

# On the Design of a Mixed-Reality Annotations Tool for the Inspection of Pre-fab Buildings

I. García-Pereira<sup>1</sup>, J. Gimeno<sup>1</sup>, C. Portalés<sup>2</sup>, M. Vidal-González<sup>2</sup> and P. Morillo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Computer Science, Universitat de València, Spain

<sup>2</sup> Institute of Robotics and Information and Communication Technologies (IRTIC), Universitat de València, Spain

## Abstract

*The introduction of Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) in the inspection works carried out during the construction of prefabricated buildings can allow the early detection and elimination of deviations in their quality and energy efficiency. These new tools let us change from the traditional note taking on paper to the use of an AR application that allows to make rich annotations. The later on-site or in-office revision of the information taken as well as the remote communication while the inspection is going on can speed up and optimize the detection of errors and the maintenance of quality through the use of AR and VR. In this paper, the work in progress that is being carried out within the SIRAE project is shown. With it, we intend to implement the use of AR annotations for their visualization and modification in real time or later either in situ (AR) or from any other location (VR). The obtained first lab results are quite promising, since the usability of the system, still in development, augurs an easy adaptation of the workers to the new work tool and a substantial streamlining of the inspection processes.*

## CCS Concepts

- **Human-centered computing** → Mixed / augmented reality;
- **Human-centered computing** → Virtual reality
- **Human-centered computing** → Collaborative interaction

## 1. Introducción

La inspección de edificios prefabricados y de sus diferentes módulos es fundamental para garantizar el rendimiento energético previsto. Realizar estas revisiones en diferentes etapas del proceso de construcción permite evitar grandes desviaciones al final del mismo. Tradicionalmente, el inspector realiza su trabajo tomando notas en papel y fotografías. Esto puede ralentizar el posterior proceso de revisión, pues hay que digitalizar la información tomada. Además, puede llevar a imprecisiones, ya que no existe una vinculación directa entre texto e imágenes. Nuevas tecnologías como la Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Virtual (RV) pueden evitar estos problemas.

La RA permite mezclar información virtual con elementos del mundo real [Azu97]. Una forma de hacer esto es captar la imagen del mundo real con una cámara y mostrarla al usuario a través de una pantalla. En otros desarrollos, el usuario ve el mundo real de forma directa, por ejemplo a través de pantallas transparentes o gafas de RA. Sobre estas imágenes del mundo real, se superpone la información virtual generada computacionalmente. Por su parte, la RV sumerge al usuario dentro de un entorno sintético independiente del mundo real que tiene a su alrededor [Azu97]. Esto permite al usuario situarse en localizaciones remotas sin necesidad de desplazarse. El grado de inmersión percibido dependerá, entre otras cosas, de la tecnología que se utilice (ordenador, dispositivo móvil, gafas de RA o de RV, etc.).

Si se hace un uso simultáneo de ambas tecnologías, se pueden desarrollar sistemas de colaboración remota que permitan la interacción de los usuarios en un mismo espacio aún cuando se encuentran en localizaciones reales diferentes. Por un lado, el

usuario que está en el espacio real puede utilizar la RA para crear, manipular y compartir información virtual vinculada al mundo real. Por otro lado, el usuario que se encuentra en una localización remota puede ubicarse en el mismo emplazamiento que el otro usuario mediante RV. De esta forma, ambos usuarios compartirán el espacio, podrán ver cada elemento del entorno desde diferentes puntos de vista y podrán trabajar con la misma información virtual desde diferentes tipos de dispositivos. En la literatura académica, existen numerosos trabajos sobre entornos colaborativos, pero muy pocos presentan una situación tan versátil como la descrita arriba, pues bien se limitan a un único tipo de dispositivo [SJF\*13], bien obligan a los usuarios a tener el mismo punto de vista [ICDG\*16] o bien a estar situados en el mismo espacio real [GSFR17]. Entre los que sí permiten una situación bastante heterogénea destaca [PDE\*17], un sistema donde dos usuarios remotos con gafas de RA y RV pueden colaborar. En el trabajo que aquí presentamos, se permite a los usuarios ubicarse en localizaciones diferentes, con diferentes dispositivos (grados de inmersión) y adoptar diferentes puntos de vista.

