



HAL
open science

Fidélité d'interaction dans les simulateurs : deux techniques de navigations pour un simulateur virtuel de biopsie

Aylen Ricca, Amine Chellali

► To cite this version:

Aylen Ricca, Amine Chellali. Fidélité d'interaction dans les simulateurs : deux techniques de navigations pour un simulateur virtuel de biopsie. Actes de la 28ième conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, Oct 2016, Fribourg, Suisse. pp.278-284, 10.1145/3004107.3004139 . hal-01384326

HAL Id: hal-01384326

<https://hal.science/hal-01384326>

Submitted on 19 Oct 2016

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.

Fidélité d'interaction dans les simulateurs : deux techniques de navigations pour un simulateur virtuel de biopsie

Aylen Ricca

Laboratoire IBISC – Université
d'Evry
91000, Evry, France
aylen.ricca@ens.univ-evry.fr

Amine Chellali

Laboratoire IBISC – Université
d'Evry
91000, Evry, France
Amine.chellali@ibisc.fr

© ACM, 2016. This is the author's version of the work. It is posted here by permission of ACM for your personal use. Not for redistribution. The definitive version was published in Actes de la 28ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, 2016.
<http://dx.doi.org/10.1145/3004107.3004139>

Résumé

Les simulateurs virtuels sont de plus en plus utilisés pour former des chirurgiens débutants. Cependant, il y a actuellement un manque de lignes directrices pour définir les niveaux appropriés de fidélité d'interaction pour ces systèmes. Dans ce papier, deux techniques de navigation pour un simulateur virtuel d'insertion d'aiguille sont présentées. La première technique est basée sur le suivi de la position de la tête de l'utilisateur et représente une métaphore d'interaction haute-fidélité. La seconde technique est basée sur l'interaction tactile et représente une métaphore d'interaction moyenne-fidélité. Notre objectif est de présenter la logique de conception de ces techniques, nos questions de recherche et une discussion sur le protocole expérimental qui servira à les comparer.

Mots Clés

Fidélité des simulateurs ; Design des interactions ; Formation chirurgicale.

Abstract

Virtual Reality simulators are increasingly used for training novice surgeons. However, there is currently a lack of guidelines for how to go about achieving the appropriate levels of interaction fidelity for these systems. In this paper, we present two navigation techniques for a needle insertion trainer. The first technique is based on tracking the user's

head position and represents a high-fidelity interaction metaphor. The second technique is touch-based and represents a medium-fidelity interaction metaphor. Our objective is to present the design rationale of these techniques, our research questions and a discussion about the experimental study that will be used to compare them.

Author Keywords

Simulator fidelity; Interaction design; Surgical training.

ACM Classification Keywords

[Information Interfaces and Presentation]: *Artificial, augmented, and virtual realities* ; H.5.2 [User Interfaces]: *User-centered design — Haptic I/O*;

Introduction

La biopsie est une procédure de radiologie interventionnelle consistant en l'insertion d'une aiguille spécifique dans le corps humain pour atteindre un tissu cible. Cette procédure est réalisée avec un retour visuel limité pour guider la manipulation de l'aiguille [14]. La précision de ce geste nécessite donc une grande sensibilité haptique et des habiletés spatiales. Actuellement, une des méthodes pour la formation des cliniciens pour réaliser ce geste est l'utilisation des simulateurs virtuels. En effet, ces systèmes peuvent réduire les risques aussi bien pour les novices que pour les patients en permettant l'apprentissage et la pratique des compétences dans un environnement simulé avant l'exposition au monde réel [1]. Cependant, le développement de simulateurs virtuels performants dépend de la conception d'une interaction efficace pour ces systèmes. En effet, des interfaces utilisateurs complexes et inappropriées rendent un système interactif susceptible d'être sous-utilisés ou mal utilisés [11]. Dans ce papier, nous nous intéressons à l'interaction dans ce type de systèmes afin d'améliorer leur

efficacité pour l'apprentissage des gestes chirurgicaux. Plus particulièrement, nous nous intéressons à comment l'utilisateur peut changer son point de vue d'une manière efficace dans un simulateur de biopsie.

