



La realitat mixta en la cartografia. Noves tecnologies per als mapes del futur

Volker Paelke

La principal funció dels mapes és comunicar informació espacial, si bé en poques dècades el món de la cartografia i la informació geogràfica ha evolucionat considerablement i s'ha passat de l'ús exclusiu de cartografia analògica a altres tipus de geoinformació. El contrast s'evidencia si es comparen el procés d'elaboració dels mapes en paper o analògics amb el dels mapes dinàmics que fan ús de la realitat mixta. Pel que fa a la cartografia analògica, durant el llarg procés de producció els cartògrafs desconeixen la intenció del seu usuari final, per la qual cosa produeixen els mapes amb tota la informació que pugui arribar a necessitar l'usuari. Per confeccionar un mapa analògic cal, en primer lloc, recollir i capturar la informació del territori, del món real i, a continuació, processar les dades resultants (dades en brut) —simplificant-les i unificant-les— per transformar-les en un model que contingui la informació espacial bàsica. A partir d'aquí, s'elabora el mapa com una representació gràfica estàtica. Una vegada acabat, l'usuari llegeix i interpreta el mapa en paper per extreure'n la informació rellevant i per aplicar-la al seu camp particular d'interès.

En un nivell de sofisticació més avançat, els mapes poden incorporar sistemes interactius i dinàmics, cosa que millora la comunicació, ja que introdueix el dinamisme en el procés cartogràfic. Aquesta mena de mapes dinàmics poden respondre en temps real a canvis en l'entorn i en les dades, així com a la interacció amb l'usuari (vegeu la figura 1). Així, es poden utilitzar altres modalitats de presentació a més del contingut visual estàtic bidimensional, com ara gràfics i animacions tridimensionals (punt 1 de la figura 1). Atès que el contingut es pot adaptar en temps real a les necessitats de l'usuari, es pot recórrer a presentacions visuals més elaborades i complexes, que s'interpreten més fàcilment i permeten millorar la percepció de la informació per part de l'usuari. En un segon nivell de sofisticació (punt 2), la interacció genera canvis en la presentació cartogràfica. Entre els exemples més coneguts destaquen la possibilitat de triar el contingut de la cartografia mostrant els temes, l'ajustament de l'escala i l'estil de la presentació. Altres interaccions més complexes poden modificar o ampliar el mateix model (punt 3), i van des dels simples marcadors de localització amb text o imatges (per exemple, les xinxetes sobre Google Maps) fins a complexos can-

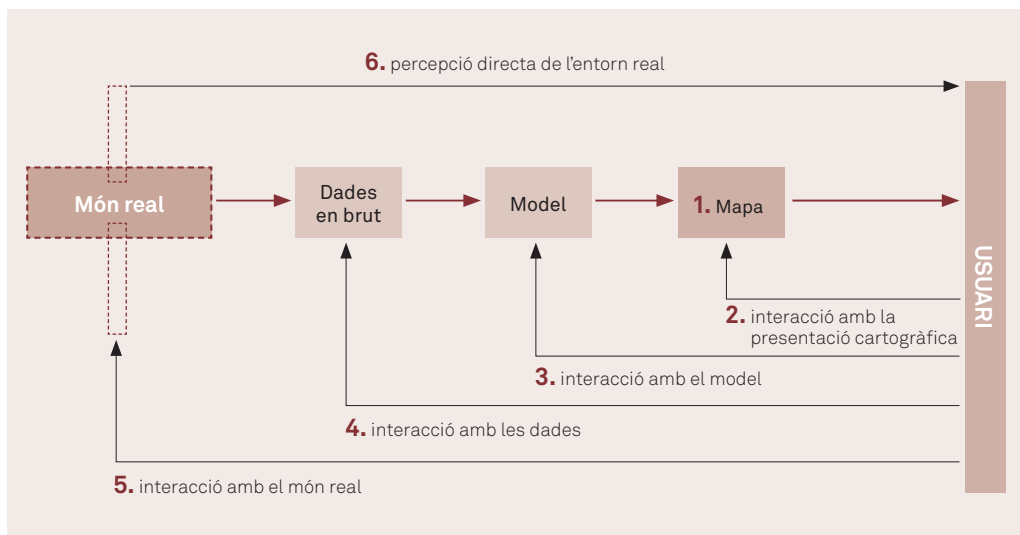


Figura 1. Model de confecció dels mapes dinàmics amb realitat mixta.

