

Réalité Augmentée et environnement collaboratif : Un tour d'horizon

Raphaël Grasset, Jean-Dominique Gascuel

ARTIS / Laboratoire GRAVIR/IMAG UMR 527

INRIA Rhone-Alpes
655, Avenue de l'Europe
38330 Saint-Ismier Cedex

{Raphael.Grasset | Jean-Dominique.Gascuel}@imag.fr

Résumé : *La Réalité Augmentée (RA) est généralement définie comme une branche dérivée de la Réalité Virtuelle. D'une façon plus générale, le concept de réalité augmentée regroupe une approche multidisciplinaire visant un mélange entre réel et virtuel. La forte potentialité induite par cette connexion promet un cadre adéquat pour l'interaction 3D ou les applications collaboratives. On présente dans cet article un tour d'horizon des principaux travaux menés à ce jour dans le cadre de l'image et de la RA et plus particulièrement le cadre collaboratif.*

1 Introduction et historique

La réalité augmentée (RA) a vu le jour avec les travaux de Sutherland [Sut65], [Sut68] qui a réalisé le premier système dit de réalité augmentée, basé sur un casque suivi par un capteur de mouvement. Avec ce dispositif, l'utilisateur peut alors visualiser et naviguer autour d'éléments virtuels positionnés dans notre espace réel ; un des buts poursuivis par la RA. Durant les années 80 le concept de réalité augmentée a été surtout utilisé dans un cadre militaire, pour l'affichage d'informations virtuelles sur les visières des casques des pilotes d'avions (Head-Up Display (HUD)).

Le véritable essor de ce domaine a débuté durant les années 90 par les travaux de Bajura [BFO92], puis State [SLH⁺96], dans un cadre applicatif de médecine, pour donner au médecin la possibilité de visualiser directement des données d'imagerie à ultrasons sur le corps du patient, augmentant alors sa compréhension (interaction et visualisation dans un même espace). Feiner [FMS93] propose quant à lui un système interactif pour l'apprentissage et la maintenance d'une imprimante basée sur la superposition d'informations virtuelles (de fonctionnement), directement sur l'imprimante équipée de capteurs. Par la suite, la réalité augmentée s'est développée en introduisant un grand nombre d'applications cibles : médecine ([GLPI⁺96]) ingénierie/production ([CM92], [ABC⁺94]), architecture (visualisation augmentée [WFM⁺96], design [AKB⁺95]), robotique ([MZDD93]) et les loisirs [OSYT98].

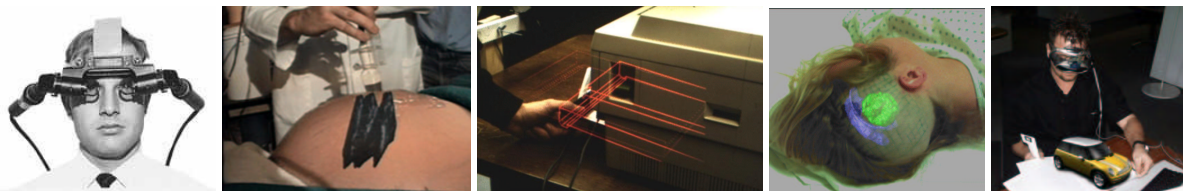


FIG. 1 – Réalité Augmentée de Sutherland à aujourd'hui (point de vue image de synthèse) : [Sut65], [BFO92], [FMS93], [GLPI⁺96], [KDB⁺02].

En parallèle, la réalité augmentée a aussi trouvé essor dans le domaine de l'interaction homme-machine (IHM). Wellner a proposé la possibilité d'interagir naturellement avec des documents numériques, par l'intermédiaire d'une projection de ces éléments dans notre monde réel (Digital Desk [Wel91]). Fitzmaurice [FIB95] puis Ishii [IU97] ont proposé dans ce contexte, le principe d'interagir à l'aide d'éléments réels pour modifier des éléments numériques remplaçant les interfaces classiques de bureau (WIMP) par des interfaces beaucoup plus souples et adaptées à l'utilisateur (interaction à deux mains, multiplexage spatial, externalisation du concept). Rekimoto [RN95] propose l'idée d'interagir sur le réel à travers un dispositif physique spécifique, le NaviCam. Dans la suite de nombreux chercheurs d'IHM se sont alors intéressés à cette relation virtuel-réel : [UI98], [BCG⁺01], [RP01].

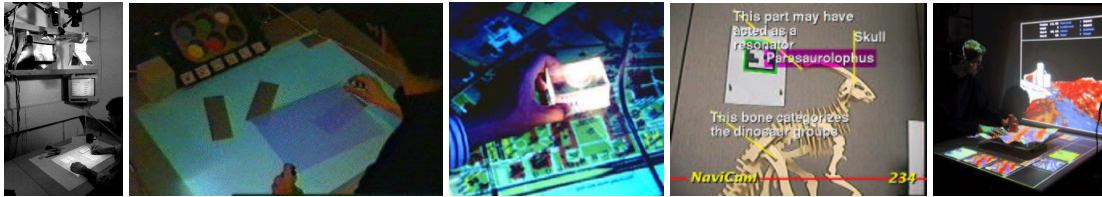


FIG. 2 – Réalité Augmentée de Wellner à aujourd'hui (point de vue interaction homme-machine) : [Wel91],[FIB95], [IU97], [RN95], [PRI02b].

Une convergence maintenant dominante entre les différentes approches conduit la RA vers une approche multidisciplinaire regroupant des domaines tels que l'informatique graphique, l'interaction homme-machine, la vision, les travaux autour du travail collaboratif (TCAO ou CSCW, *Computer Supported Collaboratif Work*). Dans ce contexte, la forte réduction des coûts des dispositifs matériels, l'évolution du graphisme et la disponibilité d'outils simples et évolués ([KB99]) font maintenant de la réalité augmentée un domaine fortement accessible.

Durant les dernières années, les applications se sont étendues vers un plus grand nombre de domaines : la visualisation scientifique (chimie [FV02], mathématique [FLS97]), l'éducation (mathématique [HK03], astronomie [SH02]), la géographie [HBP⁺01], la culture ([HPF99]), des nouvelles applications en médecine ([BBB03]), en architecture (extérieur [TPG99], design [KBP⁺00]), en planification [JG02], maintenance ([Dal02]), production [Fri02], automobile ([KDB⁺02]), apprentissage ([JS99]) ou encore l'expression artistique [CWY⁺02] ou le jeu (en salle [Mur01], extérieur [TCD⁺00]).

Comme le souligne [ABB⁺01] les applications se tournent maintenant vers la mobilité (augmentation en se déplaçant dans un large espace) et le support multi-utilisateur (interagir simultanément en RA).

La Réalité Augmentée offre de nombreux avantages par rapport à des environnements de bureau numérique ou de réalité virtuelle : Feiner [FMS93] déclare à son propos "Il y a beaucoup de situations pourtant dans lesquelles on souhaiterait pouvoir interagir avec notre environnement réel. La réalité augmentée permet de rendre cela possible en présentant un monde virtuel qui enrichit, au lieu de remplacer, le monde réel".

La suite de cet article présentera un aperçu des travaux relatifs au domaine de la RA et plus particulièrement à son aspect collaboratif. On note qu'au-delà de cette présentation, le lecteur pourra se reporter à [Azu97] et [ABB⁺01] qui offrent un tour d'horizon plus descriptif mais d'un point de vue uniquement image de synthèse non dédié au collaboratif. Revenons maintenant tous d'abord plus précisément au terme de réalité augmentée.

2 Terminologie

2.1 Définitions

Au niveau étymologique, Le Petit Robert nous donne comme définition :

- *réalité*. bas lat *relitas* (rien). 1. caractère de ce qui est réel, de ce qui ne constitue pas seulement un concept, mais une chose, un fait.3. ce qui est réel, actuel donné comme tel à l'esprit ;
- *augmentée*. vr tr. 1. rendre plus grand, plus considérable, par addition d'une chose de même nature.

Une interprétation directe peut être une incrémentation d'un contenu se voulant de même nature perçue de façon identique à l'esprit.

Dans la littérature, on note que le terme Réalité Augmentée a été introduit par [CM92] pour la première fois (ainsi que dans le domaine IHM par [Wel93]). Azuma propose de définir la RA en se reposant alors sur trois critères : mélange Réel/Virtuel (R/V), contrainte temps réel, alignement Réel/Virtuel.

Comme il le souligne dans [ABB⁺01] la réalité augmentée ne se limite pas uniquement à la vue mais permet aussi un mixage sur de multiples sens, olfactifs, tactiles, ainsi qu'auditifs ([MBWF97], [LGS00]).

Dans le domaine de l'IHM, différentes notions ont aussi été introduites suite aux travaux de références de Wellner : le concept prédominant reste d'offrir une meilleure accessibilité au contenu numérique (virtuel) en utilisant comme interface le réel - et ses possibilités d'appréhension.

Dans notre cas la définition au sens large que l'on utilise est "le fait de mélanger élément virtuel et élément réel dans un même contexte", unifiant le meilleur des deux mondes. Pour situer plus précisément ce terme on se reporte aux taxonomies proposées permettant d'identifier la réalité augmentée dans un cadre plus large.

2.2 Taxonomie

Milgram interprète la réalité augmentée incluse dans un continuum linéaire qui va du réel au virtuel [MK94]. Il définit le terme de *réalité mixte (mixed reality)* l'intervalle entre le réel et le virtuel. Cette réalité mixte contient la réalité augmentée mais aussi la virtualité augmentée, qui consiste à intégrer du virtuel dans le monde réel. Il étend cette taxonomie des systèmes d'affichages de RA sur trois principes fédérateurs : portée de la connaissance du monde, fidélité de reproduction, portée de la métaphore de présence. [Mac96] propose une approche centrée sur le contenu augmenté : utilisateur, objet ou environnement. [Bér94] propose un espace sous deux axes et définit les termes d' *interface augmentée en entrée et en sortie*. Dubois analyse très précisément les différentes approches dans [Dub01], et propose sa propre taxonomie [DNT⁺99] basée sur l'objet de la tâche et le type d'augmentation.

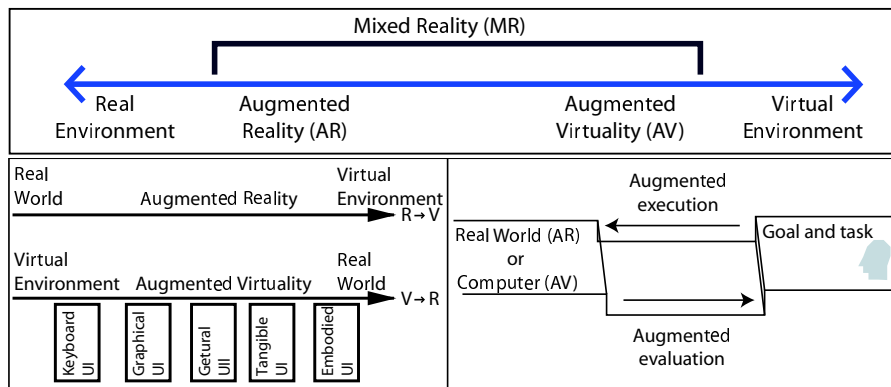


FIG. 3 – Taxonomie : Milgram [MK94] et Dubois [DNT⁺99].

2.3 Notions dérivées

Le terme de réalité augmentée est généralement associé à une multitude de concepts dérivés ou différents. Pour ce faire, on introduit ici quelques termes usuels en identifiant leur relation par rapport à la réalité augmentée :

- Mediated Reality [Man94] : Elle consiste à modifier notre vision de la réalité à partir de dispositifs physiques ou logiciels, la RA devenant un type de filtre d'additif dans ce concept (définition propre à l'auteur qui peut être inversée (la mediated reality devenant une catégorie de RA) ;
- Diminished Reality [MF01] : Consiste à filtrer la réalité, la modifier, et remplacer ou supprimer (visuellement) des éléments réels par des éléments virtuels ;
- Artificial Reality [KGH85] : introduit par Krueger, il le définit comme un monde virtuel, dans lequel un utilisateur peut interagir si naturellement qu'elle lui procure une sensation d'immersion : la différence avec la RV s'inscrivant dans l'usage des techniques vidéos, remplaçant l'encombrement de dispositifs physiques par une interface gestuelle et corporelle ;
- Amplifying reality [FRB99] : Définit le fait d'augmenter les propriétés publiques des objets réels, par des ressources informatiques embarquées à l'objet (complémentaire de la réalité augmentée) ;
- Ubiquitous Computing [Wei91] : Présenté par Weiser, c'est une vision dans laquelle l'informatique est transparente dans notre environnement accessible partout et en tout lieu : à l'aide de multiples périphériques chacune avec un positionnement et une conception adaptée à une ou plusieurs tâches (l'ordinateur disparaissant *disappearing computer*) ;
- Pervasive Computing [Sat01] : Généralement associé au terme précédent, il définit une accessibilité à tous éléments numériques sous n'importe quelle forme (telle qu'un assistant digital personnel ou un téléphone) ;
- Tangible User Interface (TUI) [IU97] : utilisation d'élément réel pour l'interaction avec des éléments virtuels/numériques. Notions assimilables : grasable user interface [FIB95], ou natural user interface [RS96].