Etat de l'art

Fidélité de l'interaction des simulateurs

Des recherches antérieures ont montré que le transfert des connaissances est amélioré lorsque les environnements de formation et le monde réel sont étroitement appariés [6]. Ceci peut être lié à la notion de la fidélité de l'interaction du système. La fidélité de l'interaction est définie comme étant le degré objectif d'exactitude avec lequel les interactions du monde réel peuvent être reproduites dans un environnement simulé [16]. La fidélité de l'interaction joue un rôle central dans le transfert des connaissances d'un simulateur virtuel vers le monde réel [4]. Elle est affectée par la facilité d'interaction et le niveau de contrôle de l'utilisateur du système [6].

Bien qu'il soit intuitif de penser qu'une haute-fidélité des simulateurs soit nécessaire pour améliorer l'efficacité de la formation [6, 7], d'autres chercheurs ont montré que les simulateurs basse-fidélité pourraient suffire pour une formation efficace et efficiente [9, 13]. Cependant, il y a actuellement un manque de lignes directrices pour la définition des niveaux appropriés de fidélité d'interaction dans les simulateurs chirurgicaux virtuels [3].

Une approche possible pour pallier ce manque est la méthode de conception itérative. En effet, cette méthode permet une amélioration progressive des systèmes développés en identifiant à chaque itération les composants le mieux adaptés aux besoins des utilisateurs. Il y a un intérêt croissant pour tirer parti des principes de cette méthode pour

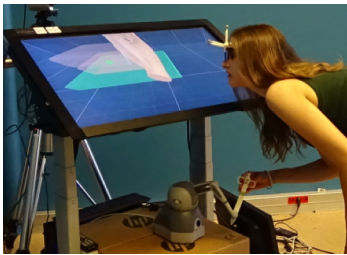


Figure 1- Technique de navigation basée sur le suivi de la tête de l'utilisateur

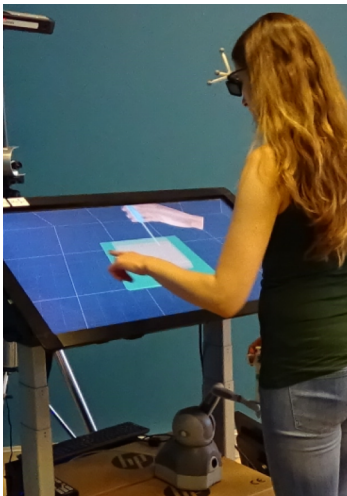


Figure 2 – Technique de navigation basée sur des gestes tactiles

la conception des simulateurs chirurgicaux virtuels [2, 8, 20, 21]. Cependant, aucune de ces études n'a abordé la problématique de la fidélité de l'interaction dans ces systèmes.

Dans ce contexte, McMahan a proposé un cadre théorique pour l'étude des aspects de fidélité des interactions dans le domaine de la simulation militaire [12]. Ce cadre a été utilisé pour caractériser et évaluer différents composants de la fidélité d'interaction, identifiés par l'auteur. Cependant, ce cadre n'a jamais été appliqué au domaine spécifique de la simulation chirurgicale.

Notre objectif est d'explorer donc l'utilisation de l'approche de conception itérative pour définir les niveaux de fidélité appropriés pour des techniques de navigation dans un simulateur d'insertion d'aiguille. Nous avons utilisé le cadre théorique de McMahan [12] afin de caractériser la fidélité d'interaction de ces techniques de navigation.

