

Le Tableau Magique

François Bérard, Joëlle Coutaz, James L. Crowley

Laboratoires CLIPS-IMAG et GRAVIR-IMAG

Equipes IIHM et PRIMA

BP 53, 38041 Grenoble, France

francois@media.mit.edu, {joelle.coutaz, jlc}@imag.fr

RESUME

Le tableau mural est un objet courant dans nos activités professionnelles ou privées. Faisant le constat de l'inadéquation des tableaux électroniques comme support aux activités de réflexion, nous proposons comme alternative le Tableau Magique, un tableau blanc conventionnel véritablement amplifié. Nous en présentons les principes directeurs : usage harmonieux de la physicalité et de la virtualité, manipulation directe plus directe avec le concept d'interaction fortement couplée au doigt et ses conséquences sur la mise en œuvre technique par un système de suivi par ordinateur.

MOTS CLES : Tableau électronique, réalité augmentée, interaction fortement couplée, suivi du doigt, vision par ordinateur.

INTRODUCTION

Présent au bureau, dans les salles d'enseignement comme au domicile, le tableau mural s'inscrit dans nos activités quotidiennes professionnelles ou privées. Destiné à l'écriture, il sert aussi de support à des objets porteurs de message : post-it, cartes postales, objets aimantés. En bois, à l'origine, ou en ardoise, le tableau mural fait maintenant appel à des matériaux très variés. Parmi ses formes et usages multiples, nous retenons l'utilisation du tableau blanc conventionnel comme support à la réflexion de groupe.

La co-réflexion se traduit par la production et l'organisation collectives d'idées. L'écriture de textes, de schémas et de formules accompagne la discussion orale. La réunion peut être planifiée ou s'engager de façon fortuite. Le tableau blanc conventionnel présente plusieurs propriétés favorables à ces conditions d'usage :

- Sans apprentissage préalable, le tableau est accessible à tous.
- Disponible à tout instant, il permet une utilisation opportuniste instantanée (sous réserve cependant que les feutres et la brosse d'effacement soient en bon état de marche !).
- Sa surface allant jusqu'au pan mural, offre un confortable espace de travail : plusieurs personnes peuvent évoluer à proximité du tableau, agir simultanément sur les inscriptions, explorer mentalement ou retrouver une information. Par comparaison, les présentoirs papier limitent la

fluidité des accès physiques et mentaux au référentiel commun.

Ces avantages doivent cependant être tempérés par quelques insuffisances fonctionnelles [11]:

- En cours de réunion, la réorganisation spatiale des inscriptions nécessite une reproduction manuelle ; Une inscription utile peut être effacée par inadvertance.
- En fin de réunion, l'absence de dispositif d'archivage et de diffusion entraîne une recopie manuelle du contenu au risque de trahir ou d'omettre des détails sémantiques importants.
- Après la réunion, la genèse du contenu est perdue : on ne peut pas rejouer le processus de co-construction.

Les tableaux électroniques de l'offre commerciale [9, 14, 17] visent à combler les manques du tableau blanc conventionnel sans toutefois parvenir à conserver ses qualités intrinsèques. Un manquement fondamental, à notre sens, est l'indisponibilité immédiate des services : le système doit être mis en marche avant utilisation, sous peine de perdre les inscriptions réalisées lorsque le système est inactif. Ceci limite la migration spontanée d'une discussion orale vers un support écrit sur le tableau. En pratique, plutôt que de briser le flux des idées, les participants choisiront souvent d'utiliser le tableau avec des feutres conventionnels, sans activer le système. Ce problème vaut pour tous les tableaux électroniques qui enregistrent la trajectoire des instruments de dessin au moment de leur manipulation.

Les techniques de capture de trajectoires à la volée, qu'elles soient tactiles, optiques ou à ultrasons, n'atteignent pas, sous forme électronique, la qualité visuelle des inscriptions du feutre naturel : si la position et les couleurs sont modélisées, l'épaisseur et la forme du trait original ne sont pas prises en compte. Pour certains systèmes, la faible résolution spatiale (déplacement minimal détectable) ne permet pas la capture de petites inscriptions. Si la résolution temporelle est insuffisante (fréquence d'échantillonnage des positions de la trajectoire), les dessins exécutés par des mouvements rapides apparaissent hachés, constitués d'une succession de segments de droite.

Les tableaux qui autorisent l'usage des feutres à encre font de la physicalité un apport illusoire : toute inscription au feutre se voit systématiquement doublée en retour d'une inscription électronique. Ce doublon qui, de surcroît, peut être de couleur différente à l'original physique, nuit à la lisibilité et ne présente aucune valeur ajoutée du point de vue informationnel. Dans ces conditions, l'utilisateur est conduit à effacer l'original, tâche articulatoire supplémentaire nuisible à la productivité. Dans ces conditions, quelle est l'utilité de l'encre physique ? Les tableaux fondés sur les crayons optiques [6] n'ont pas d'encre physique, mais sont exclus du processus de construction, les moyens qui nous sont familiers : brosse, mouchoir jetable, effacement direct au doigt.