Un elemento importante de interacción en las aplicaciones de RA son las anotaciones. Una anotación de RA puede definirse como información virtual que describe de alguna forma un objeto real y que está vinculada a él [WDH09]. A través de anotaciones virtuales ancladas geográficamente al mundo real se consigue comunicar información sobre los elementos de ese entorno. Por tanto, las anotaciones son un elemento fundamental en los sistemas colaborativos descritos anteriormente. La forma de implementar e integrar estos recursos virtuales en los desarrollos depende de múltiples factores, como pueden ser: la información que contienen (texto, fotografías, modelos 3D, trazos...), la for-

ma en que se vinculan al objeto real, el modo en que se realizan (sobre una pantalla, con las manos en el aire...), etc. La realización de anotaciones mediante el dibujado de trazos 2D es un tema candente en esta área de investigación. Saber qué elemento de la realidad es el que el usuario quiere remarcar [GNTH14, NLHT16] o visualizar estas anotaciones de forma correcta al cambiar de punto de vista [NLG\*16] no es trivial.

La integración de este tipo de tecnología en las inspecciones de edificios energéticamente eficientes podría agilizar y enriquecer el trabajo de los operarios. En este sentido, el proyecto SIRAE (Sistema de Realidad Aumentada para la Auto-Inspección de Edificios Energéticamente Eficientes) tiene como objetivo la detección y eliminación de las desviaciones de calidad y de rendimiento energético existentes entre los valores previstos en fase de diseño y los valores reales en fase de operación de edificios concebidos para ser de alta eficiencia energética [SIRAE]. Como se expone en [PCG\*18], una parte de este proyecto consiste en trasladar los programas de puntos de inspección (formularios que actualmente se cumplimentan en papel) a una aplicación para dispositivos móviles. Con ello se pretende agilizar estas tareas rutinarias sin alterar los procedimientos que los operarios llevan a cabo, pues existe una serie de regulaciones que hay que cumplir. Por tanto, se les proporciona una nueva herramienta para realizar de forma más eficiente el mismo trabajo que vienen desarrollando hasta ahora. Además, SIRAE enriquece estos procedimientos ofreciendo la posibilidad de documentarlos mediante la toma de fotografías (normales o con infrarrojos) y el escaneo de objetos reales para guardar su modelo 3D.

Por otro lado, a la hora de inspeccionar los módulos completos, SIRAE ofrece otra utilidad: hacer uso de la RA para superponer el modelo 3D del módulo diseñado inicialmente sobre el resultado final. Con ello, los inspectores pueden ver de una forma clara las desviaciones entre el diseño y el edificio real. Durante esta fase de inspección del módulo completo mediante el uso de RA, los operarios podrán incorporar anotaciones sobre el modelo 3D en diferentes formatos (texto, fotografía, trazos, mediciones, etc.). Además, estas anotaciones podrán ser revisadas posteriormente sobre el mismo módulo para verificarlas o modificarlas. Desde oficina, también se podrán visualizar las anotaciones mediante RV, ya sea en tiempo real mientras un operario las toma o posteriormente una vez haya finalizado la inspección.

En este artículo se presenta el módulo del proyecto SIRAE que permitirá a los inspectores de edificios prefabricados realizar anotaciones en RA. Aunque aún no se ha finalizado su desarrollo, ya se ha implementado una versión beta y se están realizando las primeras pruebas en laboratorio.

## 2. Descripción del sistema

El sistema de anotaciones que se está desarrollando dentro del proyecto SIRAE permitirá vincular información virtual a elementos del mundo real durante la inspección de edificios prefabricados. Para ello, los inspectores deberán situarse físicamente en el módulo a revisar. Una vez allí, utilizarán una aplicación de RA en un dispositivo móvil para superponer el modelo 3D del módulo diseñado inicialmente sobre el mundo real. Puesto que el mundo virtual envuelve al usuario, para poder generar una visualización de RA, hemos habilitado el nivel de transparencia de los modelos; este nivel se puede ajustar en cualquier momento para comparar los elementos reales con sus homólogos virtuales y detectar así las posibles desviaciones geométricas. Se pueden realizar 4 tipos de anotaciones: texto, fotografías, trazos y mediciones. Todas ellas quedan vinculadas a un punto del modelo

