

Peinture numérique 3D bi-manuelle: interaction pour la réalité augmentée en spectacle vivant

Alexis Clay[♦], Jean-Christophe Lombardo[◊], Nadine Couture^{♦*}, Julien Conan[♦]

[♦]ESTIA

Technopole Izarbel,
64210 Bidart, France
{a.clay, j.conan}@estia.fr

[◊]INRIA

2004 Route des Lucioles - BP 93
06902 Sophia Antipolis cedex
jean-christophe.lombardo@inria.fr

^{*}LaBRI

Technopole Izarbel,
64210 Bidart, France
n.couture@estia.fr

ABSTRACT

The rise of gestural interaction led artists to produce shows, or installations based on this paradigm. We present the first stages of the « Sculpture numérique » (Virtual Sculpture) project. This project was born from a collaboration with dancers. Its goal is to propose bi-manual interactions in a large augmented space: we aim at giving dancers the possibility to generate and manipulate virtual elements on stage using their hands. We built two prototypes; one in a CAVE environment, and one intended for the stage. An initial user study was conducted to obtain feedbacks both from laypersons and professional dancers.

Author Keywords

Virtual Sculpture; CAVE; surface generation; digital arts; virtual reality.

ACM Classification Keywords

J.5.2 [Computer Applications]: Arts and Humanities – Arts, fine and performing; H.5.2 [Information Systems]: Information interfaces and presentation—User Interface

General Terms

Human Factors; Design.

INTRODUCTION

L'informatique ubiquitaire implique la fusion des mondes réels et numériques. Dans cet article nous traitons du cas particulier de la peinture numérique pour augmenter un spectacle en temps réel. Le projet CARE (Cultural experience: Augmented Reality and Emotions), clos en mars 2011, avait pour objectif de concevoir un ensemble d'outils de conception, de techniques d'interaction et de systèmes permettant d'utiliser l'émotion pour augmenter un événement culturel. L'un des cas d'application était le ballet augmenté: notre but était d'augmenter un spectacle de ballet et de permettre à un danseur d'interagir avec les éléments virtuels sur scène. Le projet Sculpture Numérique est une suite du projet CARE. Nous souhaitons dépasser la simple manipulation d'objets virtuels sur scène en proposant au danseur de créer ses propres traits et formes sur scène. Le dessin ainsi généré offre une rémanence et un rendu visuel du mouvement sur scène. Les interactions proposées se veulent simples à appréhender. En effet, une interaction directe (i.e. proposant une relation évidente entre l'input et l'output) est mieux comprise par le public et laisse un champ d'exploration directe aux chorégraphes et danseurs,

permettant ainsi une meilleure intégration de la technologie dans la proposition artistique.

Nous décrivons le travail réalisé sur la première interaction mise en place dans le cadre du projet Sculpture Numérique : la peinture 3D, qui propose la génération de matière virtuelle à la main, dans un grand espace. L'utilisateur est ainsi capable de générer une surface ou un volume dans l'espace 3D, dont la section est définie par la conformation de sa main, et dont le tracé longitudinal est défini par le mouvement de la main. La métaphore est ainsi très directe : la matière virtuelle semble naître sous la main de l'artiste et reste figée dans l'espace. L'espace devient un support vierge dans lequel il devient possible de peindre. Bien qu'issu de notre cas applicatif qu'est la danse, l'aspect naturel de la métaphore utilisée rend cette interaction extensible à d'autres domaines, comme l'application de matériaux composites en couches, où le mouvement de la main peut définir l'orientation du matériau.

Après un court état de l'art, nous décrivons l'interaction proposée. Nous décrivons ensuite deux prototypes permettant la peinture 3D, mettant en œuvre des technologies différentes. Nous discuterons ensuite des travaux envisagés, avant de conclure.