Les simulateurs d'insertion d'aiguille

La tâche d'insertion d'aiguille a déjà été simulée à travers les technologies de la réalité virtuelle avec un accent sur la formation de la sensibilité haptique des apprenants. Par exemple, Gerovich et al. [5], ont développé un système virtuel pour la simulation d'insertion d'aiguille où l'utilisateur pouvait voir en 2D un échantillon de quatre couches de tissus : la peau, la graisse, les muscles et les os. Les utilisateurs pouvaient également sentir le retour de forces lorsque l'aiguille traversait ces tissus au moyen d'un dispositif haptique. Shin et al. [17] ont présenté de leur côté un simulateur d'insertion d'aiguille au moyen d'un dispositif haptique. Cette simulation a été construite avec un dispositif haptique mais sans une expérience visuelle. D'autres simulateurs ont également été développés pour la formation

de différentes procédures d'insertion d'aiguille [2, 15, 18, 19]. Cependant, aucun de ces systèmes n'a été conçu avec un accent sur la fidélité d'interaction du système. Cela a pu limiter leur utilisabilité et leur utilisation puisque aucun d'entre eux n'est actuellement adopté comme outil de formation standard pour le geste d'insertion d'aiguille.

Précédentes iterations

En suivant une méthodologie de conception itérative, nous avons procédé à une analyse de la tâche des procédures de biopsie [2]. Celle-ci était basée sur l'observation d'enregistrements vidéo d'interventions réelles ainsi que sur des entretiens avec des experts. Cela a permis le développement d'un premier prototype du système [22]. Les résultats de l'évaluation de ce premier prototype nous ont permis de faire un certain nombre de choix de conception concernant certains aspects de l'interface du système (liés au point de vue et au point d'action de l'utilisateur dans l'environnement virtuel). Cependant, certaines limitations liées à la nécessité de naviguer à l'intérieur de l'environnement virtuel ont été identifiées.

Conception d'un nouveau prototype

Nous conduisons actuellement une nouvelle itération afin d'améliorer notre système. Cette itération est axée sur l'étude des aspects de fidélité des techniques de navigation des utilisateurs. À ce stade, notre objectif est d'analyser comment les différents niveaux de fidélité de l'interaction associés à chacune de ces techniques peuvent influencer sur la performance de l'utilisateur.

Logique de conception

Après une analyse plus spécifique de la tâche de navigation pendant les biopsies, nous avons pu identifier les points de vue utiles employés par le médecin lors de l'exécution de

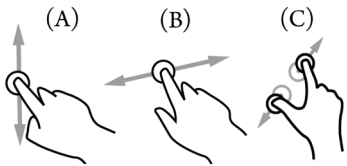


Figure 3 – Gestes utilisés pour la technique de navigation basée sur l'interaction tactile : (A/B) glisser le doigt verticalement/horizontalement pour changer le point de vue verticalement/horizontalement (C) geste de pince pour réaliser un zoom.

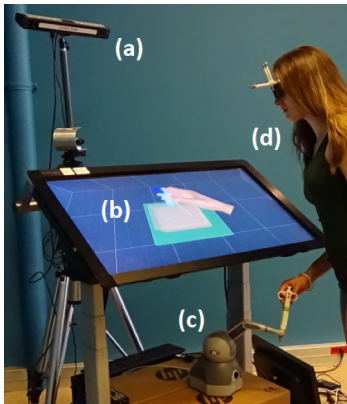


Figure 4 - Système. (a) le système de suivi optique SmartTrack; (b) table interactive multitouch 3D; (c) dispositif haptique avec porte-aiguille imprimé en 3D; (d) lunettes stéréoscopiques avec marqueurs passifs

cette tâche. En effet, la tâche de biopsie nécessite d'abord d'avoir un point de vue de dessus pour déterminer le point d'entrée dans la peau. Par la suite, le médecin passe à un point de vue plongeant (entre 30° et 60°), afin d'associer les informations haptiques perçues avec la position de l'aiguille à l'intérieur du tissu. Enfin, le médecin utilise un point de vue latéral afin de savoir à quelle profondeur se trouve l'aiguille à l'intérieur du corps du patient. Toutes ces informations sont régulièrement mises à jour à travers un scanner réalisé sur le patient afin de s'assurer du bon déroulement de la procédure. En se basant sur cette analyse, deux techniques de navigations distinctes sont proposées pour notre simulateur : une technique basée sur le suivi de la tête de l'utilisateur et une autre technique basée sur une interaction tactile. Les deux techniques permettent de couvrir un champ visuel similaire à celui utilisé par le médecin dans les trois phases identifiées précédemment. Ces techniques ont été inspectées à travers l'application du cadre théorique FIFA [12].