vis de dades en el model, per exemple per registrar canvis en l'entorn (com ara les funcions habituals dels sistemes d'informació geogràfica o SIG). Els canvis en temps real en l'adquisició de dades sense processar (punt 4), per exemple amb l'ajust dels sensors, impliquen un grau més alt de complexitat. El repte principal al qual s'han d'enfrontar els sistemes que aposten per aquest enfocament és que el processament de les dades per convertir-les en model ha de ser completament automàtic. En un nivell de sofisticació superior, l'usuari interactua directament amb l'entorn físic (punt 5) mitjançant un sistema a temps real, en el qual els canvis resultants afecten tota la seqüència de processament i de visualització. Un exemple d'aquest tipus d'enfocament són les interfícies d'usuari tangibles, en les quals el programari es controla mitjançant la manipulació d'objectes físics (Shaer i Hornecker, 2010). Finalment, la integració directa amb l'entorn (punt 6) implica que la presentació generada a partir del model queda integrada de manera cohesionada amb la percepció de l'entorn real. Són especialment prometedors els sistemes que combinen la realitat mixta i l'augmentada¹

¹ Nota dels editors: la realitat augmentada genera estímuls a temps real perquè l'usuari hi interactuï, els quals se superposen sobre l'entorn físic, mentre que la realitat mixta no tan sols permet que l'usuari

(Azuma *et al.*, 2001), en els quals objectes gràfics generats per ordinador s'integren en la visió de l'usuari, i així alleugereixen l'esforç perceptiu que representa el canvi de context entre l'ús d'un mapa i les funcions espacials en si. Si bé les possibilitats que donen els dos primers nivells descrits ja s'utilitzen de manera generalitzada en aplicacions com Google Earth, queden encara moltes qüestions inexplorades per trobar les millors vies per explotar aquestes possibilitats a fi de garantir una comunicació eficaç, com ara els camps de la simbolització i la generalització de l'ús de les tecnologies 3D. Contràriament, tot just es comencen a explorar els resultats que es poden obtenir amb la resta de nivells. Aquest capítol presenta els primers passos de la recerca en aquest camp.

Treballs relacionats amb la realitat mixta

En les últimes dècades, els coneixements pràctics assolits després de segles de treball en el camp de la cartografia s'han complementat per la investigació en els fonaments cognitius i perceptius de l'ús dels mapes (Montello, 2002). Alhora, l'ús creixent de la geoinformació per part d'un gran nombre d'usuaris que no són necessàriament experts en el maneig de geodades ha obligat a millorar la comunicació i la interacció en aquesta disciplina. El desenvolupament de mapes interactius, i especialment d'aplicacions cartogràfiques basades en Internet, sistemes de navegació personals i serveis basats en la localització, ha conduït a una àmplia recerca en la usabilitat de les aplicacions cartogràfiques, adreçada tant a aspectes de visualització com d'interacció. La necessitat d'una investigació sistemàtica quant al disseny i la usabilitat dels sistemes de geovisualització identificada per Slocum *et al.* (2001) és una àrea de recerca que porten a terme cartògrafs, tècnics en SIG, analistes o enginyers informàtics i experts en usabilitat.

La realitat mixta funciona integrant en entorns reals gràfics interactius generats per ordinador i altres recursos audiovisuals (Milgram i Kishino, 1994). En el passat, els avenços en la investigació s'alentien a causa de les limitacions de les tecnologies de base disponibles (per exemple, la

interactiu amb l'entorn virtual, sinó que també fa possible que objectes físics de l'entorn immediat de l'usuari serveixin d'elements d'interacció amb aquest entorn virtual.

manca de pantalles amb la resolució adequada per a la realitat mixta o de tècniques de posicionament espacial prou precises), la qual cosa va obligar a prioritzar la resolució d'aquests problemes (Azuma *et al.*, 2001). Amb l'avanç de les tecnologies de base, el desenvolupament de les aplicacions de realitat mixta ha adquirit un interès creixent, i els darrers anys s'ha assistit a l'aparició de les primeres aplicacions de realitat mixta per a telèfons mòbils intel·ligents destinades al gran públic. Tanmateix, des del punt de vista dels continguts, aquestes aplicacions són molt limitades: habitualment, només mostren etiquetes, en comptes d'aportar continguts més elaborats o d'oferir la possibilitat d'interactuar amb la informació.