ETAT DE L'ART

Le but de notre système est de permettre à un utilisateur de dessiner directement dans un espace 3D. Il ne s'agit pas ici d'offrir un outil de modélisation 3D (type 3DSMax), mais plutôt d'offrir un outil d'esquisse dans l'espace. Plusieurs techniques sont possibles pour dessiner directement en 3D dans un espace immersif. Deisinger *et al.* [2] ont conduit une expérimentation en CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) sur plusieurs systèmes de modelage faisant appel à trois techniques différentes. La première est la création de matière par injection de "substance" à un point donné. Dans cette approche, l'artiste ajoute un volume de matière, et son mouvement crée la forme. Ainsi, le système *BLUISculpt* [1] découpe l'espace en voxels, que l'artiste peut peindre. La deuxième est la génération de surfaces. Dans le système testé dans [2], l'artiste définit un polygone plat par des points dans l'espace, et attache les polygones successivement créés à son dessin. Enfin, le troisième système propose une génération automatique de surfaces à partir de courbes directrices dessinées par l'artiste. Ce

principe a été repris dans le système *FreeDrawer*, où le modèleur trace des B-splines dans l'espace 3D; les lignes formant une boucle fermée peuvent être remplies par des surfaces [5]. Deisinger *et al.* tirent de leur expérimentation des préconisations pour un modèleur immersif. Idéalement, ce dernier doit 1) être un outil de la phase conceptuelle jusqu'à un certain degré d'élaboration; 2) cacher la complexité mathématique de la représentation; 3) proposer une interaction directe et en temps réel, 4) permettre un modelage à grande échelle dans un large volume, et 5) être intuitif.

Notre approche plus artistique nous amène à nous concentrer sur les trois derniers points proposés. Nous nous inspirons en particulier de deux systèmes proposés dans la littérature. Le système *SurfaceDrawing* de Schkolne *et al.* [4] permet à l'utilisateur de générer directement à la main, grâce à un gant de données, des surfaces 3D dans un espace virtuel. La visualisation se fait grâce au *responsive workbench*, un écran horizontal capable d'afficher le résultat en 3D. L'utilisateur porte des lunettes 3D munies de capteurs de positions, permettant ainsi au *responsive workbench* d'adapter son affichage à la position de l'utilisateur. Le système *CavePainting*, de Keefe *et al.* [3], propose un certain nombre d'interfaces tangibles (par exemple pinceau, pot de peinture) pour permettre de peindre dans le volume défini par un système CAVE. Le peintre y est ainsi capable de tracer des traits de peinture dans l'espace 3D dans lequel il se trouve, suffisamment grand pour pouvoir se déplacer à l'intérieur. Notre prototype de sculpture numérique fusionne ces deux approches, en associant l'interaction à main levée de Schkolne *et al.* et la visualisation en CAVE de Keefe *et al.*

SurfaceDrawing et *CavePainting* proposent tous deux un ensemble d'interactions relatif à la tâche à effectuer: dessin sur le responsive workbench pour l'un, peinture en 3D pour l'autre. Excepté la génération de surfaces à la main de *SurfaceDrawing*, ces interactions font intervenir des interfaces tangibles. Dans le but de proposer la peinture 3D à la danse, nous comptons dans un premier temps limiter les interactions aux interactions manuelles.

Les prototypes présentés dans cet article peuvent être vus comme des répliques des systèmes *SurfaceDrawing* et *CavePainting*. L'originalité vient ici de la combinaison de la génération de surfaces à la main et de l'utilisation d'un environnement immersif. Les systèmes proposés serviront de base à la conception d'interactions pour la Peinture 3D sur scène.

Nous proposons donc une interaction directement issue de [4] et permet la génération de surfaces à la main. La forme de la main à un moment donné donne la forme du trait. Ainsi, nous relevons la position du poignet ainsi que les positions des articulations et de l'extrémité du majeur. La courbe formée par ces points au temps t définit la section de la surface à générer en t . Cette courbe de section est relevée régulièrement (typiquement entre 2 et 10 fois par seconde).

A chaque nouvelle courbe relevée, la surface entre les sections t et $t-1$ est générée (voir figure 1). Pour dessiner une surface, l'artiste doit donc effectuer un mouvement où la main se déplace parallèlement à la surface de la paume (comme dans un geste de salut).

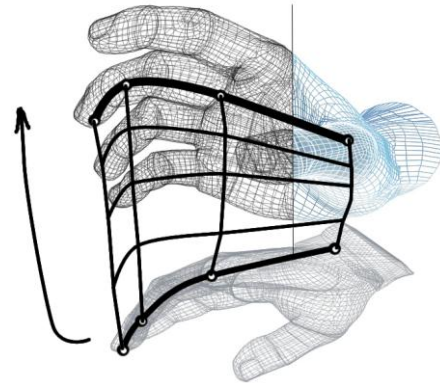


Figure 1. Tracé d'une surface de Bézier par le mouvement de la main.