Semblables dans l'esprit à leurs homologues de la station de travail, ces tableaux, par l'inflation de services, vont à l'encontre de la simplicité du tableau conventionnel. Or l'expérience pionnière en la matière autour du projet Tivoli, montre la nécessité d'opter pour un nombre restreint de services [12]. Parce qu'ils sont résolument électroniques, ces tableaux sont incapables de capter des inscriptions produites sur des supports physiques externes tels que les post-It ou aimants susceptibles d'intervenir comme acteurs de l'interaction avec le système [7].

Au vu de cette analyse, nous proposons comme alternative le Tableau Magique, un tableau blanc conventionnel véritablement amplifié. Nous présentons les principes directeurs de sa conception puis nous développons l'un d'entre eux : le concept d'interaction fortement couplée au doigt et ses conséquences sur la mise en œuvre technique par un système de suivi par ordinateur.

LES PRINCIPES DU TABLEAU MAGIQUE

Les principes qui ont prévalu à la conception et à la mise en œuvre du Tableau Magique se résument ainsi :

- Utilisation de matériel commun disponible dans le commerce,
- Usage harmonieux de la physicalité et de la virtualité, autrement dit : application des principes fondateurs de la Réalité Augmentée au cas des tableaux,
- Manipulation directe plus directe : le doigt comme dispositif d'interaction et ses conséquences en terme d'interaction fortement couplée,
- Ajout contrôlé de contraintes : une contrainte ne peut être introduite que si a) elle simplifie un problème technique pour lequel aucune solution n'est a priori disponible, et si b) les conséquences de son introduction ne sont pas fatales au système final (le système a encore du sens ; il est utilisable).

Nous développons ci-dessous chacun de ces points.

Matériel commun

Sur le plan technique, le composant de base du Tableau Magique est un tableau blanc conventionnel. Comme le montre la figure 1, une caméra vidéo mobile (Sony EVI D31) capte un flux vidéo que traite une station de travail Apple Macintosh 8600 équipé d'un PowerPC à 350 Mhz. Ce traitement a deux finalités : interpréter des mouvements de doigt et capter les inscriptions à encre physique du tableau. Le retour d'information du système est assuré par un projecteur vidéo.

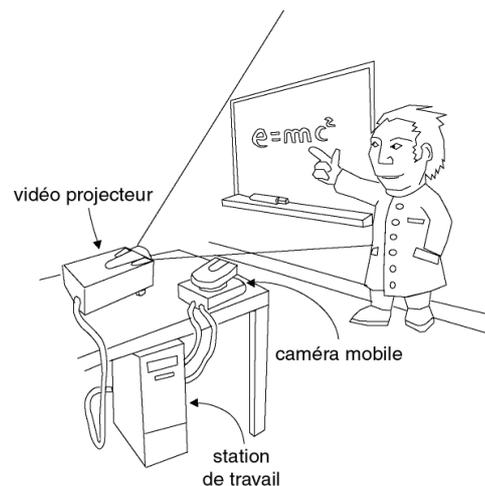


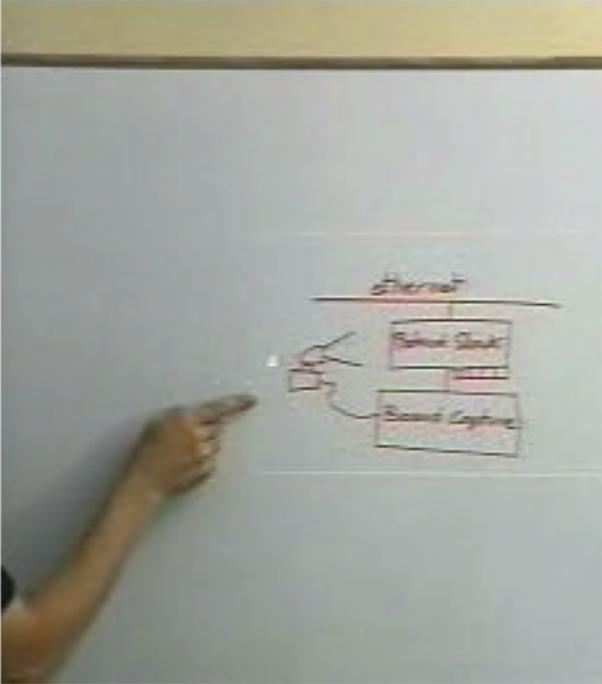
Figure 1 : L'appareillage du Tableau Magique.