La recerca en el camp de la realitat mixta ha generat una àmplia varietat de tecnologies de base amb nivells diversos de sofisticació. Habitualment, aquestes tecnologies es poden obtenir per mitjà de biblioteques de programari i proporcionen un nivell de funcionalitat baix, com ara el posicionament espacial precís obtingut amb la combinació de dades de GPS amb el seguiment òptic (Zhou *et al.*, 2009; Qualcomm, 2011). Altres components més complexos són compatibles fins a cert punt amb eines específiques de realitat mixta, com ara Studierstube (Schmalstieg *et al.*, 2002). Pel que fa al disseny, aquests components encara estan molt centrats en la tecnologia i també aporten un nivell de funcionalitat baix. Quant a les tècniques de visualització, durant la recerca s'han comparat diferents tipus de visualització i el seu impacte en l'usuari, en funcions com ara la visualització virtual d'objectes que la geometria del món real oculta (Furmanski, Azuma i Daily, 2002; Dey, Cunningham i Sandor, 2010). Similarmet, s'ha començat a examinar diferents maneres d'utilitzar una interacció més complexa en aplicacions de realitat mixta (Billinghurst, Kato i Myojin, 2009).

L'ús específic de la realitat mixta en el camp de la geoinformació i la cartografia ha estat objecte d'estudi de múltiples investigadors, amb aplicacions concretes com ara les de planejament urbà basades en cartografia (per exemple, Ishii *et al.*, 2002) i les de realitat mixta relacionades amb l'arqueologia i el patrimoni cultural (Benko, Ishak i Feiner, 2004). Els últims anys ha sorgit un interès creixent per les possibilitats que ofereixen la interacció i la informació digital en el camp de la cartografia (Schall, Schöning, Paelke i Gartner, 2009). En aquest sentit, s'han desenvolupat

sistemes per augmentar les possibilitats dels mapes analògics amb informació addicional, com ara el de Reitmayr, Eade i Drummond (2005), en el qual un projector permet sobreposar informació addicional sobre un mapa en paper, i l'aplicació Augmented Paper Map, que consisteix en una petita pantalla mòbil que complementa la informació del mapa en paper (Paelke i Sester, 2010). Altres exemples d'aplicacions que combinen les tecnologies de realitat mixta amb el contingut geoespacial són els sistemes de Daiber, Schönig i Krüger (2009); les aplicacions de realitat mixta destinades al lleure i utilitzades en entorns reals (per exemple, Cheok, Sreekumar, Lei i Thang, 2006), o l'ús de la realitat mixta per proporcionar informació espacial en les àrees de l'arqueologia i el patrimoni cultural (Paelke, Filin, Eggert i Barnea, 2010).

Si bé la investigació relativa a la realitat mixta s'està duent a terme en molts camps diferents, aquesta tecnologia està estretament relacionada amb els avenços que ja s'han assolit en els àmbits de la geoinformàtica i



Imatge 1. Els últims anys s'han desenvolupat nombroses aplicacions de realitat augmentada relacionades amb l'arqueologia i el patrimoni cultural. En la imatge, una aplicació de realitat augmentada del Museu d'Història Natural de Londres incorpora animals extingits a la vista de l'entorn real del visitant.

la cartografia, atès que els sistemes de realitat mixta treballen amb grans volums de dades intrínsecament espacials. Així, el desenvolupament de sistemes de realitat mixta escalables —és a dir, aquells que es poden modificar, sense perdre qualitat, per adaptar-se a les necessitats canviants dels usuaris— es basa en gran part en infraestructures, algorismes i funcions propis dels sistemes d'informació geogràfica, com ara l'adquisició eficient d'informació espacial de l'entorn, la gestió i l'extracció eficient de dades espacials o la visualització d'informació espacial. En conseqüència, per tal de treure el màxim profit de les interfícies de realitat mixta, és fonamental investigar en el desenvolupament d'aquest tipus de sistemes des de la perspectiva de la geoinformàtica i la cartografia.

Estructura dels sistemes de realitat mixta

L'estructura bàsica d'un sistema de realitat mixta consisteix en una sèrie de components de programari i maquinari. Depenent del tipus d'aplicació, el posicionament i la renderització poden requerir un model de l'entorn, aconseguit a partir d'uns sensors que determinen la posició i l'orientació de la vista que l'usuari té en cada moment, és a dir, la posa, com a base per afegir informació. En certes aplicacions, també poden caldre altres sensors addicionals que proporcionin més informació sobre l'entorn, com ara la posició i l'estat d'objectes propers rellevants o sensors per a la interacció.

