces, la résolution de l'image peut être assez limitée. Il peut donc être difficile d'afficher des informations détaillées et d'interagir avec de petits objets virtuels sur ces surfaces. Une solution pour surmonter cette limitation pourrait consister à utiliser une véritable tablette interactive.

VI. TRAVAUX CONNEXES

Dans notre analyse de l'article portant sur la réalité augmentée spatiale, nous avons dans un premier temps

présenté la solution avec ses différentes expérimentations et résultats. Nous aborderons dans le même contexte, la présentation des articles relatifs au thème de notre étude.

Les travaux effectués sont certes multiples et évolutifs, mais la plupart sont moins récentes que ceux de notre article étudié.

Hochretier et son équipe [6] ont effectué des travaux sur la détection multi-touch. Cette technologie permet d'agir directement par le touché sur des objets stationnaires augmentés. Benko et son équipe [2] quant à eux ont proposé Miragetable. C'est un système de Réalité augmentée spatiale dynamique avec possibilité de projection sur une surface courbe.

Ces systèmes prennent en compte l'environnement réel et les mouvements de l'utilisateur et élargissent ainsi les possibilités d'interaction. Cependant, la projection étant faite sur un écran fixe ou un objet fixe, l'espace de travail utilisable est plutôt limité. Ainsi, pour résoudre un tel problème de limitation, plusieurs systèmes de RA spatiale ont été conçus pour permettre la projection sur des objets 3D mobiles.

Le Lumipen [9], conçu par Okumura et son équipe [9], fournit une cartographie de projection pour le haut débit ou objets haute fréquence grâce à un capteur de vision haute vitesse et un projecteur avec un contrôleur de regard optique haute vitesse. Le Lumipen [9] fonctionne bien sur des objets 3D simples tels que des sphères et boules en raison de l'insignifiance de leur rotation. En plus récent travail, Sueishi et son équipe [10] ont proposé une amélioration de la Lumipen [9]. Néanmoins, leur système est beaucoup trop lourd et complexe. Toujours utilisé sur des géométries simples. De telles limitations ne fournissent pas un environnement idéal pour une interaction tangible.

Zhou et son équipe [12] ont proposé le Pmomo [12]. Il s'agit d'un système de projection cartographique sur objets. Ce système gère des géométries plus complexes avec de bonnes performances de suivi. Cependant c'est un système immobile et n'est pas conçu pour être portable ou intégré. Il ne permet pas aussi de suivre plusieurs objets dans les scénarios d'interaction.

Une première approche pour surmonter les systèmes fixes consiste à concevoir des dispositifs portatifs. Les projecteurs portables ont été étudiés dans plusieurs œuvres postérieures. En 2007, Cao et son équipe [4] ont introduit des interactions multi-utilisateurs avec deux projecteurs suivis avec un suivi basé sur les fonctionnalités. Les utilisateurs peuvent interagir en déplaçant les projecteurs dans l'espace de travail avec

un retour visuel projeté sur un mur plat. Néanmoins, les interactions sont limitées aux objets plans et aucune 3D n'est considérée. Ni et son équipe [8] ont introduit la projection portable dans les applications médicales afin d'améliorer les communications avec les patients. Avec un tel système, le médecin peut projeter des informations anatomiques directement sur le corps du patient. Néanmoins, les auteurs ont souligné que le système proposé était plus utilisable lors de la projection sur un mur. Des travaux plus récents ont été proposés selon la même approche avec le système SideBySide de Willis et son équipe [11]. Le système SideBySide [11] suit plusieurs projecteurs qui projettent des repères de repère sur un mur, cependant un tel système n'est pas adapté au suivi d'objets tangibles 3D. Bien que les dispositifs SAR portables offrent plus de mobilité que les systèmes SAR stationnaires, ils ne sont pas adaptés aux interactions directes car les mains de l'utilisateur ne sont pas libres. Diota2, une société française, propose un dispositif SAR capable de se déplacer sans être tenu par la main. Cette solution est basée sur des bras robotiques qui déplacent les projecteurs autour des objets. Néanmoins, elle n'est pas conçue pour être portable ou pour être utilisée dans de petits environnements intérieurs.