Physicalité et virtualité

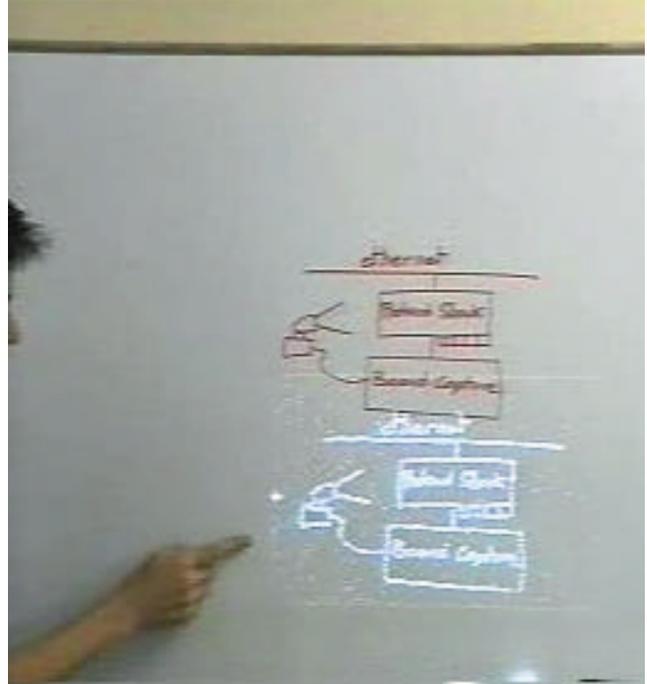
Héritier direct du Bureau Digital [19], le Tableau Magique adopte résolument les principes fondamentaux de la Réalité Augmentée (RA):

- Il s'appuie sur des objets physiques qui nous sont familiers : un tableau blanc conventionnel, des feutres de couleur à encre effaçable et une brosse effaceur ;
- Le doigt nu sert de dispositif d'entrée pour la désignation d'emplacements sur le tableau. Le doigt est nu pour répondre au requis d'interaction rapide nécessaire à la réflexion de groupe.

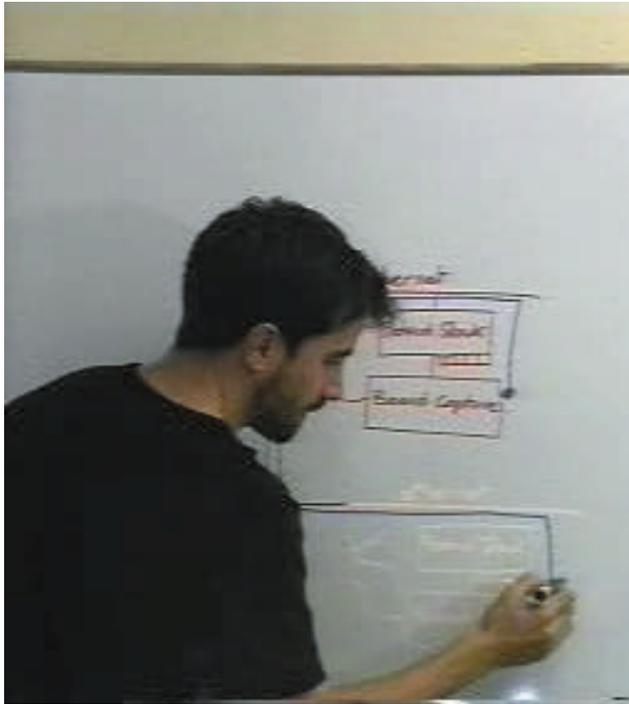
Au-delà des principes généraux de la RA et en accord avec l'analyse rapportée dans [10], nous avons privilégié la simplicité d'utilisation au détriment du nombre de services. Sur le plan fonctionnel, le tableau magique permet de déplacer une partie des inscriptions, d'en faire des copies, de sauver tout ou partie du contenu dans un fichier ou de l'imprimer. Une inscription est à encre électronique ou physique mais jamais les deux à la fois car la capture par caméra vidéo permet d'éviter les doublons des tableaux électroniques : ce qui est vu est éliminé des retours d'information.



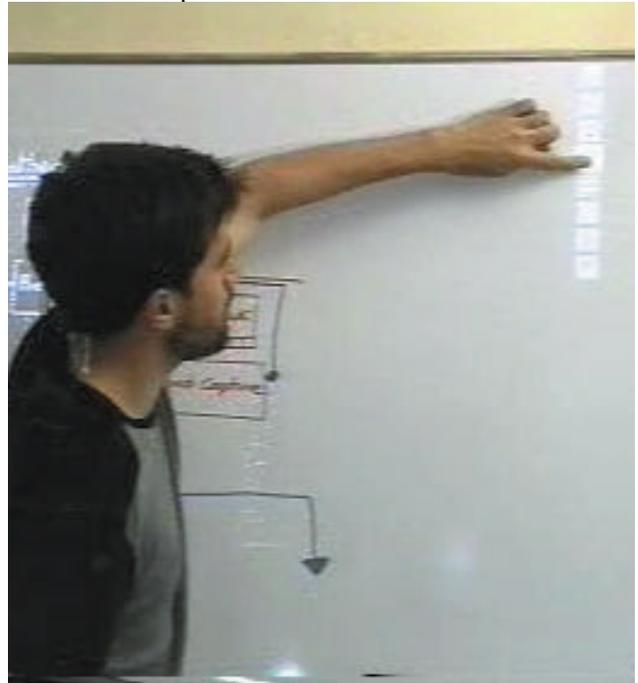
a) Sélection au doigt d'un schéma à encre physique. Un rectangle élastique est asservi au mouvement du doigt comme dans les interfaces à manipulation directe. Le suivi s'arrête à la détection d'une pause.



b) Copie du schéma sélectionné en a). Pour cela, l'utilisateur a placé son doigt à l'intérieur du rectangle de sélection, a marqué une pause afin de solliciter le système de suivi. Une copie électronique à basse résolution du dessin est alors asservie au mouvement du doigt jusqu'à la détection d'une pause.



c) Le dessin est complété au feutre à encre.



d) Lancement de commande via le menu électronique.