3 Architecture

De façon similaire à la RV, il n'existe aujourd'hui pas de méthodologie de mise en oeuvre d'un environnement de RA. On pourra se baser sur une approche centrée utilisateur, la notation ASUR++ [DGN02] ou des premiers concepts de conceptions identifiés dans [arg]. De notre point de vue, les travaux de [GG02] nous ont conduit à définir une première décomposition en tâches, définissant différentes classes de problématique. On s'appuie individuellement sur chacune des composantes identifiées pour les présenter maintenant en détails. On introduit tous d'abord les architectures matérielles, qui sera suivi des architectures logicielles.

3.1 Hardware

On présentera en premier lieu les solutions matérielles actuellement mise en oeuvre, puis les nouvelles technologies émergentes.

3.1.1 Approche classique

Pour la visualisation du virtuel, on utilise des dispositifs d'affichages dédiés qui permettent alors de mixer réel et virtuel. On peut distinguer différentes classes de système :

- les affichages de types casques (HMD) : le système est couplé à la tête de l'utilisateur et ils se distinguent en deux catégories. Les casques dit semi-transparent optique (*optical see-through HMD*), constitue d'un écran LCD couplé à un miroir semi-transparent dont le mixage réel et virtuel est fait par l'oeil de l'utilisateur [Sut65]. Puis, on a les casques dit semi-transparent vidéo (*vidéo see-through HMD*) dont le mixage est fait entre un rendu graphique et l'image provenant d'une camera, ce mélange étant alors présenté à l'utilisateur [EKEK93] ;
- les affichages de type écran : la visualisation est faite à travers un écran (optionnellement suivi), à l'aide d'une caméra couplée à cet élément qui peut être : écran de bureau [ABC⁺94], d'ordinateur de portables [SMW⁺02], un écran portable à la main [RN95] [MKBP02] ou une solution mixte [BKP01] ;
- les affichages par projection : la visualisation est faite sur une surface du monde réel, la projection pouvant être sur une table [RFK⁺97], un mur [Rek] ou sur une surface quelconque [RR99],[PRI02a], [Pin01].



FIG. 4 – Configurations et différents dispositifs de RA : classique [SFH00], mobile [Jul00], bureau [MP02], publique [AMS⁺01].

Pour l'interaction, on utilise la variété des capteurs provenant du monde de la Réalité Virtuelle (magnétique, ultrasons, optique, inertiel), mais aussi des dispositifs plus légers (RFID, capacitif, pression). Divers travaux ont introduits des nouveaux capteurs supportant des zones d'échanges plus grandes [FHP98], [WBV⁺01]. Une autre solution peut être un suivi par vision qui offre alors une approche robuste et précise pour la réalité augmentée, basée sur des algorithmes dédiés au temps réel [Kli97], [KB99]. Comme nous le verrons au chapitre suivant, ce type d'approche peut être couplé avec une technologie plus rapide, une complémentarité qui offre alors un système de haute qualité ([SLH⁺96]).

La solution idéale reste aujourd'hui largement à définir. Rolland a étudié la différence entre casque semi-transparent optique et vidéo [RHF94] et montre qu'aucune technologie n'est actuellement meilleure, sur des critères technologiques et ergonomiques, chacun ayant leurs propres avantages. L'optique offre une véritable vue du réel (résolution, vue périphérique, alignement oeil-image, instantanée), meilleure acceptation de l'utilisateur. L'approche vidéo offre un alignement de meilleure qualité (mais un conflit sensoriel entre vision et proprioception), et une meilleure gestion des occultations, contrôle total de la vision de l'utilisateur. Tandis que Azuma dans

[Azu93] définit trois besoins pour les systèmes de suivi pour la RA : haute précision, peu de latence et large plage de suivi.

3.1.2 Technologies émergentes

On présente aussi ici un certains nombres de nouveaux dispositifs reposant sur des progrès techniques ou des adaptations dédiées à la RA.

Hua introduit un prototype de casque à affichage projectif dans un cadre de RA [HGB⁺02], [HGBR02]. L'approche consiste à utiliser des surfaces rétro-réfléchissantes, offrant une solution à fort angle de vue, gérant automatiquement les occultations, et peu de distorsion optique. Kiyokawa propose quant à lui un nouveau type de casque optique semi-transparent gérant aussi les occultations base sur l'adjonction d'un panneau de LCD positionné dans le prolongement de l'écran optique associé à un ensemble de caméras permettant de reconstruire une carte de profondeur [KK01b], [KK01a],[KBCW03].

La taille et l'inconfort du casque constituent un point très limitant de l'usage de ce système. Dans ce cadre, différentes solutions alternatives ont vu le jour. D'un point de vue plus ergonomique, Micro-optical a introduit les premiers prototypes de lunettes RA [SZC⁺01], pouvant, suivant les modèles, se fixer sur de véritables lunettes de vue (aux performances encore fortement limitées). Une nouvelle approche est l'utilisation de la projection rétinienne permettant à l'aide d'une technologie laser modulé, de projeter les informations directement au fond de l'oeil [VPNF98].

En complément, de nouvelles solutions d'écrans portables ont été proposées : on peut citer les assistant digital personnel [PW03], [Wag03a] et les tablets PC. Dans un cadre collaboratif, le système Virtual Showcase [BFSE01] reposant sur l'utilisation de la surface de projection d'un Workbench pour restituer un espace de visualisation offre une très bonne solution pour des taches peu interactives telles que des présentations multimédia.

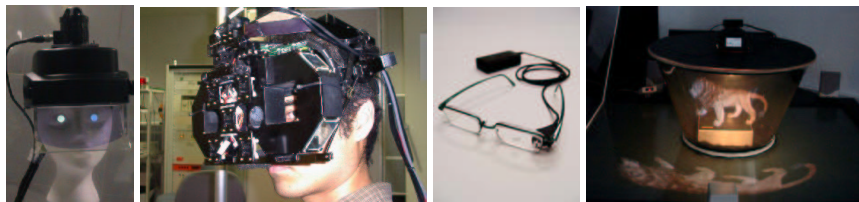


FIG. 5 – Nouveaux types d'affichages : HMPD [HGB⁺02], ELMO [KBCW03], EyeWear [SZC⁺01], et Virtual Showcase [BFSE01].

Pour le suivi 3D, [RPF01] [vLM03] proposent quant à eux des solutions par vision basées sur de caméras stéréoscopiques offrant une solution alternative. On notera pour finir une forte émergence d'architectures matérielles mobiles : MARS [HFT⁺99], Tinmith [PGT99], Archeoguide [DK02], OCAR [RS03].

3.2 Software

La mise en place d'une architecture de RA nécessite une gestion de l'hétérogénéité des périphériques, des procédures de calibrage, de l'alignement, des choix et du contrôle des différents algorithmes de traitement et du contrôle de l'affichage. Différentes approches ont été utilisées :

- développement monolithique : Archeoguide [GD01], [BFKT00], [Wag03b] ;
- développement de bibliothèques dédiées : à la video ([LLR⁺99]), à la vision (ARToolkit [BKWF99]),aux capteurs distribués ([KRB00], [BBK⁺01b], [SY02]) ;
- architectures bas niveau : MR-Platform [UTS⁺02], ImageTclAR [OTX03] ou basé sur des bibliothèques existantes ([DSB⁺03]) ;
- architectures objets : Grasp [ABC⁺94], Tinmith [PT03], Studierstube [SFH⁺02], MARE [GG02], COTERIE [MF96], BEACH [Tan00] ;
- architecture à composants : projet DWARF [BBK⁺01a], Magic meeting, AMIRE [DGHP02] [PHP⁺02], VHD++ [PPM⁺03] ou [GPRR00] ;
- développement sur d'outils "d'autoring" haut niveau : DART [MGB⁺03].

Les bibliothèques supportant alors le mono-utilisateur, le multi-utilisateur co-localisé [MSW⁺03], [GG02], distribué [HSFP99], [SRH02], ou fortement distribué [BJB03].

D'un point de vue du contenu applicatif (modèles 3D, images, sons ou vidéos) il peut alors être décrit sous forme standard (soupe de polygones, graphe de scène), mais aussi sous forme de contenu descriptif par des modules de haut niveau telle que dans [NM98], [FPTP01], [HPF99], [LS03]. Quelques récents travaux s'intéressent à la définition de méthodologie de réalisation d'architecture RA telle que [RMBK03] (défini un certains nombres de recommandations), [RMB03] (patterns de RA) ou [BHM⁺03] (analyse).

4 Mixage

Le mixage est défini ici comme l'intégration d'un point de vue visuel entre monde réel et monde virtuel. Il faut d'une part que les objets virtuels soient être alignés avec le monde réel (ou des objets réels) et conservent cette position dans le repère de visualisation de l'utilisateur (nommé *registration*), et d'autre part que les relations de visibilité et les échanges lumineux soient aussi pris en compte.

La résolution de ces problèmes reste très complexe et constitue un des principaux verrous de la RA. Le problème d'alignement a été très étudié par Holloway et Azuma [Hol95b], [Hol95a], [Azu93], [Azu97] et une étude spécifique à été réalisé sur l'erreur d'alignement des casques dans [HV00]. Azuma définit deux types d'erreurs [Azu97] : erreur statique (mauvais alignement en l'absence de déplacement de l'utilisateur ou des objets) et l'erreur dynamique (mauvais alignement lors d'un déplacement de l'utilisateur ou des objets).

4.1 Alignement spatial : traitement de l'erreur statique

Holloway définit quatre types d'erreur statique : distorsion optique, erreur du système de suivi, mauvais alignement mécanique, mauvaise estimation des paramètres (champ de vue, distance oeil-capteur, distance interpupillaire ..etc..) . La distorsion optique est un problème bien connu déjà introduit par [RR92].

L'erreur du système de suivi a été étudiée dans le cadre de capteurs électromagnétiques (sensibles aux distorsions du champ magnétique [NMF⁺98]). Plusieurs solutions existent telles que par des tables de corrections ([Bry92], [CAS⁺95], [LS97]), des fonctions polynomiales globales de corrections ([Zac97], [Kin99], [KB00], [IBHH01]). D'autres travaux se sont intéressés à l'alignement dans un cadre de système de type Workbench, pour l'alignement des outils d'interaction, telle qu'un bras à retour d'effort [IHJ03].

La mauvaise estimation des paramètres a été l'erreur la plus étudiée en réalité augmentée. Une estimation fiable nécessite de mettre en oeuvre des méthodes robustes basées sur une définition de contraintes, nommée procédure de calibrage (*calibration* [TGW⁺95b]). A partir d'une modélisation du système, on s'intéresse alors au calibrage de ces différentes parties (évalué sur des critères tels que définis [HW96]). On peut alors utiliser des méthodes automatiques (par vision, auto calibrage [GH93]) ou des méthodes basées utilisateurs (de [AB94] à des solutions simples et efficaces telles que [GDG01]). On peut classer les méthodes part type d'éléments calibrés :

- calibrage de casques ou écrans : video ([TGW⁺95a]), optique ([AB94], [OT96], [FSP99]) [MT99], [TN00b], [TN00a], [GTN01], [GTN02], [GDG01]), HMPD ([GHA03]) ;
- calibrage de pointeur : [TGW⁺95a], [FPTP01] ;
- calibrage d'objets : [WCB⁺95], [FSP99], [SBC⁺99], [GDG01] ;
- calibrage de système de projection : [FPTP01], [CSD98],[SBC⁺99].

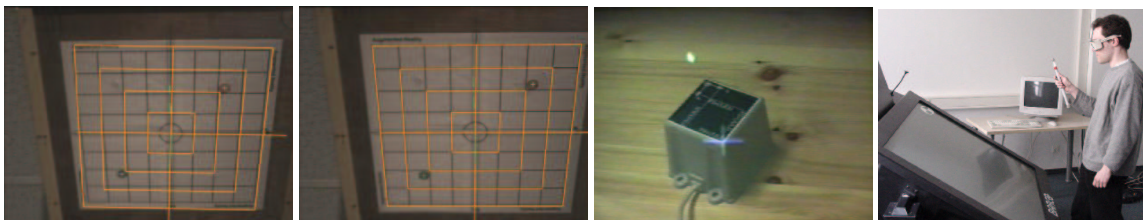


FIG. 6 – Différents processus du calibrage : magnétique [LS97], SPAAM [TN00b], Fuhrmann [FPTP01].

La modélisation de l'erreur statique a été réalisées dans [Ho195b]. Récemment, [mT⁺01] introduit une méthode pour casque optique consistant à identifier des points sur un plan 2D, une métrique permettant de mesurer alors l'erreur. [TZO03] effectue une comparaison de différentes méthodes de calibrage et montre l'efficacité de l'utilisation de la relation main-oeil favorable à des méthodes base sur un déplacement unique de la tête.