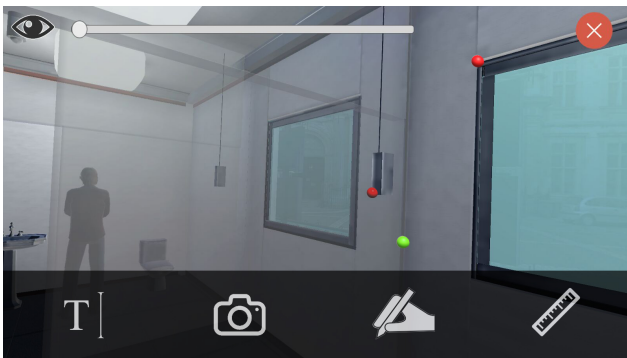
3D. Las anotaciones podrán ser revisadas posteriormente en oficina con la misma aplicación. En este caso, ya no se hace uso de RA sino de RV. Además, las anotaciones pueden ser modificadas en las posteriores inspecciones que se hagan del módulo. Para ello, el sistema guarda un histórico de cada anotación y vincula cada cambio al operario que lo realizó. Las inspecciones podrán realizarse en colaboración con el personal que esté en oficina, de forma que ambos visualicen simultáneamente el mismo entorno. El operario que esté en oficina lo hará con RV, ya sea en un ordenador, un dispositivo móvil o unas gafas de RV, y el que esté en el módulo prefabricado usará RA en un dispositivo móvil. De esta forma, ambos podrán situarse simultáneamente en el mismo entorno para visualizar los mismos componentes y discutir sobre los posibles errores detectados, realizando las anotaciones pertinentes.

### 2.1 Anotaciones

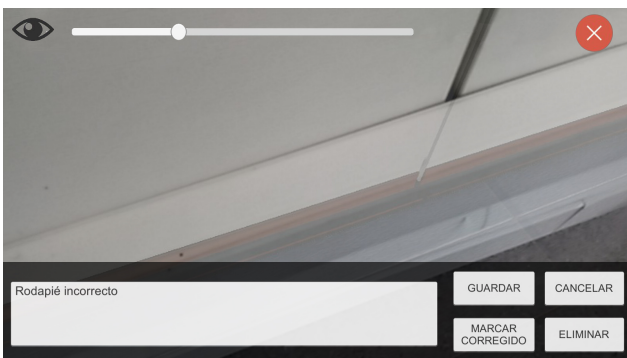
Una vez una anotación ha sido creada y guardada por un usuario, éste puede modificarla o eliminarla. Además, otros usuarios pueden visualizarla y añadirle nueva información. Generalmente, una anotación será tomada para indicar un error detectado en el módulo que se está revisando. Cuando el error sea solucionado, la anotación deberá ser modificada y marcada como “corregida”. Así pues, las anotaciones se crean y anclan al espacio como pequeñas esferas rojas y, una vez corregidas, pasan a ser verdes, como puede verse en la Figura 1, donde se observan dos anotaciones sin corregir y una corregida sobre el modelo 3D de un módulo prefabricado. Cuando se realizan posteriores revisiones, se tiene la opción de ocultar las anotaciones con errores subsanados. Sólo puede eliminar una anotación el usuario que la ha creado. Todo esto implica almacenar el historial de ediciones de cada anotación, con el tipo de anotación que es, el usuario que la creó, su fecha y hora de creación, su contenido inicial, el punto de vista desde el que se tomó, si ha sido corregida o no y cada una de las modificaciones que ha tenido, con su correspondiente contenido, punto de vista, usuario, fecha y hora.