Figure 2 : Séquence d'interaction au doigt du Tableau Magique tirée de <http://iihm.imag.fr/demos/magicboard/>

La capture vidéo permet aussi de répondre au requis de disponibilité, de migration opportuniste entre le physique et le virtuel et d'accès concurrent :

- Ce qui a été écrit au tableau avant la mise en marche du système peut être récupéré à la volée. S'il est vrai que le système doit être calibré, cette opération n'a lieu qu'une seule fois à l'installation du tableau, de la caméra et du vidéoprojecteur.
- Au cours de la réflexion commune, il est possible de capturer le contenu d'un support physique externe pourvu qu'il soit fixé au tableau (post-it, image).
- Plusieurs utilisateurs peuvent simultanément écrire à l'encre physique sur le tableau alors que dans le cas des tableaux électroniques, la surface d'affichage est une ressource critique.

La technique de capture vidéo est présentée en détail dans [3, 16]. Nous n'y reviendrons pas dans cet article.

Manipulation directe plus directe

Du point de vue interactionnel, nous avons transposé au doigt les actions usuelles de la manipulation directe avec la souris, favorisant ainsi la réutilisation de compétences acquises. Ce faisant, nous offrons une « manipulation directe plus directe » puisque le doigt, non pas le pointeur de la souris qui en est le représentant, agit sur l'objet d'intérêt. Le dispositif intermédiaire, la souris, est ici supprimé [2].

À l'instar du Bureau Digital, le tableau magique est confronté à l'absence d'équivalent du bouton de la souris. Nous proposons une solution fondée sur la notion de pause qui a l'avantage de ne pas requérir de dispositif physique supplémentaire. Les pauses, assimilées à des clics souris, sont détectées par une analyse spatio-temporelle de la trajectoire du doigt. Il y a pause si le pointeur reste stable pendant un laps de temps. La détection de pause présente le risque de ralentir l'interaction si la pause est trop longue. Or la rapidité d'interaction est un objectif incontournable. Nos premières expériences indiquent qu'une valeur de 0,5 s. est convenable. Notre solution présente également le risque de détecter des pauses non intentionnelles. Nous reviendrons sur ce problème des fausses alarmes.

Un retour graphique informe l'utilisateur de la détection d'une pause par un changement de forme du pointeur. Initialement, le pointeur a la forme d'une flèche. A la première pause qui définit le premier angle de sélection, le pointeur prend la forme d'une croix. À la seconde pause, alors que le rectangle de sélection est défini, le pointeur reprend la forme d'une flèche. La détection de pause pourrait aussi être rendue plus perceptible par l'émission d'un son.

Cet engagement direct dans l'action que nous préconisons suppose que les requis de l'interaction fortement couplée soient satisfaits.

INTERACTION FORTEMENT COUPLÉE

En Interaction Homme-Machine, la notion de couplage étroit est utilisée de manière informelle pour désigner différents types de dépendance entre un système et ses utilisateurs. Le concept de "retour d'information immédiat et informatif", introduit avec la manipulation directe, exprime le besoin d'une réaction système conforme à l'attente des utilisateurs tant du point de vue informationnel que temporel. Nous précisons la notion d'interaction fortement couplée et définissons trois facteurs qu'il convient de considérer dans la mise en œuvre de systèmes de suivi : latence, résolution et stabilité statique pour lesquelles nous définissons des métriques.

Définition

Une interaction est fortement couplée sur un intervalle de temps donné lorsque les systèmes humain et artificiel sont engagés de manière continue dans l'accomplissement d'actions physiques mutuellement perceptibles et dépendantes sur cet intervalle. Le contrôle du pointeur avec le doigt, dont la trajectoire est observée par une caméra, relève de l'interaction fortement couplée. Le système humain (l'utilisateur) accomplit une action physique (le mouvement) perçue par le système artificiel. Le système produit en retour une action physique : l'affichage du curseur en relation avec la nouvelle position du doigt. La position du curseur est alors perçue par l'utilisateur qui contrôle ainsi son geste de manière incrémentale. Les actions des systèmes humain et artificiel sont mutuellement perceptibles et dépendantes sur l'intervalle de temps qui marque le déplacement du doigt sur une cible.

Du côté humain, l'interaction fortement couplée concerne le niveau des "comportements basés sur les habiletés" du modèle de Rasmussen [13]. Elle ne fait pas intervenir les niveaux cognitifs supérieurs. Du côté système, l'interaction fortement couplée se traduit par des requis non fonctionnels conformes au comportement naturel de l'humain. Ces requis vont de soi dans les interfaces graphiques usuelles mais sont déterminantes pour la conception et la mise en œuvre de dispositifs de suivi consommateurs de ressources de calcul. Nous avons retenu les trois facteurs suivants :

- la latence qui caractérise le comportement du couplage,
- la résolution et la stabilité statique qui mesurent la qualité des informations rendues par le système de suivi.

Latence

Le *temps de latence* L (ou plus simplement, latence) d'un système est le temps écoulé entre la présentation d'un stimulus à ce système et la réponse correspondante.