Nous tirons également de [4] une interaction modale : la position du pouce permet de passer d'un mode "dessin" à un mode "mouvement libre". Ceci est assimilable au dessinateur levant son crayon pour dessiner un nouveau trait. Lorsque le pouce est collé à la paume, la surface ou le volume est généré. En position relâchée (pouce non collé), rien n'est généré.

Il est à noter que la chaque interaction est relative à une main. Ceci permet d'utiliser les deux mains en parallèle, prévenant ainsi une asymétrie limitatrice dans la réalisation d'une chorégraphie.

PROTOTYPES REALISES

Nous avons réalisé deux prototypes permettant d'explorer la peinture 3D dans un grand espace. Ces deux prototypes se limitent pour le moment à la génération de surfaces à la main. Le premier prototype a été développé pour un système immersif CAVE. Ce système présente l'avantage d'offrir un espace large où espaces d'action et de perception sont confondus pour l'artiste. Il n'est cependant pas adapté à la présence d'un public, le point de vue étant positionné par rapport à l'artiste. Ce prototype a donc été développé pour que les artistes puissent se familiariser avec la peinture 3D en voyant leurs créations, et pour leur permettre d'explorer les techniques proposées et de proposer eux-mêmes de nouvelles interactions. Le deuxième prototype, en cours de réalisation, est développé pour un environnement de scène, où les augmentations sont projetées: celles-ci sont donc perceptibles en 3D par un public, mais l'artiste lui-même perçoit un rendu stéréoscopique non adapté à sa position.

Peinture 3D en CAVE via isiVR

Le prototype développé utilise le cube immersif (CAVE) de la salle immersive *Gouraud-Phong* du Centre de Recherche INRIA Sophia Antipolis-Méditerranée. Cet environnement

est composé de quatre surfaces de projection (au sol et trois murs), formant un cube d'environ 3mx3mx3m. Le cube est équipé d'un système optique infra rouge de suivi de position. L'utilisateur porte des lunettes munies de réflecteurs infrarouges pour un rendu stéréoscopique adapté au point de vue de l'utilisateur. Des réflecteurs permettent également d'avoir les positions et orientations du poignet et des extrémités du pouce, index et majeur.

Afin de faciliter l'appropriation de la salle *Gouraud-Phong* par ses chercheurs et leurs collaborateurs, INRIA développe isiVR, un middleware permettant de libérer les développeurs des contraintes spécifiques à toute application immersive. Basé sur le moteur de rendu openSource OpenSceneGraph, isiVR permet la gestion des périphériques d'entrée, des systèmes d'affichage, du rendu stéréoscopique avec suivi de position (*head tracking*), de l'éventuelle utilisation d'un cluster et des problèmes de communication et de synchronisation qui en découlent. Les utilisateurs peuvent ainsi se concentrer sur leur problématique spécifique. isiVR sera prochainement mis à la disposition de la communauté openSource.

Dans ce prototype, nous utilisons les capteurs infrarouges du cube pour suivre le poignet et les doigts. Pour générer la surface, nous considérons quatre points le long du majeur : les deux points extrêmes (poignet et bout du doigt) sont obtenus directement depuis isiVR. Les points intermédiaires sont obtenus par calcul, grâce à l'orientation du poignet (resp. de la dernière phalange) et la longueur du dos de la main (resp. de la dernière phalange). Les quatre points ainsi définis forment les points de contrôle d'une courbe de Bézier cubique. Cette courbe de Bézier est utilisée comme génératrice pour construire une surface de Bézier grâce au mouvement de la main. La surface est donc définie mathématiquement au lieu d'être définie par un ensemble de vertex. Cette technique a pour avantage de permettre un contrôle plus facile de l'échantillonnage et donc de potentiellement manipuler le niveau de détail des surfaces générées, afin d'éviter le traitement d'un trop grand nombre de points. Une vidéo du résultat obtenu est disponible en [7].