Cuando se crea una anotación, el inspector debe elegir el tipo: texto, fotografía, trazo o medición. En la Figura 1 puede verse el panel de selección en la aplicación. Si se elige realizar una anotación de texto, una vez elegido el punto del modelo sobre el que se quiere anotar, se abre una caja de texto para poder tomar la nota, como vemos en la Figura 2. Cuando se toma una anotación de tipo fotografía, ésta puede visualizarse independientemente de la RA o ser proyectada sobre el modelo virtual, como en el ejemplo de la Figura 3. Para las anotaciones de trazo, el inspector puede elegir el color con el que desea pintar y optar entre dos modalidades: pintar directamente sobre lo que ve (y será la aplicación la que interprete posteriormente qué elemento era el que estaba marcando) o marcar un punto del modelo 3D a partir del cual se crea un plano sobre el que dibujar los trazos. En la Figura 4 vemos a un usuario realizando una anotación de tipo trazo. Las anotaciones de tipo medición pueden ser lineales o de área. Para las primeras, el usuario únicamente debe marcar dos puntos, el de inicio y el de fin, y la aplicación crea una línea recta de un punto a otro para obtener la medida. Para las segundas, el inspector puede marcar todos los puntos que desee formando un polígono cerrado para que la aplicación mida su área.

La aplicación contempla la posibilidad de que una misma anotación pueda adquirir varios formatos en cada una de sus modificaciones. Por ejemplo, un inspector puede tomar una fotografía de un componente defectuoso y agregarle un texto explicativo o realizar trazos a mano alzada sobre la propia fotografía.



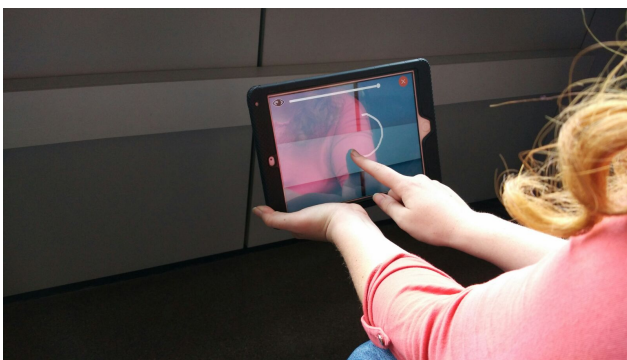
**Figura 1:** Interfaz gráfica para seleccionar el tipo de anotación y marcas de tres anotaciones: dos sin corregir (esferas rojas) y una corregida (esfera verde).



**Figura 2:** Panel de anotación de tipo texto e imagen del modelo 3D superpuesta sobre el mundo real.



**Figura 3:** Anotación de tipo fotografía proyectada sobre el modelo 3D.



**Figura 4:** Usuario tomando una anotación de tipo trazo.

## 2.2 Dispositivos

Como hemos comentado, las anotaciones se realizan mediante una aplicación de RA en un dispositivo móvil. El dispositivo seleccionado ha sido un iPad Pro 10.5 equipado con el Structure Sensor de Occipital para iOS. Este hardware permite cubrir las necesidades del proyecto SIRAE en su conjunto, que requiere, entre otras cosas, capturar nubes de puntos 3D [PCG\*18]. Por su parte, los inspectores que estén en oficina dispondrán de una aplicación de RV que puede ejecutarse tanto en un ordenador, como en un dispositivo móvil o en unas gafas de RV. Cada uno de estos dispositivos proporciona un grado de inmersión y de usabilidad diferentes. Esto ofrece una serie de ventajas y desventajas que, junto con el factor económico, habrá que valorar a la hora de decidir cuáles se incorporan finalmente al proyecto SIRAE. Actualmente las pruebas se están realizando con un ordenador con los dispositivos tradicionales de interacción (teclado y ratón), con un iPad Pro 10.5 y con unas gafas de RV VIVE de HTC a las que se les ha adaptado un controlador Leap Motion, que captura el movimiento de manos y dedos.

## 3. Implementación

El módulo de anotaciones del proyecto SIRAE ha sido implementado en Unity3D, plataforma de desarrollo que permite trabajar tanto con RV como con RA. Se ha desarrollado un Web Service de tipo REST en el que el servidor ha sido implementado con Node.js y la base de datos con MongoDB. De esta forma, la aplicación realiza las peticiones HTTP pertinentes al servidor para almacenar y recuperar la información que necesite en cada momento.

La localización de los inspectores dentro de los módulos prefabricados se ha resuelto utilizando las librerías Vuforia y ARKit. Ésta última se basa en técnicas de SLAM. Con Vuforia se capturan las marcas que sirven de referencia para la alineación del modelo virtual con el mundo real. Una vez se ha posicionado al inspector en el espacio, se utiliza ARKit para capturar el punto de vista del usuario y obtener su posicionamiento relativo a las marcas, permitiéndole moverse por todo el módulo de forma que siempre vea alineado el modelo 3D con el entorno real. Cada vez que el sistema detecta una marca, corrige la alineación espacial, consiguiendo un posicionamiento más exacto. La cantidad de marcadores y la distancia entre ellos dependerá del entorno: cuantas menos texturas haya, más probabilidad de error habrá y serán necesarios más marcadores.