- La latence du dispositif de suivi est la somme des délais nécessaires à la perception du mouvement de l'utilisateur, au calcul du nouvel état et à la génération du retour d'information.
- La latence du système humain est la somme des délais nécessaires à la perception du retour d'information du système, la préparation du micro-mouvement suivant et l'exécution de ce mouvement.

En utilisant le Modèle de Processeur Humain [5], nous approximations la latence du système humain L_h à : $L_h = 100$ ms. Dans [3], on trouvera le développement qui, à partir d'un modèle en boucle fermée de l'interaction fortement couplée, montre de manière analytique que la latence L_s du système de suivi doit être $L_s = L_h/2$ soit 50 ms environ. Cette métrique est cohérente avec des expériences empiriques rapportées dans la littérature [1, 18] pour des situations d'interaction fortement couplée appliquées à la Réalité Virtuelle.

Résolution

De manière générale, la *limite de résolution* ou plus simplement, la résolution, est la plus petite variation perceptible de la grandeur à mesurer dans des conditions de mesure données. Appliquée à notre cas d'étude, la résolution du dispositif de suivi est le plus petit mouvement détectable dans des conditions précises de capture. Le mouvement peut représenter une translation. Dans ce cas, la résolution est exprimée par une distance. Par exemple, la souris standard des ordinateurs Apple Macintosh a une résolution de 0.005 pouces, soit 0,127 mm. Autrement dit, les mouvements de l'utilisateur inférieurs à 0,127 mm ne sont pas détectés par la souris. En pratique, cette résolution est suffisante pour les tâches de désignation, même précises, sur une interface graphique. De plus, 0,127 mm est de l'ordre du plus petit mouvement que peut contrôler une personne dans l'espace. Nous retenons cette valeur comme limite de résolution du suivi de doigt dans le Tableau Magique.

Stabilité statique

Un dispositif de *suivi est dit stable* si la mesure de position ne varie pas lorsque l'entité suivie est immobile. Si la souris est un dispositif stable, il n'en va pas de même pour les dispositifs permettant une interaction à distance : capteurs magnétiques et systèmes de vision par ordinateur. Ces dispositifs sont en permanence soumis à des perturbations qui varient au cours du temps et qui ont pour conséquence de faire osciller les mesures de position d'un objet immobile : perturbation du champ magnétique ou du capteur visuel des caméras.

La stabilité statique peut être mesurée en calculant l'écart type des données fournies par le dispositif pendant un court moment. L'écart type augmente rapidement au cours du temps puis se stabilise. La stabilité statique est la valeur de l'écart type lorsqu'elle se stabilise. Le seuil critique de la stabilité statique dépend de la tâche utilisateur. Nous retenons la désignation, tâche fréquente dans le contexte du Tableau Magique.

Concernant la désignation, prenons le cas où l'utilisateur a placé son doigt sur un bouton. Le problème de l'instabilité se manifeste à cet instant précis : l'utilisateur est immobile puisqu'il ne cherche pas à effectuer de mouvement supplémentaire (il est satisfait de l'état perçu). L'instabilité des mesures a pour conséquence de simuler un mouvement utilisateur même lorsque celui-ci est immobile. Il convient alors de considérer deux cas selon l'amplitude perçue de l'oscillation du retour d'information :

- le retour d'information (le curseur) oscille entre des positions à l'intérieur et à l'extérieur du bouton. Cette situation est frustrante pour l'utilisateur, à l'origine de perte de temps (l'utilisateur doit attendre le bon moment pour valider sa désignation) et source d'erreur (le taux d'erreur sera d'autant plus élevé que la fréquence de changement d'état est élevée).
- le curseur oscille mais à l'intérieur du bouton. L'utilisateur peut valider sa désignation. L'instabilité n'a pas de conséquence sur la réalisation de la tâche, si ce n'est la gêne visuelle due à l'oscillation.

Ainsi, l'*écart type* qui caractérise l'instabilité doit être *inférieur à la taille de la plus petite cible* que l'on peut désigner dans ce système. Ce requis est nécessaire mais pas suffisant : il peut y avoir gêne visuelle due à l'oscillation du retour d'information.

LE SUIVI DE DOIGT : UN EXEMPLE D'INTERACTION FORTEMENT COUPLÉE

Le service de suivi de doigt permet à l'utilisateur d'indiquer au système des emplacements du tableau. La position du doigt est extraite du flux vidéo lorsque la caméra voit l'ensemble de la surface du tableau. La position du doigt est exprimée dans le repère de l'image capturée. En sortie, l'affichage d'un curseur à l'emplacement du doigt, nécessite de connaître la position du doigt dans le repère projeté. Il convient donc de transformer les coordonnées du repère capturé vers le repère projeté.