4.2 Alignement temporel : traitement de l'erreur dynamique

En pratique, l'erreur principale provient du temps de latence, temps de retard qui définit dans notre cadre le temps pris par le système entre la mesure d'un capteur et le retour visuel pour l'utilisateur (contributions d'une succession de retards, voir [Min93]). Il existe plusieurs méthodes pour réduire cette latence :

- réduire la latence du système : [OCMB95], [PJ01] ;
- réduire la latence apparente : basé sur des approches de déflexions d'images ;
- faire correspondre les flux temporels : [JLS97] propose une méthodologie pour ordonner et gérer différent flux ;
- faire une prédiction : on utilise des algorithmes de prédiction tels que par des filtres de Grey ([WO94]), de Kalman ([Azu95], [AB95], [LSG91]). L'étude de la restriction des mouvements possibles utilisés lors d'une tâche permettrait alors de définir un modèle plus approprié pour les méthodes prédictives (début de travaux de [SL92]) ;

Différents travaux ont cherché à estimer cette latence avec des techniques de mesures telle que [LSG91] (pendule), [HLD⁺00] (à partir de vidéo), [SDB00] (table phonographique).

[BN95] introduit le concept de boucle fermée consistant à corriger l'erreur à partir de l'image finale produite et basée sur un certain nombre de critères (s'opposant au principe de boucle ouverte sans contrôle). Ce concept conduit fortement à l'utilisation de système vision hybride qui compense l'erreur d'un capteur à partir de technique de vision sur l'image.

Différentes approches ont été proposées pour faire du suivi robuste et en temps réel par des méthodes de vision [KKR⁺97]. La première approche consiste en des techniques de suivi de marqueurs, éléments géométriques positionnés dans l'environnement et repères par les spécificités de leur apparence : on retiendra patterns de couleurs ([SLH⁺96], [CN98], [SSN01]) et noir et blanc ([RA00], [NC96], [KKR⁺97], [KB99], [Mal02b], [MJS98]). Quelques travaux ont évalué les performances et spécificités de chaque solution : [CPN97].

Une autre approche repose sur le principe de *template matching* consistant à la mise en correspondantes d'informations d'apparence avec un mode numérique [Kat02]. Kutulakos introduit une approche simplifiant les procédures de calibrage mais ne permet pas de travailler dans un modèle euclidien [KV98].

Une approche hybride avec un suivi par vision (lent) et un capteur (rapide mais peu précis) reste sans doute une des meilleures solutions, voir les travaux de [SLH⁺96], [AT98]. De plus la non-fiabilité des techniques de vision peut alors nécessiter la conservation d'un contrôle utilisateur. Ces approches se limitent alors aujourd'hui fortement à des objets réels suivis dans un repère local, ne fournissant aucune information ni sur les membres des utilisateurs, ni dans un repère global.

Une généralisation des techniques n'étant pas applicable en extérieur, dans ce cadre des approches hybrides [YNA99] ou du suivi par marqueurs naturels offrent de bonnes solutions [NY99], [GTN02]. Des approches avec du suivi planaire, ou basé objet offrent de très bonnes performances ([GSZ00], [SB02], [PCF⁺02], [BKT⁺01], [LVF03]). Quant à [CMC03] [MBCM99] il ramène la problématique à un asservissement visuel.

4.3 Photoréalisme

On considère ici deux classes de problèmes : les occultations (gestion de la profondeur et superposition des objets du point de vue de l'utilisateur) et cohérence d'éclairage (même modèle d'éclairage pour le réel et virtuel, avec gestion des ombres).

Pour les occultations, la résolution des quatre cas de base (R/R,R/V,V/R,R/V) peut être résolue par différentes techniques : reconstruction dense de l'environnement ([BWRT96], [WA95], [SNV02]), estimation de la profondeur par vision stéréoscopique et utilisation de billboard [KOTY99], utilisation d'objet "phantom" [FHFG99] , ou une approche base vision par étude sur les contours [Ber97].

De nombreux travaux ont été menés concernant l'incrustation d'objets virtuels dans une image par des tech-

niques non temps réel¹ ([Fou94], [SSI99], [Deb98], [sta99], [GM00], [LDR00],). Récemment plusieurs travaux se sont intéressés à des solutions temps réel simplifiés : estimation de direction [ADK⁺01] [WJM⁺03], estimation par lightprobe [hRfARUEI03], estimation et éclairage basé image [KY02], re-éclairage du modèle initiale avant intégration [MOO02], [MW01], shadow volumes [MSWJ03], shadow mapping [oSRoVOiAR03], modification par projection [RLW01], système automatique pour Virtual Showcases [BES03]. Dans ce contexte, Sugano a étudié la relation R/V par rapport à la notion d'ombres et montre que la direction de l'ombre est l'information dominante dans un cas de scènes statiques et que dans des scènes dynamiques seule la forme globale est un paramètre important.

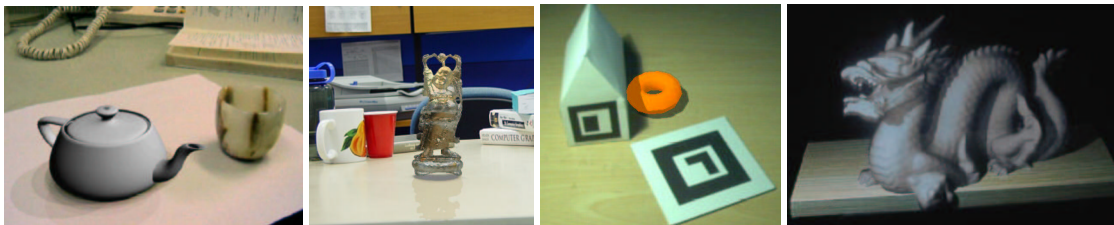


FIG. 7 – Rendu photorealiste temps réel : estimation par light probe [KY02], éclairage basé image [KY02], shadow volumes [MSWJ03] , et éclairage en solution optique [BES03].

5 Interaction

Une large part des méthodes s'est développée dans la continuité des systèmes de réalité virtuelle ou des métaphores bureau que l'on divise ici en deux catégories. D'une part, la définition de métaphores reprenant les tâches de base de l'interaction 3D (sélection, manipulation, navigation, contrôle d'application [Bow99]), d'autre part les environnements de haut niveau gérant une interface hybride multi-utilisateurs, multi-périphériques et multi-documents. nous verrons enfin quelques travaux sur l'ergonomie de ces interactions.

5.1 Tâches de base

[zAR02] définit différents types d'interactions sous quatre formes : navigation 3D, navigation 2D, manipulation 3D, manipulation 2D. Dans notre cas, on reprend la classification de Bowman.

Manipulation

On distingue différentes approches :

- techniques classiques de bureau ou de RV : pointeur 3D [SFSG96], rayon 3D [SPVT01], plan 3D [Rek96], palette [SG97], manette 3D [BHF⁺99], interface laser [Rek] ;
- interaction digitale, gestuelle : avec gants [TP02] , 2D [CC95] [NSK01], 2D dans un plan spécifique [Mal02a], avec marqueurs [DUS01], avec marqueurs 2D [VKL⁺02] [DSB⁺03], mobile [KOKS01], real reality [BB96]. On peut aussi citer les approches sur les tables digitales ([Rek02]) et les techniques associés ([MW03]) ;
- interfaces saisissables, TUI : par capteur magnétique ([FIB95], [PIHP01], [BJB03]), par vision [IU97] [RFK⁺97], avec un paddle [KIK⁺01], avec des marqueurs ([RW02], [DMS⁺02]), par jetons [Bér03], magicCup [KTT⁺03], par marqueurs et relations de proximités [PTB⁺02] ;
- avec des approches multimodales : fusion (Rasa [MCW00]), ou basé sur une approche stochastique (SenseShape [OBF03]).

Navigation

On distingue les travaux liés à la gestion de la caméra, et les interfaces transitoires Réel/RA/RV.

¹généralement définie par les auteurs comme approche de réalité augmentée, en incohérence avec la définition de Azuma

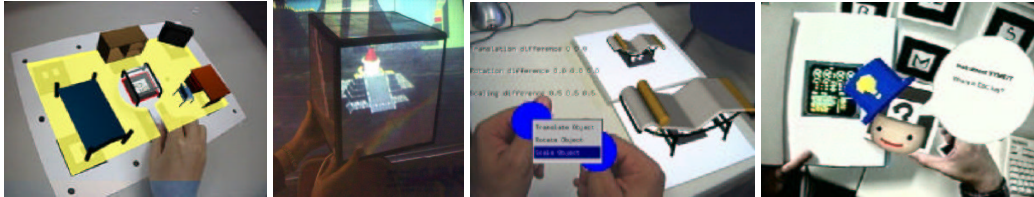


FIG. 8 – Différentes méthodes de manipulations 3D : paddle [KIK⁺01], CoCube [BJB03], gestuelle [DSB⁺03] ou tangible [PTB⁺02]

Fjeld s'intéresse au déplacement du point de vue et propose différentes méthodes tangibles dans le cadre de deux vues publiques projetées [FIV⁺99], [FVB⁺99]. Aliakseyeu s'intéresse à la navigation sous formes de coupes dans un espace 3D et propose une approche tangible [zAR02]. [HBGA03] propose une gestion simultanée d'une vue égocentrique et exocentrique, la relation dépendant du déplacement d'un avatar tangible (dérivé du WIM [SCP95], aussi repris par [SG97]).

[KK99] introduit la possibilité de passer d'un mode RA à RV à l'aide d'un slider virtuel. [BCH⁺00] étend ce concept et décrit une interface de transition, MagicBook, permettant de passer de Réel, à RA, à RV.

Contrôle d'applications

[RFK⁺97] propose une projection des outils partagés sur la surface commune. Schmalstieg propose l'utilisation du PIP [SG97], palette physique associée à des interface graphiques virtuels d'une application alors que [GF01] introduit un couplage de Widget à des éléments physiques interaction.

Modélisation

[PT03] introduit des techniques interactives pour reconstruire des scènes extérieures réelles, tandis que [LHS01] ajoute des objets réels par digitalisation interactive (ou d'autres approches par vision [DC03] ou par approche générique[GDG01]). [BRF01] s'intéresse à des techniques pour modifier dynamiquement l'apparence d'objets réels, créer une perception d'animation [RZW02] modifier l'apparence d'objets réels par affichage par projection, [RZW02], ou [GGS03] avec un système interactif qui permet 'd'alterner' la réalité.

5.2 Environnement de haut niveau

Différents projets se sont intéressés à fournir des interfaces de plus haut niveau pour manipuler un ensemble d'éléments regroupables sous forme de documents ou de fenêtres [Mye88]. [FMS93] introduit ce concept et propose le placement de fenêtres virtuelles dans un espace réel. [SFH00] reprend les principes des interfaces de bureau et introduit un système d'événements et de fenêtre 3D, de contexte de données, et de système de référence. [RUO01] propose une interaction sous forme de tuiles physiques interconnectables physiquement associées à des éléments virtuels projetés. [RBW01] reprend le concept des fenêtres 2D, qu'il intègre alors au réel associé à des marqueurs rigides réels (ainsi que [GOR03], [DNH03] et [RR01]).

[BHF⁺99] introduit le terme d'interface utilisateur hybride : elle définit un support pour de multiples utilisateurs, périphériques, systèmes dans un cadre hétérogène. Il s'intéresse alors à la gestion de cette interface en proposant des méthodes de gestion du contenu visible, du filtrage des données affichées : [HFH⁺01], [BFH01]. A un plus fort niveau communicatif, Broll décrit dans [BSHB01], la RA comme peut-être une interface adéquate pour l'interaction avec un système supportant des agents de communication ([KYT00] propose par exemple, Welbo un simple agent conversationnel).

5.3 Etude des facteurs ergonomiques

Etude des facteurs de perception : [LW02] montre que les casques semi-transparents sont peu utilisables pour des environnements très dynamiques, mais plus utilisable que des technologies optiques si la mise à jour du fond est à faible fréquence. Drascic dans [DM91] [DM96] s'est largement intéressé à la problématique de pointage virtuel avec un système de RA vidéo et montre que l'accommodation, la vergence entre les deux mondes reste un problème très difficile à résoudre. [Hou01] montre que la position d'un pointeur virtuel et le type de texture d'un objet réel pointe influe sur leurs performances de sélection de points de cet objet, le signal de binocularité diminuant nettement cette erreur (base sur un système AR vidéo stéréoscopique base écran).

Etude des facteurs des mouvements : [MWLM01] montre l'importance du retour visuel des membres en interaction et retour tactile de l'élément manipulé. Elle montre aussi que l'analyse des variables cinématiques d'un mouvement peut alors fournir une très bonne source pour les algorithmes de prédiction. Shaw [SL92] a étudié lui aussi le mouvement pour une tâche de base, montrant un mouvement de déplacement sur un grand arc de cercle.

Etude de tâches : Tang étudie des tâches d'assemblages en RA, et montre dans [TZO03], [TOBM02] l'efficacité réduisant l'erreur de 82% de la tâche par rapport à des approches base moniteur ou manuel. [FSSK00] montre l'efficacité d'une interface saisissable par rapport à des approches purement virtuelles.

6 Cas Particulier : collaboratif

Le collaboratif peut être défini dans la taxonomie de [EGR91] basé sur un classement à deux dimensions, un axe de temps (synchrone/asynchrone) et un axe d'espace (local/distant). Dans ce cadre, les travaux de réalité augmentée se sont principalement tournés vers les systèmes distants synchrones ou les systèmes face-à-face, c'est à dire co-localisé synchrone. Un grand nombre de travaux lié à l'ubiquitous computing et au travail sur le collaboratif peuvent alors servir pour guider de nouvelles approches. On peut citer des travaux lié à l'approche co-localisés ([Sco03],[SGM03],[GG00]).