Generalment, cal aplegar la informació provinent de diferents sensors per tal d'obtenir unes dades fiables de posició i orientació de l'usuari, ja que cada sensor per separat no pot proporcionar dades amb la freqüència, l'exactitud i la fiabilitat adients. Per exemple, el GPS és un sensor d'ús habitual que s'aplica arreu del món, però que només proporciona informació relativa a la posició, i no a l'orientació, i amb una precisió limitada i una velocitat d'actualització massa baixa per a aplicacions de realitat mixta. D'altra banda, els sistemes de visió artificial es basen en el processament d'imatges fotogràfiques per tal de reconèixer objectes, a partir dels quals es determinen la posició i l'orientació de l'usuari. Aquest tipus de sistemes es caracteritzen per una gran precisió i una velocitat d'actualització alta, però requereixen un model de l'entorn que no sempre és a l'abast. Així doncs,

la integració de la informació relativa a la posició i l'orientació procedent de diferents sensors mitjançant algorismes de fusió de sensors és un component fonamental en els sistemes de realitat mixta, i és un dels camps en què s'està investigant.

A més de la determinació de la posa, les aplicacions de realitat mixta han de gestionar un model d'augmentació espacial. Hi ha diverses biblioteques i paquets d'eines disponibles per desenvolupar programari de realitat mixta, si bé se solen centrar bàsicament en els aspectes tècnics. Fins al moment, no s'ha establert cap mètode estàndard per crear i compartir contingut de realitat mixta. En el cas d'aplicacions d'escala més gran, en primer lloc es necessita una base de dades geogràfiques dotada amb informació augmentada que contingui les dades espacials necessàries per proporcionar la informació addicional adient a allò que està veient l'usuari. Posteriorment, aquesta informació augmentada passa a un sistema de renderització per convertir-se en una representació que es pugui integrar a la vista de l'entorn real que té l'usuari en aquell moment precís. Finalment, la imatge renderitzada es transmet a una pantalla que combina la informació augmentada amb la de l'entorn real.

Per integrar la informació augmentada en la vista de l'usuari hi ha diferents tecnologies. Una primera opció és el sistema de pantalla òptica transparent, basat en un dispositiu de visualització especial que sol estar col·locat sobre el cap de l'usuari i que és conegut amb el terme anglès *head-mounted display* o HMD. Aquest dispositiu genera una combinació òptica sobreposant els gràfics a allò que veu l'usuari en el món real, per exemple per mitjà de pantalles semitransparents o miralls. L'alternativa a l'HMD és el sistema de mescla d'imatges, que utilitza una càmera de vídeo per capturar la vista actual de l'entorn i hi sobreposa gràfics, de manera que el resultat final es pugui visualitzar en una pantalla convencional. Totes dues opcions tenen avantatges i desavantatges, però a causa de la popularitat dels telèfons mòbils intel·ligents i les tauletes (que ja tenen incorporada la càmera necessària en el revers de l'aparell) i de l'elevat cost dels dispositius òptics transparents especialitzats, totes les aplicacions de realitat mixta destinades al consum massiu utilitzen avui dia el sistema de mescla d'imatges.



Imatge 2. Cultural Heritage without Borders i Tecnalia estan duent a terme un projecte que utilitza la realitat augmentada per mostrar i revaloritzar el patrimoni desaparegut arran del conflicte dels Balcans (1991-2001). En la imatge, una aplicació per a tauletes superposa una imatge d'un antic molí al costat del riu Predolje (Bòsnia i Hercegovina) sobre la vista actual.

Funcions de la interacció espacial

L'estudi profund del comportament dels usuaris ha permès identificar les funcions fonamentals d'aplicacions cartogràfiques i geodèsiques compatibles amb interfícies de realitat mixta (a banda de les funcions d'interacció convencionals): la identificació d'objectes o zones en l'entorn; l'obtenció d'informació específica de posició, per exemple, mitjançant la senyalització d'objectes; la localització d'objectes; l'orientació, útil per trobar ubicacions o objectes en l'entorn; la selecció d'objectes o zones en l'entorn; el posicionament i l'orientació espacials, que permeten la manipulació d'objectes en l'espai, o la recollida de dades relatives a la localització en l'espai.