Transformation entre repères : le problème

L'objectif des projecteurs vidéo est en général conçu pour que l'image projetée corresponde à un simple changement d'échelle de l'image générée dans la mémoire de l'ordinateur. Les pixels projetés apparaissent alors sous forme de carrés sur le tableau, et le repère

projeté est orthonormé. La figure 3 (à gauche) illustre un exemple de projection de mire. Cette assertion est valide si le projecteur est installé parallèlement au plan de projection. Si le projecteur est incliné par rapport à ce plan (verticalement ou horizontalement), alors l'image projetée est déformée. L'objectif de la caméra, par contre, n'est pas conçu spécifiquement pour la capture d'une surface plane. La déformation produite rentre dans le cas général d'une projection perspective, comme l'illustre la figure 3 (à droite) : des rectangles projetés sur le tableau apparaissent sous la forme de polygones quelconques dans l'image capturée. On trouvera dans [3] le détail du calcul de la matrice de projection qui permet d'effectuer la transformation des coordonnées d'un point exprimées dans le repère de la caméra vers le repère du projecteur vidéo et inversement.

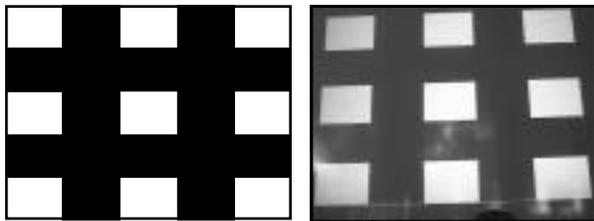


Figure 3 : Image de mire projetée (à gauche) et capturée (à droite). L'image capturée par la caméra correspond à une projection perspective de l'image projetée.

La matrice de projection est utilisée pour transformer la position du doigt dans le repère de l'image projetée. La connaissance de cette position permet d'afficher un pointeur à la position du doigt. Le rôle du pointeur est double :

- l'apparition du pointeur confirme à l'utilisateur que le système est en train de suivre ses gestes,
- le pointeur, de petite taille, permet de désigner les emplacements du tableau avec finesse. Le doigt nu est trop large pour permettre une désignation fine.

Suivi du doigt : principe technique

Notre système de suivi utilise la corrélation pour ses qualités de rapidité, de précision et de stabilité statique. Le principe du suivi par corrélation consiste à mémoriser, dans une phase d'initialisation, l'apparence de la cible (dans notre cas, une partie de doigt). L'ensemble de pixels ainsi mémorisés constitue le motif. En phase opérationnelle, le suivi recherche la partie de l'image la plus ressemblante au motif.

La localisation du motif dans une nouvelle image s'effectue par un parcours de toutes les sous-parties de l'image de même taille que le motif. À chaque étape du parcours, le motif et la sous-partie courante de l'image sont comparés. Le résultat de la comparaison est la mesure de corrélation entre le motif et la sous-partie de

l'image. À la fin du parcours, on note l'emplacement de la partie de l'image la plus similaire au motif. Cet emplacement est le maximum de la fonction de corrélation (le "pic" de corrélation). L'emplacement du pic de corrélation est élu en tant que nouvelle position de la cible.

Pour améliorer les performances, la recherche du motif ne se pratique pas sur toute l'image capturée par la caméra. On la limite à une zone de recherche centrée sur la dernière position connue de la cible. La taille de la zone de recherche est calculée de façon à rendre maximale la vitesse tolérée de déplacement de la cible (la formulation de la taille optimale de la zone de recherche est détaillée dans [3]). La figure 4 illustre le rapport de taille entre cible, motif et zone de recherche.

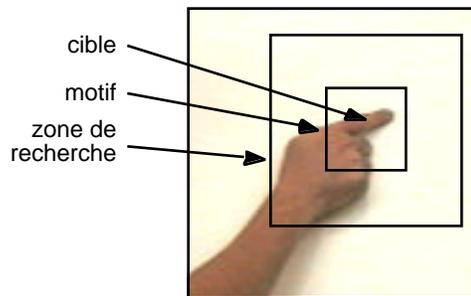


Figure 4 : Rapport des tailles de cible, motif, et zone de recherche. La cible du suivi par corrélation (l'index et l'extrémité de la main) est représentée par un motif de taille 32 x 32 pixels. Le motif est corrélié dans une zone de recherche de 75 x 75 pixels.

Performances du suivi

Le système de suivi doit satisfaire aux requis de l'interaction fortement couplée en termes de latence, résolution et stabilité statique.

Latence. La fréquence de fonctionnement du suivi est de 25 Hz, ce qui correspond à une latence de 40 ms. Cette fréquence correspond à l'ensemble des processus de localisation du doigt dans l'image, transformation des coordonnées dans le repère du projecteur, et affichage du retour d'information. Le requis de latence est satisfait. De fait, le délai entre le mouvement du doigt et le mouvement du pointeur est imperceptible.

Résolution. La résolution de capture est d'environ 0,3 cm. Ces valeurs correspondent à une caméra réglée de façon à couvrir à peu près la même surface que la surface couverte par le projecteur vidéo, soit environ 1,2 x 0,9 m. La résolution de capture se dégrade lorsque le projecteur vidéo et la caméra sont éloignés du tableau. A priori, une telle résolution est insuffisante au vu de l'analyse des requis. Sur le tableau magique, la résolution d'affichage est de 0,15 cm pour une image projetée de 800 x 600 pixels sur une surface de 1,2 x 0,9 m. La résolution du

suivi est donc deux fois moindre que celle de l’affichage. La conséquence est qu’un pixel sur deux, projeté au tableau, ne peut pas être désigné au doigt. Cette limitation serait gênante si les tâches de désignation sur le tableau magique nécessitaient une telle finesse. Or ce n’est pas le cas : le doigt n’est pas employé à créer des inscriptions (texte, dessins, formes géométriques), mais sert à leur réorganisation spatiale. Le problème de résolution n’est sensible que dans le cas où les inscriptions doivent être placées avec précision (par exemple, un alignement).