Schmalstieg [SFSG96] définit les cinq composantes clés d'un environnement collaboratif de RA :

- la virtualité : les objets sans existence réelle peuvent être vus et examinés dans le monde réel ;
- l'augmentation : les objets réels peuvent être augmentés avec des annotations virtuelles ;
- la coopération : plusieurs utilisateurs peuvent se voir l'un l'autre et coopérer de façon très naturelle ;
- l'indépendance : chaque utilisateur peut contrôler son propre point de vue ;
- l'individualité : l'information peut apparaître sous différentes formes choisies par l'utilisateur.

Au-delà de ces concepts, différents travaux ont évalué l'aspect collaboratif et ces propriétés perceptuelles et ergonomiques. Kiyokawa [KINY98] montre que les interfaces de type RA sont plus favorables à la collaboration que les interfaces de RV, qui sont plus propices à la navigation immersive et montre l'importance du retour visuel du point de vue des autres utilisateurs (meilleurs résultats sous forme de ligne de vue). Bilinghurst montre dans [BCKP02] que les interfaces RA collaborative (tangible) sont plus similaires à la collaboration face à face réelle que par un système projectif (on peut noter que d'après ces résultats des casques à plus fort champ de vue réduit notablement cet écart de performance).

Environnements existants

On liste pour finir les différents environnements² de RA existants en proposant un classement selon des critères qui restent malheureusement perméables :

- environnement Ubiquitous Computing : Ambiente [STMTK01], Interactive Workspace [BRTF02], interactive design collaborium [GGMr01], SDG [SBD99] ;
- environnement de RV (restreint à quelques exemples ici pour comparaison) :
 - environnement de type semi-immersif 3D co-localisé : PIT [APT⁺98], Responsive Workbench [ABM⁺97],
 - environnement de type semi-immersif 3D distribué : Spin-3D [DDS⁺98], CALVACADE [TBG⁺99], [GPMV00] ;
- environnement de RA :
 - environnement de type 2D co-localisé : BUILD-IT [RFK⁺97], VIP [AMS⁺01], TILES [PTB⁺02],

²on considère un environnement comme le support des quatre types de composantes définies précédemment (architecture, mixage, interaction et collaboration) et la possibilité pour le système de s'adapter à une nouvelle application.

- environnement de type 3D distant : téléconférence [RWC⁺98], MR conférence [BKWF99], [BFSK03],
- environnement de type 3D co-localisé : Shared Space [BWF98], Magic Book [BCH⁺00], V-LEGO [KTK⁺96], Studierstube [SFH⁺02], SCAPE [HBGA03],
- environnement de type 3D co-localisé sur table : EMMIE [BHF⁺99], ARTHUR [GMS⁺03], MARE [GG02], Magic Meeting [RW02].



FIG. 9 – Quelques environnements collaboratifs : BUILD-IT [Rek], Tiles [PTB⁺02], MARE [GG02].

7 Conclusion

Le domaine récent de la réalité augmentée fait preuve d'un grand nombre de travaux, son approche multidisciplinaire convergeant vers un environnement unifiant les différents travaux de bout en bout. L'utilisation de système mobile offre maintenant une unique non réalisable avec la RV.

Une large part des limitations reste aujourd'hui les limitations technologiques (périphériques, hardware) qui nécessite un grand bond en avant pour passer à des solutions industriels. Les techniques d'alignement doivent aussi progresser, la vision semblant ouvrir une nouvelle voie d'utilisation pour combler erreur statique et dynamique. Un grand nombre d'expérimentations sur les facteurs humains et des études perceptuelles, physiologique, sont nécessaire, comme on continue à le réaliser aujourd'hui dans la Réalité Virtuelle, pour comprendre et cerner les critères perceptuels et ergonomiques limitations et possibilités de la RA (base sur une nouvelle méthodologie centre utilisateur dédié à la RA [GHS99], [DGN02]).

Pour conclure, la montée du pervasive computing associé à la réalité augmentée conduisent à tendre vers une nouvelle conception des relations homme-machine ("anywhere, anytime"), dont la forte réduction des coûts matériels est un facteur clé : Il y'a une dizaine d'années, il était nécessaire d'avoir des budgets de l'ordre du million d'euros (salle climatisé, stations hautes performances, périphériques lourds) alors que maintenant il y'a juste besoin d'une dizaine de milliers d'euros (ordinateur portable, périphériques léger), facilitant une accessibilité et une mise en oeuvre en tous lieu (musée, environnement industriel, extérieur).

L'utilisateur pourra trouver plus d'informations sur une page regroupant un accès vers les publications en ligne, bibliographie à jour, complément multimédia à l'adresse suivante :

<http://www-artis.imag.fr/Members/Raphael.Grasset/AR/>

Références

- [AB94] Ronald Azuma and Gary Bishop. Improving static and dynamic registration in an optical see-through hmd. In *SIGGRAPH*, pages 197–204, 1994.
- [AB95] Ronald Azuma and Gary Bishop. A frequency-domain analysis of head-motion prediction. In *SIGGRAPH*, Los Angeles, USA, August 1995.
- [ABB⁺01] Ronald Azuma, Yohan Baillot, Reinhold Behringer, Steven Feiner, Simon Julier, and Blair MacIntyre. Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6) :34–47, November/December 2001.

- [ABC⁺94] K. Ahlers, D. Breen, C. Crampton, E. Rose, M. Tuceryan, R. Whitaker, and D. Greer. An augmented vision system for industrial applications. In *Telem manipulator and Telepresence Technologies*, volume 2351, pages 345–359. SPIE Proceedings, Boston, 1994.
- [ABM⁺97] Maneesh Agrawala, Andrew C. Beers, Ian McDowall, Bernd Fröhlich, Mark Bolas, and Pat Hanrahan. The two-user responsive workbench : support for collaboration through individual views of a shared space. In *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 327–332, 1997.
- [ADK⁺01] Dennis Andersen, Martin Dalum, Michael Holm Kaldal Dennis Kristetnsen, Thorsten Jorgen Ottosen, Nicolaj Sendberg-Madsen, and Casper Thomson. Ars-generator an augmented reality shadow generator. Supervised by Claus B Madsen, 2001.
- [AKB⁺95] Klaus H. Ahlers, André Kramer, David E. Breen, Pierre-Yves Chevalier, Chris Crampton, Eric Rose, Mihran Tuceryan, Ross T. Whitaker, and Douglas Greer. Distributed augmented reality for collaborative design applications. *Computer Graphics Forum*, 14(3) :3–14, 1995.
- [AMS⁺01] Dzmityr Aliakseyeu, Jean-Bernard Martens, Sriram Subramanian, Marina Vroubel, and Wieger Wesselink. Visual interaction platform. In *Interact*, pages 232–239, Tokyo, Japan, July 2001.
- [APT⁺98] Kevin Arthur, Timothy Preston, Russell Taylor, Frederick Brooks, Mary Whitton, and William Wright. Designing and building the PIT : a head-tracked stereo workspace for two users. Technical Report TR98-015, 16, 1998.
- [arg] Researching usability design and evaluation guidelines for augmented reality (ar) systems. http://www.sv.vt.edu/classes/ESM4714/Student_Proj/class00/gabbard/results.html.
- [AT98] Gervautz M. Auer T., Pinz A. Tracking in a multi-user augmented reality system. In *International Conference Computer Graphics and Imaging (CGIM)*, pages 249–252, Halifax, Canada, June 1998. IASTED.
- [Azu93] Ronald Azuma. Tracking requirements for augmented reality. *Communications of the ACM*, 36(7) :50–51, July 1993.
- [Azu95] Ronald Azuma. *Predictive Tracking for Augmented Reality*. PhD thesis, UNC Chapel Hill Dept. of Computer Science, 1995.
- [Azu97] Ronald T Azuma. A survey of augmented reality. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 1997.
- [BB96] W. Bruns and V. Brauer. Bridging the gap between real and virtual modeling - a new approach to human-computer interaction. In *IFIP5.10-Workshop Virtual Prototyping*, Arlington, USA, May 1996.
- [BBB03] Uli Bockholt, Alexander Bisler, and Mario Becker. Augmented reality for enhancement of endoscopic interventions. In *Virtual Reality (VR)*, Los Angeles, USA, March 2003.
- [BBK⁺01a] Martin Bauer, Bernd Bruegge, Gudrun Klinker, Asa MacWilliams, Thomas Reicher, Stefan Riss, Christian Sandor, and Martin Wagner. Design of a component-based augmented reality framework. In *Proceedings of ISAR 2001*, 2001.
- [BBK⁺01b] Martin Bauer, Bernd Bruegge, Gudrun Klinker, Asa MacWilliams, Thomas Reicher, Christian Sandor, and Martin Wagner. An architecture concept for ubiquitous computing aware wearable computers. In *International Workshop on Smart Appliances and Wearable Computing (IWSAWC 2002)*, 2001.
- [BCG⁺01] M. Back, J. Cohen, R. Gold, S. Harrison, and S. Minneman. Listen reader : An electronically augmented paper-based book. In *Computer Human Interaction (CHI)*, Seattle, USA, March 2001.
- [BCH⁺00] M. Billinghamurst, S. Campbell, D. Hendrickson, W. Chinthammit, I. Poupyrev, K. Takahashi, and H. Kato. Magic book : Exploring transitions in collaborative ar interfaces. In *SIGGRAPH, Emerging Technologies*, 2000.
- [BCKP02] Mark Billinghamurst, A. Cheok, H. Kato, and S. Prince. Real world teleconferencing. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2002.
- [Ber97] M. Berger. Resolving occlusions in augmented reality : a contour-based approach without 3d reconstruction. In *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Puerto Rico, 1997. IEEE.

- [BES03] Oliver Bimber, L.M. Encarnaç o, and Dieter Schmalstieg. The virtual showcase as a new platform for augmented reality digital storytelling. In *Eurographics Workshop on Virtual Environments*, pages 87–95, 2003.
- [BFH01] Blaine Bell, Steven Feiner, and Tobias Höllerer. View management for virtual and augmented reality. In *UIST*, 2001.
- [BFKT00] S. Balcisoy, P. Fua, M. Kallmann, and D. Thalmann. A framework for rapid evaluation of prototypes with augmented reality. In *VRST*, Seoul, Korea, 2000. ACM.
- [BFO92] M. Bajura, H. Fuchs, and R. Ohbuchi. Merging virtual objects with the real world : seeing ultrasound imagery within the patient. In *SIGGRAPH*, pages 203–210. ACM, 1992.
- [BFSE01] O. Bimber, B. Fröhlich, D. Schmalstieg, and L.M Encarnaç o. The virtual showcase. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6) :48–55, 2001.
- [BFSK03] Istvan Barakonyi, Tamer Fahmy, Dieter Schmalstieg, and K. Kosina. Collaborative work with volumetric data using augmented reality videoconferencing. In *ISMAR, Demo Description*, 2003.
- [BHF+99] A. Butz, T. Hollerer, S. Feiner, B. MacIntyre, and C. Beshers. Enveloping users and computers in a collaborative 3d augmented reality. In *International Workshop on Augmented Reality (IWAR)*, 1999.
- [BHM+03] Martin Bauer, Otmar Hilliges, Asa MacWilliams, Christian Sandor, Martin Wagner, Joe Newman, Gerhard Reitmayr, Tamer Fahmy, Gudrun Klinker, Thomas Pintaric, and Dieter Schmalstieg. Integrating studierstube and dwarf. In *International Workshop on Software Technology for Augmented Reality Systems (STARS)*, 2003.
- [BJB03] Dennis Brown, Simon Julier, and Yohan Baillot. An event-based data distribution mechanism for collaborative mobile augmented reality and virtual environments. In *IEEE Virtual Reality (VR)*, page 23, Los Angeles, USA, 2003.
- [BKP01] M. Billinghamurst, H. Kato, and I. Poupyrev. The magicbook : Moving seamlessly between reality and virtuality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, pages 2–4, 2001.
- [BKT+01] S. Balcisoy, M. Kallmann, R. Torre, P. Fua, and D. Thalmann. Interaction techniques with virtual humans in mixed environments. In *International Symposium on Mixed Reality*, Yokohama, Japan, March 2001.
- [BKWF99] Mark Billinghamurst, Hirokazu Kato, S. Weghorst, and T. A. Furness. A mixed reality 3dconferencing application. Technical report, Human Interface Technology Laboratory, University of Washington, 1999.
- [BN95] Michael Bajura and Ulrich Neumann. Dynamic registration correction in video-based augmented reality systems. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1995.
- [Bow99] Doug A. Bowman. *Interaction Techniques for Common Tasks in Immersive Virtual Environments : Design, Evaluation, and Application*. PhD thesis, Georgia Institute of Technology, 1999.
- [B er94] Francois Bérard. Vision par ordinateur pour la réalité augmentée : Application au bureau numérique. Master’s thesis, Joseph Fourier University, Grenoble, France, 1994.
- [B er03] Francois Bérard. The magic table : Computer-vision based augmentation of a whiteboard for creative meetings. In *IEEE Workshop on Projector-Camera Systems (PROCAM)*, Nice, France, 2003.
- [BRF01] Deepak Bandyopadhyay, Ramesh Raskar, and Henry Fuchs. Dynamic shader lamps : Painting on real objects. In *The Second IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality (ISAR’01)*, October 2001.
- [BRTF02] Jan Borchers, Meredith Ringel, Joshua Tyler, and Armando Fox. Interactive workspaces : A framework for physical and graphical user interface prototyping. *IEEE Wireless Communications*, 9(6) :64–69, 2002.
- [Bry92] S. Bryson. Measurement and calibration of static distortion of position data from 3d trackers. In *SPIE Conference on Stereoscopic Displays and Applications III*,, pages 244–255, February 1992.