Les travaux effectués par Karitsuka et Sato [7] proposent un système de projection monté à plat pour augmenter une cible plane. Ensuite, l'utilisateur peut interagir avec la cible plane augmentée en utilisant ses doigts. Bolas et Krum [3] ont introduit la projection montée sur la tête sur des surfaces réfléchissantes. Néanmoins, ils n'introduisent pas de techniques d'interaction pour la réalité augmentée et ne projettent que des contenus informatifs non modifiables. Aksit et son équipe [1] propose également une approche pour projeter sur des surfaces planes à partir d'un système de réalité mixte basé sur un pico-projecteur laser et un smartphone. Cependant, les auteurs ont choisi de se concentrer sur l'application de capture de mouvement. Ainsi, le système est conçu pour fonctionner dans un environnement infrarouge plus vaste et non convivial. Toutefois, la projection sur des objets tangibles 3D n'est toujours pas prise en compte et aucun système de suivi n'est requis, à l'exception des capteurs du smartphone. Des travaux plus récents de Harrison et son équipe [5] quant à eux introduisent un système monté sur l'épaule mettant en œuvre des techniques d'interaction directe de la main. En effet, le montage du projecteur sur l'épaule laisse également les mains libres pour interagir. L'interaction proposée est tactile sur des surfaces simples et sur des parties du corps. La projection sur ces surfaces est toujours plane et la géométrie des objets tangibles n'est pas prise en compte.

VII. CONCLUSION

Dans notre analyse de l'article portant sur la réalité augmentée spatiale, nous avons dans un premier temps identifier le problème qui est tenté d'être résolu. Ce problème porte principalement sur la réduction du temps de latence dans l'utilisation des systèmes conçus existant et la réduction de l'encombrement de leurs composant. Dans un second temps, nous avons analysé la solution proposée qui se résume à la conception d'un casque « tout-en-un » offrant une projection montée sur la tête et une fonction de suivi optique stéréo. Par cette solution dénommée MoSART, les objets tangibles aux géométries complexes peuvent être complétés par des textures virtuelles, et l'utilisateur peut interagir avec eux grâce à un ensemble d'outils d'interaction tangibles. À travers les tests d'expérimentation dans plusieurs cas d'utilisation pour le prototypage virtuel et la visualisation médicale, il en ressort que ce prototype conçu présente de bonnes performances. Des résultats obtenus, il en ressort que MoSART permet une interaction directe, mobile et directe avec des objets tangibles, pour des applications de réalité augmentée dans des conditions uniques ou collaboratives. Dans une dernière partie, nous avons présenté une étude bibliographique et analytique sur des travaux d'autres scientifiques relatifs à la réalité augmentée spatiale.

REFERENCES

- [1] Kaan Akşit, Daniel Kade, Oğuzhan Özcan, and Hakan Ürey. Head-worn mixed reality projection display application. In *Proceedings of the 11th Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, page 11. ACM, 2014.
- [2] Hrvoje Benko, Ricardo Jota, and Andrew Wilson. Miratable : freehand interaction on a projected augmented reality tabletop. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pages 199–208. ACM, 2012.
- [3] Mark Bolas and David M Krum. Augmented reality applications and user interfaces using head-coupled near-axis personal projectors with novel retroreflective props and surfaces. In *Pervasive 2010 Ubiprojection Workshop*, 2010.
- [4] Xiang Cao, Clifton Forlines, and Ravin Balakrishnan. Multi-user interaction using handheld projectors. In *Proceedings of the 20th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 43–52. ACM, 2007.
- [5] Chris Harrison, Hrvoje Benko, and Andrew D Wilson. Omnitouch : wearable multitouch interaction everywhere. In *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 441–450. ACM, 2011.
- [6] Jason Hochreiter, Salam Daher, Arjun Nagendran, Laura Gonzalez, and Greg Welch. Optical touch sensing on nonparametric rear-projection surfaces for interactive physical-virtual experiences. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 25(1) :33–46, 2016.
- [7] Toshikazu Karitsuka and Kosuke Sato. A wearable mixed reality with an on-board projector. In *Proceedings of the 2nd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, page 321. IEEE Computer Society, 2003.

- [8] Tao Ni, Amy K Karlson, and Daniel Wigdor. Anatonme : facilitating doctor-patient communication using a projection-based handheld device. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 3333–3342. ACM, 2011.
- [9] Kohei Okumura, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa. Lumipen : Projection-based mixed reality for dynamic objects. In *Multimedia and Expo (ICME), 2012 IEEE International Conference on*, pages 699–704. IEEE, 2012.
- [10] Tomohiro Sueishi, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa. Robust high-speed tracking against illumination changes for dynamic projection mapping. In *Virtual Reality (VR), 2015 IEEE*, pages 97–104. IEEE, 2015.
- [11] Karl DD Willis, Ivan Poupyrev, Scott E Hudson, and Moshe Mahler. Sidebyside : ad-hoc multi-user interaction with handheld projectors. In *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 431–440. ACM, 2011.
- [12] Yi Zhou, Shuangjiu Xiao, Ning Tang, Zhiyong Wei, and Xu Chen. Pmomo : projection mapping on movable 3d object. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 781–790. ACM, 2016.