Stabilité statique. Le suivi par corrélation est stable sous réserve que l’entité à suivre ne change pas d’apparence par rapport au motif qui sert de référentiel. Or, dans le contexte d’utilisation du Tableau Magique, l’apparence du doigt en déplacement varie. La raison essentielle est la suivante : lors d’un mouvement non contraint, l’index adopte l’orientation de l’avant-bras qui varie en fonction de la hauteur de l’inscription désignée sur le tableau.

En pratique, la position du pointeur reste stable tant que le doigt ne subit pas de rotation de grande amplitude. Si l’apparence varie, le pic de corrélation oscille entre les positions les plus semblables par rapport au motif. Cette oscillation est gênante pour l’utilisateur. La gêne est d’autant plus grande que l’interaction s’appuie sur la détection de pauses dans la trajectoire du doigt. Or une pause est détectée dans la trajectoire lorsque le curseur est statiquement stable. En l’absence de stabilité statique, la détection de pause ne peut avoir lieu.

AJOUT CONTRÔLÉ DE CONTRAINTES

Du point de vue interactionnel, nous avons introduit deux contraintes sur le comportement naturel de l’utilisateur : l’une sert au déclenchement du suivi, la seconde à marquer l’équivalent du clic souris. Dans les deux cas, ces contraintes permettent de faire appel à des solutions techniques simples sans trop modifier l’esprit interactionnel de l’outil. Il conviendrait cependant d’étayer ces affirmations par une campagne de tests auprès d’utilisateurs représentatifs.

Déclenchement du suivi

Le suivi par corrélation nécessite une phase d’initialisation durant laquelle l’apparence de la cible est mémorisée dans le motif. Pour cela, un petit rectangle, nommé “zone sensible” est projeté en permanence à un endroit fixe du tableau. Le menu de commandes sert également de zone sensible.

Une différence entre images successives est appliquée sur une zone sensible. L’énergie de l’image de différence augmente de façon significative lorsque l’apparence de la zone sensible change au cours du temps. Nous faisons la supposition que seul le doigt de l’utilisateur peut être

présenté sur la zone sensible et provoquer l’augmentation d’énergie. Ainsi, lorsque l’énergie dépasse un certain seuil, nous mémorisons l’apparence de la zone sensible afin de la transmettre au suivi par corrélation en tant que motif à suivre.

Le choix du seuil d’énergie est important : le seuil ne doit pas être trop haut sous peine de ne pas déclencher le suivi du doigt lorsque l’utilisateur le présente sur la zone sensible. Il ne doit pas être trop bas sous peine de déclencher le suivi intempestivement, à cause du bruit de caméra, alors que le doigt n’a pas été présenté. Nous déterminons le seuil durant une phase de calibrage à l’initialisation du système. Dès lors, il convient que la luminosité ambiante ne varie pas entre deux calibrages.

Clic par détection de pause

L’absence d’équivalent du bouton de souris nous a dirigés vers la détection de pause dans la trajectoire du doigt. Cette solution présente a priori deux risques : ralentir le rythme de l’interaction, et augmenter le risque d’erreur due à la détection de pauses involontaires.

Après diverses tentatives, nous avons retenu une pause de 0,5 s. Une étude utilisateur permettrait de cerner les effets de la durée de pause avec plus de précision. En pratique, une pause aussi courte ne semble pas ralentir l’interaction. Cette observation est cohérente avec les résultats de [8] qui montrent que dans certaines conditions, la sélection d’options de menu par l’attente d’un délai précis est plus performante que la sélection par désignation et clic à la souris.

Par contre, le choix d’une faible durée de pause accroît le risque de fausse alarme. En pratique, les fausses alarmes sont rares sur le Tableau Magique. Le suivi du doigt n’est actif qu’à la demande de l’utilisateur. Ce choix de conception permet de réduire le risque de détecter une pause alors que l’utilisateur n’a pas conscience que le système suit son doigt. Lorsque l’utilisateur active le suivi de doigt, c’est pour effectuer une tâche de sélection ou de déplacement. Il enchaîne déplacement rapide, pause, etc. jusqu’à ce que la tâche soit réalisée. Il sort ensuite sa main du champ de la caméra provoquant ainsi l’échec et l’arrêt du suivi. Durant les phases de déplacement, le doigt bouge assez rapidement pour que le risque de fausse alarme soit faible.