- [BSHB01] W. Broll, L. Schäfer, T. Höllerer, and D. Bowman. Interface with angels : the future of vr and ar interfaces. *IEEE Computer Graphics*, pages 14–17, November/December 2001.
- [BWF98] Mark Billinghurst, S. Weghorst, and T. A. III Furness. Shared space : An augmented reality approach for computer supported collaborative work. In *Virtual Reality*, pages 25–36. IEEE, 1998.
- [BWRT96] David E. Breen, Ross T. Whitaker, Eric Rose, and Mihran Tuceryan. Interactive occlusion and automatic object placement for augmented reality. *Computer Graphics Forum*, 15(3), 1996.
- [CAS⁺95] Morteza Czernuszenko, David Adamczyk, Daniel J. Sandin, Robert V. Kenyon, and Thomas A. DeFanti. Ultrasonic calibration of a magnetic tracker in a virtual reality space. In *IEEE Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS)*, March 1995.
- [CC95] F. Crowley, J.L. Bérard and J. Coutaz. Finger tracking as an input device for augmented reality. In *International Workshop on Automatic Face and Gesture Recognition*, Zurich, Switzerland, June 1995.
- [CH93] C. Carlsson and O. Hagsand. Dive - a multi-user virtual reality system. In *Virtual Reality Annual International Symposium*, pages 394–400. IEEE, 1993.
- [CM92] T. Caudel and D. Mizell. Augmented reality : an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In *Hawaii International Conference on System Sciences*, 1992.
- [CMC03] A. Comport, E. Marchand, and F. Chaumette. A real-time tracker for markerless augmented reality. In *ACM/IEEE Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, ISMAR'03*, pages 36–45, Tokyo, Japan, October 2003.
- [CN98] Y. Cho and U. Neumann. Multi-ring color fiducial systems for scalable fiducial tracking augmented reality. In *Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS)*. IEEE, 1998.
- [CPN97] Y. Cho, J. Park, and U. Neumann. Fast color fiducial detection and dynamic workspace extension in video see-through self-tracking augmented reality. In *Pacific Conference on Computer Graphics and Applications*, 1997.
- [CSD98] Morteza Czernuszenko, Daniel J. Sandin, and Thomas A. DeFanti. Line of sight method for tracker calibration in projection-based vr systems. In *International Immersive Projection Technology Workshop*, May 1998.
- [CWY⁺02] A. Cheok, W. Weihua, X. Yang, S. Prince, F. Wan, M. Billinghurst, and H. Kato. Interactive theatre experience in embodied and wearable mixed reality space. In *International Symposium on Augmented Reality Environment (ISMAR)*, pages 59–68. IEEE and ACM, 2002.
- [Dal02] Laurent Da Dalto. Starmate : using augmented reality for maintenance, training and education. In *Virtual Reality International Conference (VRIC)*, Laval, France, 2002.
- [DC03] Keith Yerex Dana Cobzas, Martin Jägersand. Editing real world scenes : Augmented reality with image-based rendering. In *Virtual Reality*, Los Angeles, USA, March 2003.
- [DDS⁺98] C. Dumas, S. Degrande, G. Saugis, C. Chaillou, and M.-L. Viaud. A 3-d interface for cooperative work. In *Collaborative Virtual Environments (CVE)*, Manchester, UK, 1998.
- [Deb98] Paul Debevec. Rendering synthetic objects into real scenes : Bridging traditional and image-based graphics with global illumination and high dynamic range photography. *Computer Graphics*, 32(Annual Conference Series) :189–198, 1998.
- [DGHP02] Ralf Dörner, Christian Geiger, Michael Haller, and Volker Paelke. Authoring mixed reality. a component and framework-based approach. In *International Workshop on Entertainment Computing (IWEC)*, Makuhari, Japan, May 2002.
- [DGN02] Emmanuel Dubois, P. D. Gray, and Laurence Nigay. Asur++ : a design notation for mobile mixed system. In *international conference MobileHCI*, Pisa, Italy, September 2002.
- [DK02] Patrick Dähne and John N. Karigiannis. Archeoguide : System architecture of a mobile outdoor augmented reality system. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2002.
- [DM91] David Drascic and Paul Milgram. Positioning accuracy of a virtual stereographic pointer in a real stereoscopic video world. In *SPIE*, volume 1457, pages 58–69, San Jose, USA, 1991.

- [DM96] David Drascic and Paul Milgram. Perceptual issues in augmented reality. In *Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems III*, volume 2653, pages 123–124. SPIE, January 1996.
- [DMS⁺02] Jose Miguel Salles Dias, Luis Monteiro, Pedro Santos, Rui Silvestre, and Nancy Diniz Rafael Bastos. Tangible interaction for conceptual architectural design. In *ART*, 2002.
- [DNH03] Stephen DiVerdi, Daniel Nurmi, and Tobias Höllerer. Arwin - desktop augmented reality window manager. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, October 2003.
- [DNT⁺99] Emmanuel Dubois, Laurence Nigay, Jocelyne Troccaz, O. Chavanon, and L. Carrat. Classification space for augmented surgery, an augmented reality case study. In *Interact*, pages 353–359, Edinburgh, United Kingdom, 1999.
- [DSB⁺03] José Miguel Salles Dias, Pedro Santos, Rafael Bastos, Luis Monteiro, and Rui Silvestre. Developing and authoring mixed reality with mx toolkit. In *International Augmented Reality Toolkit Workshop*, Tokyo, Japan, October 2003.
- [Dub01] Emmanuel Dubois. *Chirurgie Augmentée : un Cas de Réalité Augmentée ; Conception et Réalisation Centrée sur l'Utilisateur*. PhD thesis, Joseph Fourier University, Grenoble, 2001.
- [DUS01] Klaus Dorfmueller-Ulhaas and D. Schmalstieg. Finger tracking for interaction in augmented environments. In *International Symposium on Augmented Reality (ISAR)*, pages 55–64, October 2001.
- [EGR91] Clarence A. Ellis, Simon J. Gibbs, and Gail Rein. Groupware : some issues and experiences. *Communications of the ACM*, 34(1) :39–58, 1991.
- [EKEK93] Jannick P. Rolland Emily K. Edwards and Kurtis Keller. Video see-through design for merging of real and virtual environments. In *VRAIS*, 1993.
- [FHFG99] A. Fuhrmann, G. Hesina, F. Faure, and Michael Gervautz. Occlusion in collaborative augmented environment. In *EGVE*, 1999.
- [FHP98] Eric Foxlin, Michael Harrington, and George Pfeifer. Constellation : a wide-range wireless motion-tracking system for augmented reality and virtual set applications. In *Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 371–378. ACM Press, 1998.
- [FIB95] George W. Fitzmaurice, Hiroshi Ishii, and William Buxton. Bricks : Laying the foundations for graspable user interfaces. In *Computer Human Interaction (CHI)*, pages 442–449, 1995.
- [FIV⁺99] M. Fjeld, N. Ironmonger, F. Voorhorst, M. Bichsel, and M. Rauterberg. Camera control in a planar, graspable interface. In *International Conference Applied Informatics (AI)*, pages 242–245. IASTED, 1999.
- [FLS97] Anton Fuhrmann, Helwig Löffelman, and Dieter Schmalstieg. Collaborative augmented reality : Exploring dynamical systems. In *Visualization*, pages 459–462. IEEE, 1997.
- [FMS93] Steve Feiner, Blair MacIntyre, and D. Seligman. Knowledge-based augmented reality. *Communications of the ACM*, 36(7) :52–62, July 1993.
- [Fou94] Alain Fournier. Illumination problems in computer augmented reality. TR 95-35, Department of Computer Science at the University of British Columbia, 1994.
- [FPTP01] Anton L. Fuhrmann, Jan Prikryl, Robert F. Tobler, and Werner Purgathofer. Interactive content for presentations in virtual reality. In *VRST*, 2001.
- [FRB99] J. Falk, J. Redström, and S. Björk. Amplifying reality. *Lecture Notes in Computer Science*, 1707 :274–282, 1999.
- [Fri02] Wolfgang Friedrich. Arvika ? augmented reality for development, production and service. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2002.
- [FSP99] Anton Fuhrmann, Dieter Schmalstieg, and Werner Purgathofer. Fast calibration for augmented reality”. In *Virtual Reality Software and Technology*, pages 166–167, London, United Kingdom, 1999.
- [FSSK00] Morten Fjeld, Sissel Guttormsen Schär, Domenico Signorello, and Helmut Krueger. Alternative tools for tangible interaction : A usability evaluation. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, Darmstadt, Germany, 2000.

- [FV02] M. Fjeld and B. Voegtli. Augmented chemistry : An interactive educational workbench. In *International Symposium of Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pages 259–260. IEEE, 2002.
- [FVB+99] M. Fjeld, F. Voorhorst, M. Bichsel, K. Lauche, M. Rauterberg, and H. Krueger. Exploring brick-based navigation and composition in an augmented reality. *Lecture Notes in Computer Science*, 1707 :102–??, 1999.
- [GB95] Chris Greenhalgh and Steve Benford. MASSIVE : A distributed virtual reality system incorporating spatial trading. In *International Conference on Distributed Computing Systems*, pages 27–34, 1995.
- [GD01] T. Gleue and P. Daehne. Design and implementation of a mobile device for outdoor augmented reality in the archeoguide project. In *Virtual Reality, Archaeology, and Cultural Heritage International Symposium (VAST)*, Glyfada, Greece, November 2001.
- [GDG01] Raphael Grasset, Xavier Décoret, and Jean-Dominique Gascuel. Augmented reality collaborative environment : calibration and interactive scene editing. In *VRIC 2001*, May 2001. Laval Virtual.
- [GF01] Saul Greenberg and Chester Fitchett. Phidgets : easy development of physical interfaces through physical widgets. In *UIST*, pages 209–218, 2001.
- [GG00] Carl Gutwin and Saul Greenberg. The mechanics of collaboration : Developing low cost usability evaluation methods for shared workspaces. In *International Workshops on Enabling Technologies : Infrastructure for Collaborative Enterprises (WET ICE)*, March 2000.
- [GG02] Raphael Grasset and Jean-Dominique Gascuel. Mare : Multiuser augmented reality environment on table setup. In *ACM SIGGRAPH Conference Abstracts and Applications*, San Antonio, USA, July 2002.
- [GGMr01] Kaj Grønbaek, Kristian Gundersen, Preben Mogensen, and Peter Ørbæk. Interactive room support for complex and distributed design projects. In *Interact*, pages 407–414, 2001.
- [GGS03] Raphael Grasset, Jean-Dominique Gascuel, and Dieter Schmalstieg. Interactive mediated reality. In *Poster at ISMAR (International Symposium on Augmented Reality) 2003*, 2003.
- [GH93] Stefan Gottschalk and John F. Hughes. Autocalibration for virtual environments tracking hardware. In *SIGGRAPH*, pages 65 – 72, 1993.
- [GHA03] Chunyu Gao, Hong Hua, and Narendra Ahuja. Easy calibration of a head-mounted projective display for augmented reality systems. In *Virtual Reality*, 2003.
- [GHS99] Joseph L. Gabbard, Deborah Hix, and J. Edward Swan. User-centered design and evaluation of virtual environments. *Computer Graphics and Applications*, pages 51–59, 1999.
- [GLPI+96] W.E.L. Grimson, T. Lozano-Perez, W.M. Wells III, G.J. Ettinger, S.J. White, and R. Kikinis. An automatic registration method for frameless stereotaxy, image guided surgery, and enhanced reality visualization. *Transactions on Medical Imaging*, 1996.
- [GM00] Simon Gibson and A. Murta. Interactive rendering with real-world illumination. In *Eurographics Workshop on Rendering*, 2000.
- [GMS+03] Erik Granum, Thomas B. Moeslund, Mortiz Stoerring, Wolfgang Broll, and Michael Wittkaemper. Facilitating the presence of users and 3d models by the augmented round table. In *PRESENCE Conference*, Aalborg, Denmark, October 2003.
- [GOR03] Christian Geiger, Leif Oppermann, and Christian Reimann. 3d-registered interaction-surfaces in augmented reality space. In *ARTOOLkit workshop*, 2003.
- [GPMV00] G.Goebels, P.Th.Aquino, M.Göbel, and V.Lalioti. Supporting team work in collaborative virtual environments. In *International Conference on Artificial Reality and Tele-existence (ICAT)*, Taipei, Taiwan, October 2000.
- [GPRR00] Christian Geiger, Volker Paelke, Christian Reimann, and Waldemar Rosenbach. A framework for the structured design of vr/ar content. In *VRST*, pages 75–82, 2000.
- [GSZ00] Andrew W. Fitzgibbon Gilles Simon and Andrew Zisserma. Markerless tracking using planar structures in the scene. In *International Symposium on Augmented Reality*, 2000.