Selon ce cadre, les aspects de fidélité d'interaction sont classés en :

- Symétrie biomécanique : correspondance entre les mouvements du corps fait lors de l'interaction dans le simulateur et les mouvements nécessaires pour effectuer la même tâche dans le monde réel.
- Symétrie de contrôle : degré selon lequel le contrôle de la tâche du monde réel est fourni par l'interaction.
- Pertinence du système: la précision et la latence en entrée.

TECHNIQUE BASEE SUR LE SUIVI DE LA TETE DE L'UTILISATEUR

Cette métaphore de navigation se base sur le suivi de la position de l'utilisateur pour mettre à jour la position de la caméra virtuelle dans le simulateur. Avec cette technique,

l'utilisateur peut se déplacer librement à l'intérieur de la scène, simplement en déplaçant sa tête (figure 1). L'implémentation utilisée est basée sur la méthode de projection en perspective généralisée [10].

Comme défini par les aspects de FIFA, le niveau de fidélité de cette technique est élevé, principalement en raison de sa grande symétrie biomécanique et de contrôle. Interagir avec la tête pour changer le point de vue virtuel est sans doute le plus haut niveau de fidélité après la réalité. Cependant, il est important de noter que dans cette technique, la main de l'utilisateur manipulant le bras haptique n'est pas co-localisée avec le point de vue. Ceci peut avoir une influence sur la fidélité de l'interaction avec notre système.

TECHNIQUE BASEE SUR LES GESTES TACTILES

Cette métaphore est proposée pour évaluer les performances des composants de fidélité de niveau intermédiaire. La technique est inspirée du fait que les médecins utilisent leur main non dominante comme un cadre de référence local lors de l'exécution de la tâche. Ainsi, nous avons décidé d'utiliser la main non-dominante comme moyen pour naviguer dans l'environnement virtuel. Les gestes choisis (figure 3) permettent de faire des déplacements verticaux et latéraux de la scène (en faisant glisser un doigt dans le sens inverse de la direction que le déplacement souhaité) et en faisant un zoom (à l'aide du geste de pince en utilisant deux doigts). Nous avons appliqué les mêmes restrictions de déplacement du point de vue que celles observées lors du suivi de la tête de l'utilisateur (figure 2).

En inspectant cette métaphore dans le cadre FIFA, nous pouvons voir que tous les mouvements du corps impliqués dans l'interaction sont portés sur la main et les forces appliquées lors de l'interaction diffèrent de celles utilisées dans la tâche réelle. En effet, tout en faisant des gestes avec

les doigts pour faire tourner la scène virtuelle et obtenir un nouveau point de vue de la caméra, la fonction de transfert (interprétation des données d'entrée dans les données de sortie) a un niveau de fidélité assez bas. Cette technique est donc placée à niveau de fidélité d'interaction moyen.

Implémentation du système

Afin de pouvoir évaluer les deux techniques proposées, un prototype du simulateur d'insertion d'aiguille intégrant les deux techniques de navigation a été développé.

L'environnement virtuel comprend une aiguille virtuelle, et un objet rectangulaire simulant un tissu mou à deux couches (surface pénétrable), placé sur une table (surface non pénétrable). L'aiguille virtuelle est contrôlée par une interface physique. De plus, nous avons ajouté une main virtuelle tenant l'aiguille puisque celle-ci a montré son utilité en tant qu'indice spatial lors de notre précédente itération [22].

L'environnement virtuel a été développé en utilisant Unity3D avec C#. Unity3D a été choisi comme plateforme de développement car il permet une intégration facile des différents dispositifs utilisés, tels que l'interface haptique et les modules d'extensions pour la communication réseau et le rendu 3D stéréoscopique.