Nous observons cependant des fausses alarmes en fin d’exécution des tâches de sélection. Après avoir exécuté la pause qui définit le deuxième angle du rectangle de sélection, certains utilisateurs inexpérimentés ne semblent pas savoir que faire du pointeur qui reste “accroché” à leur doigt. Leur main reste parfois immobile, ce qui provoque une fausse alarme. Si le pointeur est à ce moment précis en dehors de la

sélection, la fausse alarme est assimilée à un clic en dehors de la sélection et a pour conséquence d'annuler la sélection (disparition du rectangle). L'utilisateur doit de nouveau définir la sélection. Si le pointeur est à l'intérieur du rectangle de sélection à ce moment là, une opération de déplacement est initiée. Elle peut être stoppée simplement en effectuant une nouvelle pause. Dans les deux cas, les conséquences d'une fausse alarme ne sont pas destructives (comme ce serait le cas d'un effacement d'inscriptions).

CONCLUSION

La conception du tableau magique descend en droite ligne du prototype de Bureau Digital. Alors que Wellner et ses collaborateurs exposent de façon très convaincante leurs motivations pour le concept de réalité augmentée, la technologie dont ils disposent ne leur permet pas d'implémenter un prototype réellement utilisable. Avec le Brightboard et le Zombieboard, Stafford-Fraser [15] et Saund [4] s'attachent à développer les techniques permettant le passage des inscriptions du monde physique vers le monde électronique, mais n'offrent pas d'interaction fortement couplée. À notre connaissance, le Tableau Magique est la première création d'un prototype offrant une interaction de type Bureau Digital utilisable.

Il est cependant prématuré de juger de l'adoption du Tableau Magique par les utilisateurs. Nos premières expériences informelles d'utilisation tendent à confirmer à la fois le bien fondé de l'approche de réalité augmentée et le bien fondé des requis pour l'interaction fortement couplée. Il nous reste à résoudre plusieurs problèmes : l'instabilité statique est au premier rang de nos préoccupations. Il faudra aussi affiner l'architecture et les mécanismes logiciels pour l'interaction simultanée à plusieurs sur un même Tableau Magique. Il en est de même pour le service d'historique. Si notre système numérise les inscriptions et connaît les opérations d'édition, encore faut-il identifier l'auteur sans indication explicite de la part de l'utilisateur.

BIBLIOGRAPHIE

- Balakrishnan, R. et MacKenzie, I. S. "Performance differences in the fingers, wrist, and forearm in computer input control", ACM CHI, p. 303-310. 1997.
- Beaudouin-Lafon, M. "Instrumental Interaction: An Interaction Model for Designing Post-Wimp User Interfaces", CHI2000, p.446-453, ACM Press, 2000.
- Bérard, F. "Vision par ordinateur pour l'interaction homme-machine fortement couplée", Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier, Grenoble, 1999.
- Black, M. Bérard, F. Jepson, A. Newman, W. Saund, E. Socher, G. and Taylor, M. "The Digital Office: Overview", AAAI Spring Symposium on Intelligent Environments, Stanford, California, 1998.
- Card, S. Moran, T. Newell, A. "The Psychology of Human-Computer Interaction", Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- Elrod, S. Bruce, R. Gold, R. Goldberg, D. Halasz, F. Janssen, W. Lee, D. MacCall, K. Pedersen, E. Pier, K. Tang, J. et Welch, B. "LIVEBOARD: a Large Interactive Display Supporting Group Meetings, Presentations and Remote Collaboration", ACM conference on CHI, p. 599-607, 1992.
- Fitzmaurice, G. "Graspable User Interfaces". PhD Thesis, CS Dpt, Univ. of Toronto, 1996.
- Maury, S. Athènes, S. et Chatty, S. "Rhythmic menus: toward interaction based on rhythm", ACM conf. on CHI extended abstracts, p. 254-255, 1999.
- Microfield Graphics Inc. "SoftBoard: technical specifications", site internet. Disponible sur le site : <http://www.softboard.com/>
- Mynatt, E. Igarashi, T. Edwards, W. K. et LaMarca, A. "Flatland: New Dimensions in Office Whiteboards". ACM CHI, p. 346-353, 1999.
- Mynatt, E. "The Writing on the Wall". INTERACT99, p. 196-204, 1999.
- Moran, T. P. et van Melle, W. "Tivoli: Integrating Structured Domain Objects into a Freeform Whiteboard Environment". CHI2000, ACM Press, p. 20-21, 2000.
- Rasmussen, "Information processing and Human-Machine Interaction, an approach to cognitive engineering". Series, Vol. 12, North-Holland, 1986.
- Smart Technologies Inc. "SmartBoard: technical specifications", <http://www.smarttech.com/>
- Stafford-Fraser, Q. et Robinson, P. "BrightBoard: A Video-Augmented Environment". ACM conf. on Computer-Human Interaction, p. 134-141, 1996.
- Thevenin, D. Bérard, F. et Coutaz, J. "Capture d'Inscriptions pour la Réalité Augmentée", 11ème conf. Franc. l'Interaction Homme-Machine, 1999.
- Virtual Ink Inc. "MIMIO: Technical Specifications". Site internet, 1999. <http://www.virtual-ink.com/>
- Ware, C. et Balakrishnan, R. "Reaching for Objects in VR Displays: Lag and Frame Rate". ACM TOCHI, Vol. 1, No. 4, pages 331-356, Déc. 1994.
- Wellner, P. "Interacting with paper on the DigitalDesk", Communication of the ACM n. 7, p. 87-96, Juillet 1993.