La parte del desarrollo que implica la colaboración remota usa como base para las comunicaciones la librería Socket.io. Los clientes se conectan al servidor para enviarle su posición y éste la reenvía al resto de clientes. De esta forma, tanto el inspector que esté en el módulo como los que estén en oficina podrán saber dónde están colocados el resto de usuarios y el punto de vista que tienen a través de una representación virtual de cada usuario dentro del modelo virtual que todos comparten.

Para las anotaciones de tipo trazo, las más complejas de todas, se están realizando y probando diferentes implementaciones que permitan interpretar y reconstruir de la mejor forma posible los dibujos a mano alzada que el usuario realizó. Por un lado, se están siguiendo, entre otros, los trabajos [GNTH14, NLHT16] y se están estudiando los resultados obtenidos tras aplicar diferentes algoritmos. Por otro lado, se está comparando estos resultados con los obtenidos cuando al usuario se le da la opción de marcar primero un punto del modelo 3D y, a partir de ahí, se genera un plano sobre el que puede dibujar.

#### 4. Discusión y Trabajo Futuro

Aunque el trabajo aún no está finalizado, el *feedback* recibido por los inspectores con los que colaboramos para realizar el proyecto está siendo muy bueno. Han mostrado un alto interés por todas las novedades que se incorporarán a su habitual tarea de cumplimentar los programas de puntos de inspección. Además, en las pruebas de laboratorio, se está corroborando que se trata de una aplicación intuitiva, uno de los requisitos del proyecto. Ahora se está trabajando en otro requisito: la robustez. Para ello, se está haciendo especial hincapié en las anotaciones de tipo trazo, donde se sigue experimentando con diferentes algoritmos para seleccionar el más adecuado. Además, el posicionamiento relativo de los inspectores en los módulos prefabricados mediante ARKit puede presentar problemas cuando hay pocas texturas en el espacio, pues puede perderse la alineación del mundo real con el modelo 3D. Para resolver este problema, se está trabajando con el Structure Sensor del iPad, ya que se basa en la proyección de un patrón de luz infrarroja para obtener la profundidad del espacio.

A la espera de probar la primera versión completamente funcional en un entorno real, previsto para junio, la comunicación remota entre usuarios en diferentes localizaciones y con diferentes dispositivos ya es funcional y ha sido probada con éxito en laboratorio.

Por tanto, las potenciales ventajas que ofrecerá este sistema a las tareas de inspección son numerosas, entre ellas: agilizar la toma de notas, pasando del papel a la RA, enriquecer estas notas mediante documentación gráfica, mejorar los procesos de revisión en oficina y permitir una comunicación en tiempo real entre el inspector del módulo y la oficina.

A diferencia de otros trabajos, nuestro sistema ofrece la posibilidad de realizar diferentes tipos de anotaciones con la misma aplicación. Además, las anotaciones pueden ser modificadas en el tiempo por diferentes usuarios, añadiéndoles nuevo contenido. Por otro lado, ofrece un sistema colaborativo en el que los usuarios pueden estar en diferentes localizaciones, con diferentes dispositivos y diferentes puntos de vista. Todo esto la convierte en una herramienta innovadora que podrá extrapolarse fácilmente a otros proyectos.

Así pues, parte del trabajo futuro se centra en el desarrollo de un algoritmo robusto para las anotaciones de tipo trazo. Éste ha de conseguir que se vincule el trazo al objeto que el usuario efectivamente quería y que se visualice de forma adecuada desde diferentes puntos de vista. Por otro lado, se está trabajando en conseguir una alineación del mundo real con el virtual lo más exacta y duradera posible que permita un buen posicionamiento de los inspectores en todo momento. Además, falta por determinar qué dispositivos son los que realmente les pueden resultar útiles a los inspectores para la comunicación remota mediante RV y testear adecuadamente las comunicaciones en un entorno de trabajo real. Una vez se realicen las pruebas de usuario con inspectores en módulos reales de edificios prefabricados, se determinarán las modificaciones que habrá que realizar al sistema presentado en este artículo.