Peinture 3D sur scène pour un public

Le deuxième prototype que nous développons est en cours de réalisation. Le but est ici de reprendre le travail réalisé lors du projet CARE pour l'augmentation d'une scène de ballet (voir vidéo [6]). Dans cette optique, nous utilisons un écran de rétroprojection sur lequel sont affichées les surfaces générées. La rétroprojection permet en effet de ne pas être gêné par l'ombre du danseur sur la surface de

projection. Nous utilisons pour la capture une combinaison MVN [8] de capture du mouvement, complétée par des gants de données 5DT14U [9]. Ces gants de données ne donnent qu'un ratio de torsion (entre 0 et 1) pour 14 des degrés de liberté de la main (2 phalanges par doigt et les 4 inter-doigts). Nous avons donc développé un système prenant en paramètre les mesures d'une main pour calculer la position de chaque phalange à partir des données d'un gant. Le système gère la fusion des données de la combinaison MVN et des gants pour les mains gauche et droite, délivrant ainsi en sortie les coordonnées complètes (segments du corps et phalanges) d'un squelette par rapport à un repère absolu sur scène.

Nous utilisons le logiciel Virtools pour piloter les aspects graphiques de ce deuxième prototype. Les fonctions génériques de Virtools permettent de tracer les deux courbes dont nous avons besoin en suivant le dessin de la main. Un *Building Block* développé en interne nous permet de récupérer les nœuds de ces courbes (vertex), d'implémenter le maillage de notre surface (meshes), puis d'y appliquer la texture voulue (UV-mapping).

EVALUATIONS UTILISATEURS

Nous avons conduit deux études utilisateur exploratoires pour obtenir un premier retour sur nos systèmes. Nous avons ainsi testé le système pour la scène avec quatre personnes (deux novices et deux personnes ayant déjà expérimenté). Deux danseurs/chorégraphes ont également été mis à contribution : chacun a pu essayer un unique système, à cause de l'éloignement géographique. Nous avons ensuite recueilli leurs avis par des entretiens informels.

Evaluation par des profanes

Quatre utilisateurs lambda ont manipulé notre système pour la scène. Chaque sujet devait passer par une micro-phase d'apprentissage en dessinant des figures géométriques basiques (carré, triangle, cercle). L'exercice suivant consistait à dessiner 1) une tête de Mickey, 2) une île déserte (utilisation de tout l'espace pour dessiner), et 3) un tunnel englobant (dessin d'une surface autour de l'utilisateur). Les sujets devaient ensuite évaluer leurs propres dessins de 0 à 6, et évaluer leur expérience émotionnelle sur la Geneva Emotion Wheel [4]. Un observateur tiers notait également chaque création.

Les utilisateurs n'étaient que moyennement satisfaits de leurs dessins ; leurs évaluations concordaient avec celles de l'observateur externe (moyennes resp. de 3.7 et 3.8 sur 6). Il était difficile pour les utilisateurs de se situer dans l'espace virtuel. Nous faisons l'hypothèse que cette difficulté

Tableau 1: Comparaison des deux systèmes, guide pour améliorations futures

	ESPACE LARGE	IMMERSION – FUSION DES ESPACES D'ACTION ET DE PERCEPTION	TRANSPORTABLE – POUR UN PUBLIC	RENDU STEREO POUR L'ARTISTE	RENDU STEREO POUR LE PUBLIC	ENGAGEMENT	REALTIME & DIRECT INTERACTION	COUT	INTRUSIF POUR L'ARTISTE	PRECISION	USABILITE & EXPERIENCE
CAVE	+	++	--	++	--	++	++	--	-	++	++
SUR SCENE	++	+	++	+	+	++	+	+	--	+	+

provient principalement de restrictions techniques. Le système pour la scène est en effet moins précis que le système CAVE (des erreurs de positionnement d'environ 10cm peuvent apparaître sur chaque main). De plus, l'utilisation d'un écran unique limite le champ de vision et parasite l'immersion.

Les utilisateurs néophytes avaient tendance à constamment observer l'écran et à produire des dessins 2D. Les utilisateurs plus expérimentés utilisaient l'espace à leur disposition, produisant de véritables dessins 3D. Ces derniers s'appuyaient plus sur leur propre vision imaginaire de la scène virtuelle pour dessiner, focalisant sur les mouvements et ne se référant à l'écran que pour d'occasionnels retours.