- [GTN01] Yackup Genc, Mihran Tuceryan, and Nassir Navab. Optical see-through calibration with vision-based trackers : propagation of projection matrices. In *International Symposium on Augmented Reality (ISAR)*, pages 147–156, New York, USA, October 2001.
- [GTN02] Yackup Genc, Mihran Tuceryan, and Nassir Navab. Practical solutions for calibration of optical see-through devices. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pages 169–175, Darmstadt, Germany, September 2002.
- [HBGA03] Hong Hua, Leonard D. Brown, Chunyu Gao, and N. Ahuja. A new collaborative infrastructure : Scape. In *Virtual Reality*, Los Angeles, USA, March 2003. IEEE.
- [HBP⁺01] N. Hedley, M. Billinghurst, L. Postner, R. May, and H. Kato. Explorations in the use of augmented reality for geographic visualization. *Presence*, 11(2) :119–133, 2001.
- [HFH⁺01] Tobias Höllerer, Steven Feiner, Drexel Hallaway, Blaine Bell, Marco Lanzagorta, Dennis Brown, Simon Julier, Yohan Baillot, and et al. User interface management techniques for collaborative mobile augmented reality. *Computer and Graphics*, 25(9) :799–810, October 2001.
- [HFT⁺99] T. Höllerer, S. Feiner, T. Terauchi, G. Rashid, and D. Hallaway. Exploring mars : Developing indoor and outdoor user interfaces to a mobile augmented reality system. *Elsevier Publishers Computers and Graphics*, 23(6) :779–785, December 1999.
- [HGB⁺02] Hong Hua, Chunyu Gao, Leonard Brown, Narendra Ahuja, and Jannick P. Rolland. Precise registration, natural occlusion and interaction in an augmented environment using a head-mounted projective display (hmpd). In *Virtual Reality (VR)*, pages 81–89, Orlando, USA, 2002. IEEE.
- [HGBR02] Hong Hua, Chunyu Gao, Leonard Brown, and Jannick P. Rolland. Design of an ultra-light head-mounted projective display (hmpd) and its applications in augmented collaborative environment. In *SPIE*, volume 4660, 2002.
- [HK03] Dieter Schmalstieg Hannes Kaufmann. Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality. *Computers and Graphics*, 27(3), 2003.
- [HLD⁺00] D. He, F. Liu, P D.ape, G. Dawe, and D. Sandin. Video-based measurement of system latency. In *International Immersive Projection Technology Workshop*, 2000.
- [Hol95a] Richard Holloway. Registration error analysis for augmented reality. *Presence*, 6(4), 1995. also UNC technical report TR95-001.
- [Hol95b] Richard Holloway. *Registration errors in augmented reality systems*. PhD thesis, University of North Carolina at Chapel Hill, 1995.
- [Hou01] Ming Hou. User experience with alignment of real and virtual objects in a stereoscopic augmented reality interface. In *CASCON*, November 2001.
- [HPF99] Tobias Hollerer, John V. Pavlik, and Steven Feiner. Situated documentaries : Embedding multimedia presentations in the real world. In *International Symposium on Wearable Computers (ISWC)*, pages 79–86, October 1999.
- [hRfARUEI03] hotorealistic Rendering for Augmented Reality Using Environment Illumination. K. agusanto and l. li and c. zhu and w. s. ng. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2003.
- [HSFP99] Gerd Hesina, Dieter Schmalstieg, Anton Fuhrmann, and Werner Purgathofer. Distributed open inventor : A practical approach to distributed 3d graphics. In *Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST)*, 1999.
- [HV00] W. A. Hoff and T. Vincent. Analysis of head pose accuracy in augmented reality. *IEEE Transaction Visualization and Computer Graphics*, 6(4), 2000.
- [HW96] J.M Hollerbach and C.W. Wampler. The calibration index and the role of input noise in robot calibration. In *Robotics Research : The Seventh International Symposium*, pages 558–568, 1996.
- [IBHH01] Milan Ikits, J. Dean Brederson, Charles D. Hansen, and John M. Hollerbach. An improved calibration framework for electromagnetic tracking devices. In *IEEE Virtual Reality*, pages 63–70, Yokohama, Japan, March 2001.
- [IHJ03] Milan Ikits, Charles D. Hansen, and Christopher R. Johnson. A comprehensive calibration and registration procedure for the visual haptic worbench. In *Eurographics Workshop on Virtual Environments*, pages 247–254, Zurich, Switzerland, May 2003.

- [IU97] H. Ishii and B Ullmer. Tangible bits : Towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Computer Human Interaction (CHI)*, pages 234–241, March 1997.
- [JG02] C. Matysczok J. Gausemeier, J. Fründ. Ar-planning tool - designing flexible manufacturing systems with augmented reality. In *Eurographics Workshop on Virtual Environments*, 2002.
- [JLS97] Marco C. Jacobs, Mark A. Livingston, and Andrei State. Managing latency in complex augmented reality systems. In *Symposium on Interactive 3D Graphics*, pages 49–54, 185, 1997.
- [JS99] V. Raghavan Molineros J. and R. Sharma. Interactive evaluation of assembly sequences using augmented reality. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 15(3), 1999.
- [Jul00] S. et al Julier. Battlefield augmented reality system. In *NATO Symposium on Information Processing Techniques for Military System*, Istanbul, Turkey 2000.
- [Kat02] Hirokazu Kato. Real-time tracking system based on matching templates generated from image texture. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), Poster Session*, 2002.
- [KB99] Hirokazu Kato and Mark Billinghurst. Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system. In *International Workshop on Augmented Reality*, San Francisco, USA, October 1999. IEEE and ACM.
- [KB00] V. Kindratenko and A. Bennett. Evaluation of rotation correction techniques for electromagnetic position tracking system. In *Virtual Environments 2000 Eurographics Workshop*, 2000.
- [KBCW03] Kiyoshi Kiyokawa, Mark Billinghurst, B. Campbell, and E. Woods. An occlusion-capable optical see-through head mount display for supporting co-located collaboration. In *ISMAR*, 2003.
- [KBP⁺00] H. Kato, M. Billinghurst, I. Poupyrev, K. Imamoto, and K. Tachibana. Virtual object manipulation on a table-top ar environment. In *International Symposium on Augmented Reality (ISAR)*, 2000.
- [KDB⁺02] Gudrun Klinker, Allen Dutoit, Martin Bauer, Johannes Bayer, Vinko Novak, and Dietmar Matzke. Fata morgana - a presentation system for product design. In *International Symposium on Augmented and Mixed Reality (ISMAR)*, 2002.
- [KGH85] Myron W. Krueger, Thomas Gionfriddo, and Katrin Hinrichsen. Videoplace—an artificial reality. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 35–40. ACM Press, 1985.
- [KIK⁺01] T. Kawashima, K. Imamoto, H. Kato, K. Tachibana, and M. Billinghurst. Magic paddle : A tangible augmented reality interface for object manipulation. In *International Symposium on Mixed Reality (ISMAR)*, pages 194–195, 2001.
- [Kin99] V. Kindratenko. Calibration of electromagnetic tracking devices. *Virtual Reality : Research, Development, and Applications*, pages 139–160, 1999.
- [KINY98] K. Kiyokawa, H. Iwasa, H. Takemura H. N., and Yokoya. Collaborative immersive workspace through a shared augmented environment. In *Proc. SPIE Vol. 3517, p. 2-13, Intelligent Systems in Design and Manufacturing, B. Gopalakrishnan ; San Murugesan ; Eds.*, pages 2–13, 1998.
- [KK99] Naokazu Yokoya Kiyoshi Kiyokawa, Haruo Takemura. Seamless switching of shared virtual and augmented environments for collaboration support. In *Transactions of the Virtual Reality Society of Japan*, volume 4, pages 657–664, 1999.
- [KK01a] Hiroyuki Ohn Kiyoshi Kiyokawa, Yoshinori Kurata. Elmo : An enhanced optical see-through display using an lcd panel for mutual occlusion. In *International Symposium on Mixed Reality (ISMAR)*, pages 186–187, Yokohama,, 2001.
- [KK01b] Hiroyuki Ohno Kiyoshi Kiyokawa, Yoshinori Kurata. An optical see-through display for mutual occlusion with a real-time stereo vision system. *International Journal of Systems and Applications in Computer and Graphics, Special Issue on "Mixed Realities - Beyond Conventions"*, 25(5) :765–779, 2001.
- [KKR⁺97] D. Koller, G. Klinker, E. Rose, D. Breen, R. Whitaker, and M. Tuceryan. Real-time Vision-Based camera tracking for augmented reality applications. In *Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, New York, USA, 1997. ACM.
- [Kli97] G. Klinker. Confluence of computer vision and interactive graphics for augmented reality. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 433-451 1997.

- [KOKS01] Takeshi Kurata, Takashi Okuma, Masakatsu Kourogi, and Katsuhiko Sakaue. The hand-mouse : A human interface suitable for augmented reality environments enabled by visual wearables. In *International Symposium on Mixed Reality (ISMR)*, pages 188–189, Yokohama, Japan, 2001.
- [KOTY99] Masayuki Kanbara, Takashi Okuma, Haruo Takemura, and Naokazu Yokoya. Real-time composition of stereo images for video see-through augmented reality. In *ICMCS*, volume 1, pages 213–219, 199.
- [KRB00] Gudrun Klinker, Thomas Reicher, and Bernd Bruegge. Distributed user tracking concepts for augmented reality. In *International Symposium on Augmented Reality (ISAR)*, 2000.
- [KTK⁺96] Kiyoshi Kiyokawa, Haruo Takemura, Yoshiaki Katayama, Hidehiko Iwasa, and Naokazu Yokoya. Vlego – a simple two-handed 3-d modeler in a virtual environment based on toy blocks. In *Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST)*, pages 27–34, 1996.
- [KTT⁺03] H. Kato, K. Tachibana, M. Tanabe, T. Nakajima, , and Y. Fukuda. A city-planning system based on augmented reality with a tangible interface. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2003.
- [KV98] K. N. Kutulakos and J. R. Vallino. Calibration-free augmented reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 4(1) :1–20, /1998.
- [KY02] Masayuki Kanbara and Naokazu Yokoya. Geometric and photometric registration for real-time augmented reality. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, *Poster*, October 2002.
- [KYT00] M. Anabuki M H. Kabuka, H. Yamamoto, and H Tamura. Welbo : An embodied conversational agent living in mixed reality space. In *(CHI), Videos*, 2000.
- [LDR00] Céline Loscos, George Drettakis, and Luc Robert. Interactive virtual relighting of real scenes. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 6(3), July-September 2000.
- [LGS00] K. Lyons, M. Gandy, and T. Starner. Guided by voices : An audio augmented reality system, 2000.
- [LHS01] Joohi Lee, Gentaro Hirota, and Andrei State. Modeling real objects using video see-through augmented reality. *Presence - Teleoperators and Virtual Environments*, 11(2) :144–157, 2001.
- [LLR⁺99] W. Luk, T. K. Lee, J. R. Rice, N. Shirazi, and P. Y. K. Cheung. Reconfigurable computing for augmented reality. In *Symposium on FPGAs for Custom Computing Machines*, pages 136–145, Los Alamitos, USA, 1999.
- [LS97] Mark Livingston and Andrei State. Magnetic tracker calibration for improved augmented reality registration. *Presence*, 6(5) :532–546, October 1997.
- [LS03] Florian Ledermann and Dieter Schmalstieg. Presenting past and present of an archaeological site in the virtual showcase. In *International Symposium on Virtual Reality, Archeology, and Intelligent Cultural Heritage (VAST)*, Brighton, UK, November 2003.
- [LSG91] J. Liang, C. Shaw, and M. Green. On temporal-spatial realism in the virtual reality environment. *Proceedings ACM UIST'91 4th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pages 19–25, 1991.
- [LVF03] V. Lepetit, L. Vacchetti, , and P. Fua. Fully automated and stable registration for augmented reality applications. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, Tokyo, Japan, Septetmber 2003.
- [LW02] Robert S. Laramée and Colin Ware. Rivalry and interference with a head mounted display. In *Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, volume 9, pages 238–251, September 2002.
- [Mac96] Wendy Mackay. Réalité augmentée : le meilleur des deux mondes. *La Recherche, Special issue on L'ordinateur au doigt et à l'oeil*, 284, March 1996.
- [Mal02a] G. Roth Malik, C. McDonald. Hand tracking for interactive pattern-based augmented reality. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, Darmstadt, Germany, 2002. IEEE and ACM.
- [Mal02b] S. Malik. Robust registration of virtual objects for real-time augmented reality. Master's thesis, (University Medal), Carleton University., May 2002.