Nous avons utilisé une table interactive multitouch 3D d'une taille de 40", placée à un angle de 30° (figure 3).

Le retour haptique a été restitué à travers un dispositif haptique Geomagic Touch, qui permet un contrôle de la position sur 6-DdL et un retour de force sur 3-DdL. Ce dispositif est livré avec un stylet amovible, sur lequel nous avons attaché un porte-aiguille de biopsie imprimé en 3D et identique à celui d'une aiguille réelle. Nous avons réutilisé le même modèle de retour de forces que celui utilisé précédemment [21].

Le suivi de la position de la tête de l'utilisateur a été réalisé à l'aide du système SmartTrack, composé de deux caméras infrarouges pour le suivi optique. Ces caméras sont capables de détecter des marqueurs passifs ou actifs et fonctionnent à 60 fps. Les marqueurs passifs ont été attachés à une paire de lunettes 3D stéréoscopiques.

Travaux futurs

Suivant l'approche de conception itérative, nous prévoyons de réaliser deux études expérimentales pour évaluer notre système.

La première étude sera réalisée avec des experts du domaine (chirurgiens, radiologues et/ou anesthésistes). L'objectif sera de faire une validation du contenu du simulateur et des techniques de navigation proposées. Un minimum de 3 experts devra participer à cette étude.

La seconde étude expérimentale aura pour objectif de comparer les deux techniques de navigation proposées. Cette étude sera réalisée avec des utilisateurs novices dont le profil correspond à de nouveaux apprenants de ce type de gestes. Notre objectif sera de répondre aux questions de recherche suivantes :

- Est-ce qu'une fidélité d'interaction moyenne peut être suffisante pour réaliser correctement la tâche d'insertion d'aiguille.
- Est-ce que les utilisateurs pensent avoir un meilleur contrôle du système et un sentiment de présence plus élevé lorsqu'ils utilisent une technique d'interaction haute-fidélité en raison de sa similitude avec l'exécution de la tâche réelle ?

- Quelle est l'influence de la fidélité de la tâche de navigation sur l'apprentissage du geste d'insertion d'aiguille ?

Afin de pouvoir répondre à ces questions, un groupe de novices effectuera une tâche simple d'insertion d'aiguille. Cette tâche consistera en l'insertion d'une aiguille virtuelle afin d'atteindre une cible qui se trouve dans une position aléatoire à l'intérieur d'un tissu mou. Cette tâche devra être réalisée le plus rapidement et le plus précisément possible. Cette tâche nécessitera donc que l'utilisateur navigue dans la scène virtuelle à l'aide des deux techniques proposées. Des mesures subjectives et objectives seront utilisées pour comparer les deux techniques. Les mesures objectives seront le temps pour réaliser la tâche et la précision d'atteinte de la cible. Les mesures subjectives seront les réponses des participants à un questionnaire sur l'utilisabilité, la présence et le contrôle du système.

Ces évaluations nous aideront à fournir des recommandations pour la conception d'un simulateur virtuel efficace pour l'apprentissage du geste de biopsie.