Aplicacions de la realitat mixta

L'aplicació més bàsica de la realitat mixta és l'augmentació de l'entorn real amb informació addicional mitjançant etiquetes i dades relacionades amb elements propers, com ara aplicacions que identifiquen edificis, que aporten informació turística o que indiquen els noms de les muntanyes. Aquesta mena d'aplicacions, que utilitzen paquets d'eines com ara Wikitude, Layar o Junaio, s'han popularitzat en plataformes mòbils com tauletes i telèfons mòbils intel·ligents. Les aplicacions d'etiquetatge han permès que s'incrementi el nombre d'usuaris que s'endinsen en el món de la realitat mixta. La precisió limitada dels sensors dels telèfons mòbils intel·ligents actuals sol ser suficient per a aplicacions d'etiquetatge senzilles, ja que permeten associar de manera correcta la informació relativa a una casa o una muntanya encara que s'hagi etiquetat en una posició lleugerament desplaçada. Tanmateix, les visualitzacions més elaborades, com ara la reconstrucció virtual, en la qual objectes 3D han de reproduir a la perfecció objectes de la realitat, requereixen un posicionament i una orientació més precisos. És a dir, com més complexa és l'aplicació, més precisió es requereix.

Planejament urbanístic

Una de les utilitats més destacades que ofereixen les aplicacions de realitat mixta és la visualització d'informació espacial que no apareix en la vista de l'usuari, com ara dades històriques (per exemple, construccions o objectes ja desapareguts) o projectes futurs de planificació (per exemple, maquetes d'edificis). Així doncs, la realitat mixta pot aportar grans beneficis en camps com el planejament urbanístic.

L'arquitectura, l'urbanisme i el paisatgisme sempre han estat objecte d'una gran atenció per part de la ciutadania, les entitats i associacions i la classe política, a més d'especialistes com arquitectes i urbanistes. És per això que sovint es duen a terme processos de participació pública relacionats amb aquests temes. Tanmateix, l'experiència ha demostrat que els recursos comunicatius habituals en aquests processos, com ara plànols, renderitzacions en tres dimensions o maquetes a escala, difícilment transmeten una impressió realista del projecte planificat. Aquí entra en escena



Figura 2. Exemples de l'ús de GeoScope en una aplicació pilot de realitat mixta en l'àmbit de la planificació urbana duta a terme a la ciutat alemanya de Hannover entre el 2009 i el 2011, en què es demanava als ciutadans la seva opinió sobre projectes futurs de planificació.

la realitat mixta, que té un gran potencial com a eina eficaç de comunicació per resoldre aquest problema, especialment quan es tracta de grups d'interessats no experts en la matèria. En el planejament urbanístic es poden utilitzar dispositius de mescla d'imatges en els quals les imatges de l'entorn real proporcionades per una càmera en temps real s'amplien amb informació addicional. Aquest procediment permet integrar en l'espai els edificis projectats —amb maquetes tridimensionals, per exemple— per tal de poder avaluar les diferents propostes de manera intuïtiva i realista.

A Hannover (Alemanya), entre els anys 2009 i 2011 es va dur a terme una aplicació pilot de realitat mixta en l'àmbit de la planificació urbana mitjançant el dispositiu GeoScope, que proporciona dades de posició i orientació més precises que les dels telèfons intel·ligents i les tauletes (vegeu la figura 2). Es va generar informació augmentada per a una zona concreta de la ciutat amb possibles escenaris futurs de planificació, així com amb imatges històriques. A partir de fonts històriques es van crear maquetes tridimensionals de l'aspecte que tenia la ciutat en el passat, mentre que les maquetes tridimensionals de projectes futurs es van obtenir a partir de maquetes generades per ordinador. L'aplicació es va mostrar en pantalles en l'espai públic, i els vianants, que van qualificar les possibilitats d'interacció de fàcils i intuïtives, van mostrar un gran interès a utilitzar un sistema similar en altres processos de participació ciutadana.