#### 5. Conclusiones

El módulo de anotaciones del proyecto SIRAE aspira a mejorar de forma sustancial el trabajo de los inspectores de edificios prefabricados, ayudándoles a detectar y eliminar las desviaciones de calidad y de rendimiento energético entre el diseño y la reali-

zación de edificios energéticamente eficientes. Para ello, se les proporciona la opción de tomar cuatro tipos de anotaciones en RA durante sus inspecciones: texto, fotografías, trazos y mediciones. Estas anotaciones pueden ser modificadas en posteriores inspecciones en concordancia con la subsanación de los errores detectados. Además, la herramienta presentada en este artículo permitirá un trabajo colaborativo entre el personal que esté en oficina y el operario que esté realizando la inspección en el módulo. Para ello, se podrán utilizar dispositivos con diferentes grados de inmersión y se hará uso tanto de RA como de RV.

Las primeras pruebas realizadas en laboratorio y las primeras comunicaciones realizadas a los inspectores abren un escenario prometedor para la efectiva integración de este módulo de anotaciones en el proyecto SIRAE.

#### Referencias

- [Azu97] AZUMA RT.: A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 6, 4 (1997), 355-385.
- [ICDG\*16] LE CHÉNÉCHAL M, DUVAL T, GOURANTON V, ROYAN J, ARNALDI B.: Vishnu: Virtual immersive support for helping users an interaction paradigm for collaborative remote guiding in mixed reality. *Collaborative Virtual Environments (3DCVE), 2016 IEEE Third VR International Workshop on. IEEE* (2016), 9-12.
- [GNTH14] GAUGLITZ S, NUERNBERGER B, TURK M, HÖLLERER T.: In touch with the remote world: Remote collaboration with augmented reality drawings and virtual navigation. *Proceedings of the 20th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology. ACM* (2014), 197-205.
- [GSFR17] GUGENHEIMER J, STEMASOV E, FROMMEL J, RUKZIO E.: Sharevr: Enabling co-located experiences for virtual reality between hmd and non-hmd users. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM* (2017), 4021-4033.
- [NLG\*16] NUERNBERGER B, LIEN K, GRINTA L, SWEENEY C, TURK M, HÖLLERER T.: Multi-view gesture annotations in image-based 3D reconstructed scenes. *Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology. ACM* (2016), 129-138.
- [NLHT16] NUERNBERGER B, LIEN K, HÖLLERER T, TURK M.: Interpreting 2d gesture annotations in 3d augmented reality. *3D User Interfaces (3DUI), 2016 IEEE Symposium on. IEEE* (2016), 149-158.
- [PCG\*18] PORTALÉS C, CASAS S, GIMENO J, FERNÁNDEZ M, POZA M.: From the paper to the tablet: On the design of an AR-based tool for the inspection of pre-fab buildings. Preliminary results of the SIRAE project. *Sensors* 18, 4 (2018), 1262.
- [PDE\*17] PIUMSOMBOON T, DEY A, ENS B, LEE G, BILLINGHURST M.: [POSTER] CoVAR: Mixed-platform remote collaborative augmented and virtual realities system with shared collaboration cues. *Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct), 2017 IEEE International Symposium on IEEE* (2017), 218-219.
- [SIRAE] Sistema de Realidad Aumentada para la Auto-Inspección de Edificios Energéticamente Eficientes <https://www.uv.es/uvweb/instituto-universitario-investigacion-robotica-tecnologias-informacion-comunicacion-IR TIC/es/grupos-investigacion/artec/proyectos-actuales/sirae-1285895459470/ProjecteInves.html?id=1285966308567> (accedido el 2 de mayo de 2018)
- [SJF\*13] SODHI RS, JONES BR, FORSYTH D, BAILEY BP, MACIOCCI G.: BeThere: 3D mobile collaboration with spatial input. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM* (2013), 179-188.
- [WDH09] WITHER J, DIVERDI S, HÖLLERER T.: Annotation in outdoor augmented reality. *Computers & Graphics* 33, 6 (2009), 679-689.