Evaluation par des danseurs

Nous avons demandé à deux danseurs d'essayer nos systèmes, afin d'obtenir un premier retour. Les danseurs ont l'habitude d'analyser leurs mouvements, à la fois mécaniquement et en relation avec l'espace ; ils font ainsi preuve d'une capacité à verbaliser intéressante en expérimentation. Chaque danseur s'est révélé enthousiaste quant à la technologie proposée. Leur but n'était pas tant de dessiner que d'explorer comment leurs mouvements se transcrivaient en traits.

L'intrusivité des systèmes (en particulier le système pour la scène, requérant de porter une combinaison complète) n'a pas été une contrainte forte pour les danseurs, qui voient dans la contrainte une source de création. La réactivité et la précision du système sont cependant des facteurs déterminants. Le système en CAVE, plus réactif et plus précis a ainsi été apprécié du danseur l'ayant essayé (à titre indicatif, le danseur lui a spontanément donné une note de 8/10), alors que le prototype pour la scène a généré plus de frustration.

Comme pour les utilisateurs lambda, les danseurs ont d'abord porté leur attention sur les traits ; dès le départ cependant, ceux-ci ont tiré parti de tout le volume d'action pour dessiner. Après quelques minutes, les danseurs se sont focalisés sur leurs propres techniques, voyant dans la peinture une rémanence de leurs mouvements. Cette façon de percevoir le système les a interpellés pour la chorégraphie. Selon l'un des danseurs, « la peinture 3D révèle la forme du mouvement dans l'espace. Elle montre que le mouvement n'est pas seulement une abstraction, mais également une description de l'espace, ce qui est très intéressant pour la chorégraphie. »

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans le cadre du projet Sculpture Numérique, nous avons réalisé deux prototypes mettant en œuvre la génération de

surfaces. Le premier prototype utilise un cube immersif et permet aux artistes de se familiariser et d'explorer l'outil proposé. Le deuxième prototype a été construit selon les contraintes d'un affichage sur scène. L'artiste est alors aveugle à ses créations mais grâce à un affichage stéréoscopique, le public a alors l'illusion que les surfaces 3D générées se trouvent dans l'espace scénique et naissent instantanément sous les mains du danseur. Les premiers retours sur nos systèmes sont très prometteurs, tant de la part des utilisateurs classiques que des danseurs. Nous avons résumé (Tableau 1) une comparaison des deux systèmes. Le prototype pour la scène doit être amélioré en termes de précision et de réactivité pour pouvoir être totalement fonctionnel. Ceci peut être réalisé par l'utilisation d'un matériel plus adapté (capteurs IR pour la tête et les poignets par exemple).

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les danseurs/chorégraphes Gildas Diquero, Gaël Domenger, et le centre chorégraphique national Malandain Ballet Biarritz.

REFERENCES

1. Brody, B., Chappell, G.G. and Hartman, C. BLUIsculpt™. In *ACM SIGGRAPH 2002 conference abstracts and applications* (SIGGRAPH '02). ACM (2002), New York, NY, USA, 291-291.
2. Deisinger, J., Blach, R., Wesche, G., Breining, R. and Simon, A. Towards immersive modeling – challenges and recommendations: a workshop analyzing the needs of designers. In *Eurographics Workshop on Virtual Environments* (2000), 145-156.
3. Keefe, D. F., Feliz, D. A., Moscovich, T., Laidlaw, D. H., and LaViola, J. J. CavePainting: a fully immersive 3D artistic medium and interactive experience. In *Proceedings of the 2001 Symposium on interactive 3D Graphics I3D '01*. ACM (2001), New York, NY, 85-93.
4. Schkolne, S., Pruett, M., and Schröder, P. Surface drawing: creating organic 3D shapes with the hand and tangible tools. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (Seattle, Washington, United States). CHI '01. ACM (2001), New York, NY, 261-268.
5. Wesche, G. and Seidel, H.P. FreeDrawer: a free-form sketching system on the responsive workbench. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology* (VRST '01). ACM (2001), New York, NY, USA, 167-174.
6. Vidéo du projet CARE : <http://www.youtube.com/watch?v=Bbl0CxFcUZw>
7. Vidéo Peinture 3D en cube immersif : <http://www.youtube.com/watch?v=5JR3A5KQ-dg>
8. Site web XSens : <http://www.xsens.com/>
9. Site Web 5DT : <http://www.5dt.com/>