Visualització subsuperficial

Una altra de les possibilitats que ofereixen les aplicacions de realitat mixta és la visualització d'informació que queda amagada per altres objectes. Aquesta funció permet visualitzar i controlar infraestructures ubicades en entorns urbans que no són visibles a simple vista, per exemple instal·lacions subterrànies com ara línies elèctriques o canalitzacions d'aigua. En el futur es podrien fer avenços que permetessin controlar xarxes de sensors distribuïts per la ciutat o altres infraestructures no visibles, i solucionar-ne incidències. Per als primers experiments en aquest camp es va utilitzar GeoScope com a dispositiu de realitat mixta, combinant-lo amb eines de posicionament convencionals i altres eines proveïdes d'escaneig amb làser. Aquests experiments es van centrar en el desenvolupament de tècniques de visualització que proporcionessin una profunditat intuïtiva i indicacions d'orientació per a les instal·lacions no visibles.

La llegibilitat, la facilitat d'interpretació de l'espai i el realisme visual varien en funció de l'estil de visualització de realitat mixta aplicat (vegeu la figura 3), i actualment s'està investigant en el desenvolupament de nous tipus de visualització en què aquestes qualitats quedin compensades d'una manera adient a cada aplicació.



Figura 3. Comparació entre diverses visualitzacions d'infraestructures subterrànies mitjançant l'ús de diferents sistemes de realitat mixta.

Cartografia

Les aplicacions de la realitat mixta no solament poden aportar una augmentació de l'entorn, sinó també dels objectes propers. En els projectes de cartografia analògica augmentada, la realitat mixta permet ampliar els mapes en paper convencionals amb informació en temps real i amb la pos-

sibilitat d'interactuar-hi (vegeu la imatge 3). Tant els mapes en paper com els dispositius electrònics tenen punts forts i punts febles, però es complementen entre si. En moltes aplicacions, com ara en la navegació amb embarcacions petites, prescindir completament dels mapes en paper no seria útil ni convenient, ja que els mapes convencionals no fallen, són relativament barats i ofereixen una resolució més alta i una visió de conjunt a una escala superior. D'altra banda, els dispositius mòbils proporcionen utilitats com ara el posicionament i el traçat de les rutes, l'actualització de la informació en temps real i l'adaptació dinàmica a les necessitats de l'usuari. La cartografia analògica augmentada pot oferir funcions addicionals mitjançant un dispositiu mòbil que garanteixi una integració notable de dispositiu i mapa, combinant-ne els punts forts.



Imatge 3. Un dels primers prototips de mapes amb realitat mixta, que permeten planificar rutes de manera interactiva sobre mapes en paper i, també, superposar-hi informació dinàmica.

A tall de conclusió

Les tecnologies emergents com els dispositius mòbils i els nous tipus de pantalles i de sensors ofereixen un gran potencial per millorar la comunicació i la interacció dels usuaris amb l'entorn mitjançant la geoinformació. A més, la realitat mixta és una via encara no prou explorada per integrar moltes d'aquestes tecnologies en aplicacions relacionades i garantir-ne la utilització en situacions dominades actualment pels mapes. En efecte, l'ús de la realitat mixta com a paradigma d'interfície d'usuari que integri a la perfecció la informació espacial en l'entorn real amb l'experiència i les aplicacions cartogràfiques pot ser de gran utilitat per crear mapes de realitat mixta. Aquest tipus de cartografia pot fer que la geoinformació sigui més accessible a un nombre gran d'usuaris no necessàriament experts en el maneig de geoinformació, i també pot millorar la manera com els especialistes interactuen amb la informació espacial. A més, ajuda a salvar la distància entre l'entorn real i les representacions cartogràfiques abstractes adaptant-se a les necessitats dels usuaris. Tot i això, malgrat els avenços tecnològics recents, la investigació en aquest camp encara es troba a les beceroles, i se centra sobretot en les tecnologies de realitat mixta. Cal, en primer lloc, desenvolupar, codificar i difondre els coneixements que permetin incorporar els principis de disseny cartogràfic als mapes de realitat mixta i, en segon lloc, facilitar aquesta tecnologia als generadors de continguts espacials mitjançant el desenvolupament d'eines de creació personalitzada adequades i fàcils d'utilitzar.

Referències bibliogràfiques

AZUMA, Ronald [et al.] (2001). "Recent advances in augmented reality", *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 21, núm. 6, p. 34-47.

BENKO, Hrvoje; ISHAK, Edward W.; FEINER, Steven (2004). "Collaborative mixed reality visualization of an archaeological excavation", dins *Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '04)*. Washington: IEEE Computer Society, p. 132-140.