Bibliographie

1. Buckley, C.E., Nugent, E., Ryan, D., Neary, P.C., 2012. Virtual Reality – A New Era in Surgical Training. In C. Eichenberg, ed. *Virtual Reality in Psychological, Medical and Pedagogical Applications*. InTech.
2. Chellali, A., Dumas, C., and Milleville-Pennel, I. Haptic communication to support biopsy procedures learning in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 21, 4 (2012), 470-489.
3. Chellali, A., Mentis, H.M., Miller, A., Ahn, W., Arikatla, V. S., Sankaranarayanan, G., De, S., Schwaitzberg, S.D., Cao, C.G.L. 2016. Achieving Interface and Environment Fidelity in the Virtual Basic Laparoscopic Surgical Trainer. *International Journal of Human Computer Studies*, Elsevier
4. Drews, F.A., Bakdash, J.Z., 2013. Simulation Training in Health Care. *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, 8(1), 191-234.
5. Gerovich, O., Marayong, P., and Ojamura, A. The effect of visual and haptic feedback on computer-assisted needle insertion. *Computer Aided Surgery*, 9, 6 (2004), 243-249.
6. Hamblin, C. J. *Transfer of training from virtual reality environments*. Wichita State University, Wichita, KS, USA, 2005.
7. Hays, R.T., Singer, M.J., 1989. Simulation fidelity as an organizing concept. In R.T. Hays & M.J. Singer, eds. *Simulation Fidelity in Training System Design, Recent Research in Psychology*. New York, NY, USA: Springer, 47-75.
8. Johnson, S.J., Guediri, S.M., Kilkenny, C., Clough, P.J., 2011. Development and validation of a virtual reality simulator: human factors input to interventional radiology training. *Human Factors*, 53(6), 612-625.
9. Kim, H., Rattner, D., Srinivasan, M., 2003. The role of simulation fidelity in laparoscopic surgical training. In *the proceedings of the 6th International Conference on Medical Imaging Computing and Computer-Assisted Intervention*, 1-8.
10. Kooima, R. (2009). Generalized Perspective [Online] Available at: "<http://csc.lsu.edu/~kooima/articles/genperspective/index.htm>" [Accessed 16 September 2016].
11. Maguire, M., 2001. Methods to support human-centred design. *International Journal of Human-Computer Studies*, 55(4), 587-634.
12. McMahan, R., 2011. *Exploring the Effects of Higher-Fidelity Display and Interaction for Virtual Reality Games*. PhD Dissertation. Blacksburg, VA: Virginia Polytechnic Institute and State University.

13. McMains, K., Weitzel, E., 2008. Low-Fidelity Simulation for Skill Attainment in Endoscopic Sinus Surgery. *The Internet Journal of Otorhinolaryngology*, 11(1).
14. Nguyen D.V. Ben Lakhal, S., Chellali, A. 2015 Preliminary Evaluation of a Virtual Needle Insertion Training System. In proceedings of the Virtual Reality conference (IEEE VR'15), 247-248.
15. Ra, J.B., Kwon, S.M., Kim, J.K. et al. Spine Needle Biopsy Simulator Using Visual and Force Feedback. *Computer Aided Surgery*, 7, 6 (2002), 353-363.
16. Ragan, E.D., Bowman, D.A., Kopper, R., Stinson, C., Scerbo, S., McMahan, R.P., 2015. Effects of Field of View and Visual Complexity on Virtual Reality Training Effectiveness for a Visual Scanning Task. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 21(7), 794 - 807.
17. Shin, S., Park, W., Cho, H., Park, S., and Kim, L. Needle Insertion Simulator with haptic feedback. In *Proceedings of the 14th international conference on Human-computer interaction*, 119-124.
18. Sutherland, C., Hashtrudi-Zaad, K., Sellens, R., Abolmaesumi, P., and Mousavi, P. 2013. An Augmented Reality Haptic Training Simulator for Spinal Needle Procedures. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60 (11), 3009-3018.
19. Torres, R.S., Biscaro, H.H., Araújo, L.V., and Nunes, F.L.S. 2013. ViMeTGame: A serious game for virtual medical training of breast biopsy. *SBC Journal on 3D Interactive Systems*, 3 (3), 12-22.
20. von Zadow, U., Buron, S., Harms, T., Behringer, F., Sostmann, K., Dachsel, R., 2013. SimMed: combining simulation and interactive tabletops for medical education. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '13)*, 1469-1478.
21. Yang, X., Lee, W., Choi, Y., You, H., 2012. Development of A User-Centered Virtual Liver Surgery Planning System. In *the proceedings of the 56th Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 1772-1776.
22. Nguyen D.V. Ben Lakhal, S., Chellali, A., 2015. Preliminary Evaluation of a Virtual Needle Insertion Training System. In *Proceedings of the IEEE Virtual Reality Conference (IEEE VR '15)*, 247-248.