- [Man94] Steve Mann. Mediated reality. TR 260, M.I.T. Media Lab Perceptual Computing Section, 1994.
- [MBCM99] Eric Marchand, Patrick Bouthemy, Francois Chaumette, and Valerie Moreau. Robust real-time visual tracking using a 2d-3d model-based approach. In *IEEE International Conference on Computer Vision, ICCV'99 (1)*, pages 262–268, September 1999.
- [MBWF97] Elizabeth D. Mynatt, Maribeth Back, Roy Want, and Ron Frederick. Audio aura : Light-weight audio augmented reality. In *ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pages 211–212, 1997.
- [MCW00] D. R. McGee, P. R. Cohen, and L. Wu. Something from nothing : Augmenting a paper-based work practice with multimodal interaction. In *Designing Augmented Reality Environments Conference (DARE)*, pages 71–80, Copenhagen, Denmark, April 2000.
- [MF96] B. MacIntyre and S. Feiner. Language-level support for exploratory programming of distributed virtual environments. In *Symposium on User Interface Software and Technology (UIST)*, pages 83–95, 1996.
- [MF01] Steve Mann and James Fung. Videorbits on eye tap devices for deliberately diminished reality or altering the visual perception of rigid planar patches of a real world scene. In *International Symposium on Mixed Reality*, pages 48–55, March 2001.
- [MGB+03] Blair MacIntyre, Maribeth Gandy, Jay Bolter, Steven Dow, and Brendan Hannnigan. Dart : The designer's augmented reality toolkit. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2003.
- [Min93] Mark R. Mine. Characterization of end-to end delays in head-mounted display system. Technical Report TR93-001, Department of Computer Science, University of North Carolina at Chapel Hill, 1993.
- [MJS98] V. Raghavan Molineros J. and R. Sharma. Areas : Augmented reality for evaluating assembly sequences. In *Internation Wearable Augmented Reality (IWAR)*, October 1998.
- [MK94] P. Milgram and F. Kishino. A taxonomy of mixed reality visual displays. In *IEICE Transactions on Information and Systems (Special Issue on Networked Reality)*, number E77-D(12) :1321-1329, December 1994.
- [MKBP02] D. Mogilev, K. Kiyokawa, M. Billinghamurst, and J. Pair. Ar pad : An interface for face-to-face ar collaboration. In *Computer Human Interaction (CHI)*, pages 654–655. ACM, 2002.
- [MOO02] Hiroto Matsuka, Akirao Onosawa, and Eiichi Osaya. Environment mapping for objects in the real world. In *International ARToolkit Workshop (ART), Poster*, October 2002.
- [MP02] Haller M. and Stampfl P. Asr - augmented sound reality. In *SIGGRAPH, Conference Abstracts and Applications*, 2002.
- [MSW+03] Asa MacWilliams, Christian Sandor, Martin Wagner, Martin Bauer, Gudrun Klinker, and Bernd Brügge. Herding sheep : Live system development for distributed augmented reality. In *Proceedings of ISMAR 2003*, 2003.
- [MSWJ03] Haller M., Drab S., Hartmann W., and Zauner J. A real-time shadow approach for an augmented reality application using shadow volumes. In *ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pages 56–65, Osaka, Japan, October 2003.
- [MT99] Erin McGarrity and Mihran Tuceryan. A method for calibrating see-through head-mounted displays for AR. In *International Workshop on Augmented Reality (IWAR)*, San Francisco, USA, 1999.
- [mT+01] Erin mcGarrity, Mihran Tuceryan, , Yackup Genc, Charles Owen, and Nassir Navab. Evaluation of calibration for optical see-through augmented reality systems. In *International Symposium on Augmented Reality (ISAR)*, 2001.
- [Mur01] Taisuke Murakami. Contact water. In *SIGGRAPH, Art Gallery*, 2001.
- [MW01] Wolfgang Broll Michael Wittkämper, Eckhard Meier. Illuminating the mixed reality stage : Applying complex lighting conditions ar. In *International Symposium on Augmented Reality (ISAR)*, New York, USA, October 2001.
- [MW03] Ravin Balakrishnan Michael Wu. Multi-finger and whole hand gestural interaction techniques for multi-user tabletop displays. In *ACM UIST*, 2003.

- [MWLM01] A.H Mason, M.A. Walji, E.J. Lee, and C.L. MacKenzie. Reaching movements to augmented and graphic objects in virtual environments. In *Computer-Human Interaction (CHI)*, pages 426–433. ACM, 2001.
- [Mye88] Brad A. Myers. A taxonomy of window manager user interfaces. *IEEE Computer Graphics and Applications*, pages 65–84, 1988.
- [MZDD93] P. Milgram, S. Zhai, and J. Grodski D. Drascic. Applications of augmented reality for human-robot communication. In *International Conference on Intelligent Robots and System (IROS)*, Yokohama, Japan, July 1993.
- [NC96] U. Neumann and Y. Cho. A self tracking augmented reality system. In *ymposium on Virtual Reality Software and Technology*, pages 109–115. ACM, July 1996.
- [NM98] U. Neumann and A. Majoros. Cognitive, performance, and systems issues for augmented reality applications in manufacturing and maintenance. In *Virtual Reality Annual International Symposium*, pages 4–11. IEEE, 1998.
- [NMF⁺98] Mark A. Nixon, Bruce C. McCallum, W. Richard Fright, , and N. Brent Price. The effects of metals and interfering fields on electromagnetic trackers. *Presence*, 7(2) :204–218, April 1998.
- [NSK01] Takahiro Nishi, Yoichi Sato, and Hideki Koike. Snaplink : Interactive object registration and recognition for augmented desk interface. In *IFIP Conference on Human-Computer Interaction (Interact)*, pages 240–24, July 2001.
- [NY99] Ulrich Neumann and Suya You. Natural feature tracking for augmented reality. *IEEE Transactions on Multimedia*, 1(1) :53–64, 1999.
- [OBF03] A. Olwalm, H. Benko, and S. Feiner. Senseshapes : Using statistical geometry for object selection in a multimodal augmented reality system. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2003.
- [OCMB95] Marc Olano, Jonathan D. Cohen, Mark R. Mine, and Gary Bishop. Combatting rendering latency. In *Symposium on Interactive 3D Graphics*, pages 19–24, 204, 1995.
- [oSROiAR03] The Effects of Shadow Representation of Virtual Objects in Augmented Reality. N. sugano and h. kato and k. tachi. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2003.
- [OSYT98] T. Ohshima, K. Satoh, H. Yamamoto, and H. Tamura. Ar2hockey : A case study of collaborative augmented reality. In *VRAIS*, pages 268–295. IEEE, 1998.
- [OT96] Takashi Oishi and Susumu Tachi. Methods to calibrate projection transformation parameters for see-through head-mounted displays. *Presence*, 5(1) :122–135, 1996.
- [OTX03] C. Owen, A. Tang, and F. Xiao. Imagetclar : A blended script and compiled code development system for augmented reality. In *International Workshop on Software Technology for Augmented Reality Systems (STARS)*, tokyo, Japan, October 2003.
- [PCF⁺02] Simon Prince, Adrian David Cheok, Farzam Farbiz, Todd Williamson, Nik Johnson, Mark Billingham, and Hirokazu Kato. 3d live : Real time captured content for mixed reality. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2002.
- [PGT99] W. Piekarski, B. Gunther, and B. Thomas. Integrating virtual and augmented realities in an outdoor application. In *International Workshop on Augmented Reality*, pages 45–54, San Francisco, USA, October 1999.
- [PHP⁺02] P. Grimm P., M. Haller, V. Paelke, S. Reinhold, C. Reimann, and J. Zauner. Amire - authoring mixed reality,. In *IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop*, Darmstadt, Germany, September 2002.
- [PIHP01] James Patten, Hiroshi Ishii, Jim Hines, and Gian Pangaro. Sensetable : a wireless object tracking platform for tangible user interfaces. In *CHI*, pages 253–260, 2001.
- [Pin01] Claudio Pinhanez. ugmented reality with projected interactive displays. In *International Symposium on Virtual and Augmented Architecture*, Dublin, Ireland, 2001.
- [PJ01] W. Pisman and F. W. Jansen. Distributed low-latency rendering for mobile ar. In *International Symposium on Augmented Reality (ISAR)*, pages 107–113. IEEE and ACM, October 2001.

- [PPM⁺03] M. Ponder, G. Papagiannakis, T. Molet, N. Magnenat-Thalmann, and D. Thalmann. Vhd++ development framework : Towards extendible, component based vr/ar simulation engine featuring advanced virtual character technologies, i. In *Computer Graphics International (CGI)*, 2003.
- [PRI02a] B. Piper, Ratti, and H. Ishii. Illuminating clay : A 3-d tangible interface for landscape analysis. In *Computer Human Interaction (CHI)*, Minneapolis, USA, April 2002.
- [PRI02b] B. Piper, C. Ratti, and H. Ishii. Illuminating clay : A tangible interface with potential grass applications. In *Open Source GIS - GRASS User's Conference*, Trento, Italy, September 2002.
- [PT03] W. Piekarski and B. H. Thomas. An object-oriented software architecture for 3d mixed reality applications. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2003.
- [PTB⁺02] Ivan Poupyrev, Desney S. Tan, Mark Billinghurst, Hirokazu Kato, Holger Regenbrecht, and Tetsutani. Developing a generic augmented-reality interface. *IEEE Computer*, 35(3) :44–50, 2002.
- [PW03] W. Pasman and C. Woodward. Implementation of an augmented reality system on a pda. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, Tokyo, Japan, October 2003.
- [RA00] J. Rekimoto and Y. Ayatsuka. Cybercode : Designing augmented reality environments with visual tags. In *Designing Augmented Reality Environments (DARE)*, 2000.
- [RBW01] H. Regenbrecht, G. Baratoff, and M. Wagner. A tangible ar desktop environment. *Elsevier Science Computer and Graphics, special issue on "Mixed Reality"*, 2001.
- [Rek] Jun Rekimoto. Pick-and-drop : a direct manipulation technique for multiple computer environments. In *Symposium on User Interface Software and Technology (UIST)*.
- [Rek96] J. Rekimoto. Transvision : A hand-held augmented reality system for collaborative design. In *Proceedings of Virtual Systems and Multimedia (VSMM) '96*, 1996.
- [Rek02] Jun Rekimoto. Smartskin : An infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces. In *Computer Human Interaction (CHI)*, 2002.
- [RFK⁺97] M. Rauterberg, M. Fjeld, H. Krueger, M. Bichsel, U. Leonhardt, and M. Meier. Build-it : a video-based interaction technique of a planning tool for construction and design. In *Work With Display Units (WWDU)*, pages 175–176, 1997.
- [RHF94] Janick P. Rolland, Richard Holloway, and Henry Fuchs. A comparison of optical and video see-through head-mounted displays. In *SPIE Telemanipulator and Telepresence Technologies*, volume 2351, Boston, USA, October 1994.
- [RLW01] Ramesh Raskar, Kok-Lim Low, and Greg Welch. Shader lamps : Animating real objects with image-based illumination. In *12th Eurographics Workshop on Rendering*, June 2001.
- [RMB03] Thomas Reicher, Asa MacWilliams, and Bernd Bruegge. Towards a system of patterns for augmented reality systems. In *International Workshop on Software Technology for Augmented Reality Systems (STARS 2003)*, 2003.
- [RMBK03] Thomas Reicher, Asa MacWilliams, Bernd Brügge, and Gudrun Klinker. Results of a study on software architectures for augmented reality systems. In *Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, Tokio, Japan, October 2003.
- [RN95] Jun Rekimoto and Katashi Nagao. The world through the computer : Computer augmented interaction with real world environments. In *Symposium on User Interface Software and Technology*, pages 29–36, 1995.
- [RP01] Nigay L Renevier P. Mobile collaborative augmented reality : the augmented stroll. In *EHCI*, pages 315–3, Toronto, Canada, May 2001.
- [RPF01] Miguel Ribo, Axel Pinz, and Anton L. Fuhrmann. A new Optical Tracking System for Virtual and Augmented Reality Applications. In *Proc. of IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, IMTC 2001*, volume 3, pages 1932–1936, Budapest, Hungary, May 2001.
- [RR92] Warren Robinett and Jannick P. Rolland. A computational model for the stereoscopic optics of a head-mounted display. *Presence*, 1(1), 1992.
- [RR99] Wei-Chao Chen Ramesh Raskar, Greg Welch. Table-top spatially-augmented reality : Bringing physical models to life with projected imagery. In *International Workshop on Augmented Reality*, page 64, October 1999.