BILLINGHURST, Mark; KATO, Hirokazu; MYOJIN, Seiko (2009). "Advanced interaction techniques for augmented reality applications", dins *Proceedings of the 3rd International Conference on Virtual and Mixed Reality: Held as Part of HCI International 2009 (VMR '09)*. Berlín: Springer, p. 13-22.

CHEOK, Adrian David; SREEKUMAR, Anuroop; LEI, Cao; THANG, Le Nam (2006). "Capture the flag: Mixed-reality social gaming with smart phones", *IEEE Pervasive Computing*, vol. 5, núm. 2, p. 62-69.

- DAIBER, Florian; SCHÖNING, Johannes; KRÜGER, Antonio (2009). "Whole body interaction with geospatial data", dins *Proceedings of the 10th International Symposium on Smart Graphics*. Berlín: Springer, p. 81-92.
- DEY, Arindam; CUNNINGHAM, Andrew; SANDOR, Christian (2010). "Evaluating depth perception of photorealistic mixed reality visualizations for occluded objects in outdoor environments", dins *Proceedings of the 17th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST '10)*. Nova York: ACM, p. 211-218.
- FURMANSKI, Chris; AZUMA, Ronald; DAILY, Mike (2002). "Augmented-reality visualizations guided by cognition: perceptual heuristics for combining visible and obscured information", dins *Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '02)*. Washington: IEEE Computer Society, p. 215-224.
- ISHII, Hiroshi [et al.] (2002). "Augmented urban planning workbench: overlaying drawings, physical models and digital simulation", dins *Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '02)*. Washington: IEEE Computer Society, p. 203-211.
- MILGRAM, Paul; KISHINO, Fumio (1994). "A taxonomy of mixed reality visual displays", *IEICE Transactions on Information Systems*, vol. E77-D, núm. 12, p. 1321-1329.
- MONTELLO, Daniel R. (2002). "Cognitive map-design research in the twentieth century: theoretical and empirical approaches", *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 29, núm. 3, p. 283-304.
- PAELKE, Volker; FILIN, S.; EGGERT, D.; BARNEA, S. (2010). "Adaptive LIDAR scanning of historic buildings supported by augmented reality user interfaces", dins M. Ioannides; D. Fellner; A. Georgopoulos i D. Hadjimitsis (ed.). *EuroMed2010 - Digital heritage. 3rd International conference dedicated on digital heritage*. Budapest: Archaeolingua. Disponible a: <http://diglib.eg.org/EG/DL/PE/EuroMed/EuroMed2010/EuroMed2010_sp_low.pdf> [consulta: 19.11.2012].
- PAELKE, Volker; SESTER, Monika (2010). "Augmented paper maps: Exploring the design space of a mixed reality system", *International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 65, núm. 3, p. 256-265.
- QUALCOMM (2011). *Augmented reality (Vuforia)* [en línia]. <<http://developer.qualcomm.com/ar/>> [consulta: 19.11.2012].
- REITMAYR, Gerhard; EADE, Ethan; DRUMMOND, Tom (2005). "Localisation and Interaction for Augmented Maps", dins *Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '05)*. Washington: IEEE Computer Society, p. 120-129.
- SCHALL, Gerhard; SCHÖNING, Johannes; PAELKE, Volker; GARTNER, Georg (2009). "Augmented maps & environments: approaches, applications & interactions", dins Sognian Li, Suzana Dragicevic i Bert Veenendaal (ed.). *Advances in Web-based GIS, Mapping Services and Applications*. Londres: CRC Press; Taylor and Francis, p. 207-227.
- SCHMALSTIEG, Dieter [et al.] (2002). "The studierstube augmented reality project", *Presence: Teleoperators Virtual Environments*, vol. 11, núm. 1, p. 33-54.
- SHAER, Orit; HORNECKER, Eva (2010). "Tangible user interfaces: past, present, and future directions", *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, vol. 3, núm. 1-2, p. 1-137.
- SLOCUM, Terry A. [et al.] (2001). "Cognitive and usability issues in geovisualization", *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 28, núm. 1, p. 61-75.
- ZHOU, Zhiying [et al.] (2009). "Robust pose estimation for outdoor mixed reality with sensor fusion", dins UAHCI'09 *Proceedings of the 5th International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction. Part III: Applications and Services*. Berlín: Springer, p. 281-289.