- [RR01] John A Robinson and Charles Robertson. The livepaper system : augmenting paper on an enhanced tabletop. *Computer and Graphics. Elsevier Science.*, 25(5) :731–743, 2001.
- [RS96] M. Rauterberg and P. Steiger. Pattern recognition as a key technology for the next generation of user interfaces. In *International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*, volume 4, pages 2805–2810, 1996.
- [RS03] G. Reitmayr and D. Schmalstieg. Data management strategies for mobile augmented reality. In *International Workshop on Software Technology for Augmented Reality Systems (STARS 2003)*, Tokyo, Japan, October 2003.
- [RUO01] Jun Rekimoto, Brygg Ullmer, and Haruo Oba. Datatiles : a modular platform for mixed physical and graphical interactions. In *Computer Human Interaction (CHI)*, pages 269–276, 2001.
- [RW02] Holger T. Regenbrecht and Michael T. Wagner. Interaction in a collaborative augmented reality environment. In *CHI*, 2002.
- [RWC⁺98] Ramesh Raskar, Greg Welch, Matt Cutts, Adam Lake, Lev Stesin, and Henry Fuchs. The office of the future : a unified approach to image-based modeling and spatially immersive displays. In *Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 179–188, 1998.
- [RZW02] Ramesh Raskar, Remo Ziegler, and Thomas Willwacher. Cartoon dioramas in motion apparent motion effects on real objects with image-based illumination. In *International Symposium on Nonphotorealistic Animation and Rendering (NPAR 2002)*, June 2002.
- [Sat01] M. Satyanarayanan. Pervasive computing : Vision and challenges. *IEEE Personal Communications*, August 2001.
- [SB02] Gilles Simon and Marie-Odile Berger. Recalage temporel d’une structure plane par morceaux : application à la réalité augmentée temps réel. In *Congrès Francophone AFRIF-AFIA de Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle (RFIA)*, Angers, France, January 2002.
- [SBC⁺99] Valerie A. Summers, Kellogg S. Booth, Tom Calvert, Evan Graham, and Christine L. MacKenzie. Calibration for augmented reality experimental testbeds. In *Symposium on Interactive 3D Graphics*, pages 155–162, Atlanta, USA, April 1999.
- [SBD99] Jason Stewart, Benjamin B. Bederson, and Allison Druin. Single display groupware : A model for co-present collaboration. In *Computer Human Interaction (CHI)*, pages 286–293, 1999.
- [Sco03] S.D. Scott. Territory-based interaction techniques for tabletop collaboration. In *Symposium on User Interface Software and Technology (UIST), Doctorial Symposium*. ACM, November 2003.
- [SCP95] Richard Stoakley, Matthew J. Conway, and Randy Pausch. Virtual reality on a WIM : Interactive worlds in miniature. In *Proceedings CHI’95*, 1995.
- [SDB00] Colin Swindells, John Dill, and Kellogg S. Booth. System lag tests for augmented and virtual environments. In *UIST*, pages 161–170, 2000.
- [SFH00] D. Schmalstieg, A. Fuhrmann, and G. Hesina. Bridging multiple user interface dimensions with augmented reality. In *International Symposium on Augmented Reality (ISAR)*, Munich, Germany, October 2000.
- [SFH⁺02] Dieter Schmalstieg, Anton Fuhrmann, Gerd Hesina, Zsolt Szalavari, L. Miguel Encarnação, Michael Gervautz, and Werner Purgathofer. The studierstube augmented reality project. *Presence - Teleoperators and Virtual Environments*, 11(1) :33–54, February 2002.
- [SFSG96] D. Schmalstieg, A. Fuhrmann, Z. Szalavari, and M. Gervautz. An environment for collaboration in augmented reality. In *Collaborative Virtual Environments (CVE), Extended abstract*, Nottingham, United Kingdom, September 1996.
- [SG97] Zsolt Szalavári and Michael Gervautz. The personal interaction panel — A two-handed interface for augmented reality. *Computer Graphics Forum*, 16(3) :C335–C346, 1997.
- [SGM03] S.D. Scott, K.D. Grant, , and R.L. Mandryk. System guidelines for co-located, collaborative work on a tabletop display. In *European Conference Computer-Supported Cooperative Work (ECSCW)*, September 2003.
- [SH02] Brett Shelton and Nicholas Hedley. Using augmented reality for teaching earth-sun relationships to undergraduate geography students. In *International Augmented Reality Toolkit Workshop (ART)*, Darmstadt, Germany, 2002.

- [SL92] Chris Shaw and Jiandong Liang. An experiment to characterize head motion in VR and RR using MR. In *Western Computer Graphics Symposium*, pages 99–101, 1992.
- [SLH⁺96] Andrei State, Mark A. Livingston, Gentaro Hirota, William F. Garrett, Mary C. Whitton, Henry Fuchs, and Etta D. Pisano (MD). Technologies for augmented-reality systems : realizing ultrasound-guided needle biopsies. In *SIGGRAPH*, pages 439–446, New Orleans, USA, August 1996. ACM.
- [SMW⁺02] Christian Sandor, Asa MacWilliams, Martin Wagner, Martin Bauer, and Gudrun Klinker. Sheep : The shared environment entertainment pasture. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*. IEEE and ACM, 2002.
- [SNV02] Jochen Schmidt, Heinrich Niemann, and Sebastian Vogt. Dense disparity maps in real-time with an application to augmented reality. pages 225–230, Orlando, FL USA, December 3-4 2002. IEEE Computer Society.
- [SPVT01] Hannah Slay, Matthew Phillips, Rudi Vernik, and Bruce Thomas. Interaction modes for augmented reality visualization. In Peter Eades and Tim Pattison, editors, *Australian Symposium on Information Visualisation, (invis.au 2001)*, Sydney, Australia, 2001. ACS.
- [SRH02] Dieter Schmalstieg, Gerhard Reitmayr, and Gerd Hesina. Distributed applications for collaborative three-dimensional workspace. *Presence*, 12(1), 2002.
- [SSI99] Imari Sato, Yoichi Sato, and Katsushi Ikeuchi. Acquiring a radiance distribution to superimpose virtual objects onto a real scene. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 5(1) :1–12, 1999.
- [SSN01] J. Schmidt, I. Scholz, and H. Niemann. Placing Arbitrary Objects in a Real Scene Using a Color Cube for Pose Estimation. In B. Radig and S. Florczyk, editors, *Pattern Recognition, 23rd DAGM Symposium*, pages 421–428, Munich, Germany, September 12–14 2001. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. Lecture Notes in Computer Science 2191.
- [sta99] stauder. Augmented reality with automatic illumination control incorporating ellipsoidal models. *Transaction on Multi Media*, 1(2), June 1999.
- [STMTK01] Norbert Streitz, Peter Tandler, Christian Müller-Tomfelde, and Shin'ichi Konomi. Roomware : Towards the next generation of human-computer interaction based on an integrated design of real and virtual worlds. In J. Carroll, editor, *Human-Computer Interaction in the New Millennium*, pages 553–578. Addison-Wesley, 2001.
- [Sut65] Yvan E. Sutherland. The ultimate display. In *IFIPS Congress*, volume 2, pages 506–508, New York, USA, May 1965.
- [Sut68] Yvan E. Sutherland. A head-mounted three-dimensional display. In *AFIPS Conference*, volume 33, pages 757–764, 1968.
- [SY02] Thomas C. Schardt and Chunrong Yuan. A dynamic communication model for loosely coupled hybrid tracking systems. In *International Conference on Information Fusion*, Anapolis, USA, July 2002.
- [SZC⁺01] B. Spitzer, P. M. Zavracky, J. Crawford, P. Aquilino, and G. Hunter. Eyewear platforms for miniature displays. In *SID Symposium*, 2001.
- [Tan00] Peter Tandler. Architecture of beach : The software infrastructure for roomware environments. In *Workshop on Shared Environments to Support Face-to-Face Collaboration (CSCW)*, 2000.
- [TBG⁺99] Patrice Torguet, Olivier Balet, E. Gobbetti, J. Jessel, J. Duchon, and E. Bouvier. Cavalcade : A system for collaborative prototyping. In *International Scientific Workshop on Virtual Reality and Prototyping*, Laval, France, 1999.
- [TCD⁺00] Bruce Thomas, Ben Close, John Donoghue, John Squires, Phillip De Bondi, Michael Morris, and Wayne Piekarski. Arquake : An outdoor/indoor augmented reality first person application. In *ISWC*, pages 139–146, 2000.
- [TGW⁺95a] Mihran Tuceryan, Douglas S Greer, Ross T. Whitaker, David Breen, Eric Rose, Chris Crampton, and Klaus H. Ahlers. Calibration requirements and procedures for a monitor-based augmented reality system. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 1(3) :255–273, September 1995.

- [TGW⁺95b] Mihran Tuceryan, Douglas S Greer, Ross T. Whitaker, David Breen, Eric Rose, Chris Crampton, and Klaus H. Ahlers. Calibration requirements and procedures for augmented reality. Technical report, ECRC, User Interaction and Visualization Group, 1995.
- [TN00a] Mihran Tuceryan and Nassir Navab. Optical see-through hmd calibration : A novel stereo method validated with a video see-through system. In *International Symposium on Augmented Reality (ISAR)*, pages 165–174, Munich, Germany, October 2000.
- [TN00b] Mihran Tuceryan and Nassir Navab. Single point active alignment method (spaam) for optical see-through hmd calibration for ar. In *International Symposium on Augmented Reality (ISAR)*, pages 149–158, Munich, Germany, October 2000.
- [TOBM02] A. Tang, C. Owen, F. Biocca, and Mou. Experimental evaluation of augmented reality in object assembly task. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, Darmstadt, Germany., September 2002.
- [TP02] B. H. Thomas and W. Piekarski. Glove based user interaction techniques for augmented reality in an outdoor environment. *Virtual Reality : Research, Development, and Applications*, 6(3), 2002.
- [TPG99] H. Thomas, W. Piekarski, and B. Gunther. Using augmented reality to visualise architecture designs in an outdoor environment. *International Journal of Design Computing Special Issue on Design Computing on the Net (DCNet)*, 1999.
- [TZO03] Arthur Tang, Ji Zhou, and Charles Owen. Evaluation of calibration methods for optical see-through head-mounted displays. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2003)*, October 2003.
- [UI98] John Underkoffler and Hiroshi Ishii. Illuminating light : An optical design tool with a luminous-tangible interface. In *CHI*, pages 542–549, 1998.
- [UTS⁺02] Shinji Uchiyama, Kazuki Takemoto, Kiyohide Satoh, Hiroyuki Yamamoto, and Hideyuki Tamura. Mr platform : A basic body on which mixed reality applications are built. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2002.
- [VKL⁺02] S. Veigl, A. Kaltenbach, F. Ledermann, G. Reitmayr, and D. Schmalstieg. Two-handed direct interaction with artoolkit. In *International Workshop on ARToolKit*, 2002.
- [vLM03] Robert van Liere and Jurriaan D. Mulder. Optical tracking using projective invariant marker pattern properties. In *Virtual Reality*, Los Angeles, USA, March 2003. IEEE.
- [VPNF98] E. Viirre, H. Pryor, S. Nagata, and T. A. Furness. The virtual retinal display : A new technology for virtual reality and augmented vision in medicin. In *Medicine Meets Virtual Reality*, pages 252–257, 1998.
- [WA95] Matthias M. Wloka and Brian G. Anderson. Resolving occlusion in augmented reality. In *Symposium on Interactive 3D Graphics*, pages 5–12, 1995.
- [Wag03a] Daniel Wagner. First steps towards handheld augmented reality. In *ISWC*, 2003.
- [Wag03b] Daniel Wagner. Implementation of an augmented reality system on a pda. In *International International Workshop on Augmented Reality (ART)*, 2003.
- [WBV⁺01] Greg Welch, Gary Bishop, Leandra Vicci, Stephen Brumback, Kurtis Keller, and D’nardo Colucci. High-performance wide-area tracking -the hiball tracking system. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 2001.
- [WCB⁺95] Ross T. Whitaker, Chris Crampton, David E. Breen, Mihran Tuceryan, and Eric Rose. Object calibration for augmented reality. *Computer Graphics Forum*, 14(3) :15–28, 1995.
- [Wei91] Mark Weiser. The computer for the twenty-first century. *Scientific American*, 1991.
- [Wel91] Pierre Wellner. The digitaldesk calculator : tangible manipulation on a desk top display. In *Symposium on User interface software and technology*, pages 27–33. ACM Press, 1991.
- [Wel93] Pierre Wellner. Interacting with paper on the digitaldesk. *Communications of the ACM*, 36(7) :86–97, 1993.
- [WFM⁺96] A. Webster, Steve Feiner, Blair MacIntyre, W. Massie, and T. Krueger. Augmented reality in architectural construction, inspection and renovation. In *Congress on Computing in Civil Engineering*, pages 913–919, Anaheim, USA, June 1996. ASCE.

- [WJM⁺03] Hartmann W., Zauner J., Haller M., Luckeneder T., and Woess W. Shadow catcher : A vision based illumination condition sensor using artoolkit. In *IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop*, Tokyo, Japan, October 2003.
- [WO94] Jiann-Rong Wu and Ming Ouhyoung. Reducing the latency in head-mounted displays by a novel prediction method using. *Computer Graphics Forum*, 13(3), 1994.
- [YNA99] Suya You, Ulrich Neumann, and Ronald Azuma. Hybrid inertial and vision tracking for augmented reality registration. In *IEEE Virtual Reality (VR)*, pages 260–, 1999.
- [Zac97] G. Zachmann. Distortion correction of magnetic fields for position tracking. In *Computer Graphics International (CGI)*, Hasselt, Belgium, June 1997.
- [zAR02] Sriram Subramanian zmitry Aliakseyeu, Jean-Bernard Martens and Mathias Rauterberg. Interaction techniques for navigation through and manipulation of 2d and 3d data. In *Eurographics Workshop on Virtual Environments*, May 2002.