

Realidade Aumenta Imersiva Aplicado na Visualização de Maquetes Virtuais Georreferenciadas

RESUMO

Neste trabalho é proposto o desenvolvimento de um sistema de Realidade Aumentada (RA) imersiva, em ambientes externos (outdoor) como ferramenta para visualização de maquetes virtuais georreferenciadas. O objetivo do sistema de RA é sobrepor objetos virtuais (as maquetes) sobre a imagem do mundo real, em tempo real, usando óculos opacos HMD (*Head Mounted Display*) para visualização do cenário (virtual + real). Um sistema RA é composto por um sensor óptico (webcam) instalado sob a cabeça e um sensor de posicionamento (GNSS) integrado com um sistema de navegação inercial (INS), permitindo o usuário navegar em um ambiente híbrido para visualização de maquetes na escala 1:1, com diferentes pontos de vistas. Os parâmetros de orientação interior da câmera são obtidos por um processo de calibração de câmeras. Os parâmetros de orientação exterior são determinados pela integração GNSS/INS. A principal característica do sistema proposto é evitar o contato intrusivo do usuário com dispositivos de computador ou mapas topográficos. Ele também diminui o esforço operacional durante o processo de visualização dos dados. Foram realizados experimentos com dados reais e os resultados obtidos mostraram a potencialidade e deficiências do sistema desenvolvido.

PALAVRAS-CHAVE: Realidade Aumentada, Realidade Virtual, GNSS/INS, Calibração de câmeras.

Marcos Aurélio Basso

marcosbasso@ufpr.br

orcid.org/0000-0003-1245-2509

Universidade Federal do Paraná (UFPR),
Curitiba, Paraná, Brasil.

Daniel Rodrigues dos Santos

danielsantos@ufpr.br

orcid.org/0000-0001-7977-7426

Universidade Federal do Paraná (UFPR),
Curitiba, Paraná, Brasil.

Jorge Silva Centeno

centeno@ufpr.br

orcid.org/0000-0002-2669-7147

Universidade Federal do Paraná (UFPR),
Curitiba, Brasil.

INTRODUÇÃO

A Realidade Aumentada (RA) é uma tecnologia baseada na inserção de objetos virtuais criado por computador, cujo objetivo é criar uma sobreposição entre o que está visto no computador e a cena do mundo real. É importante observar que a RA não modela totalmente o mundo real, apenas insere textos ou objetos virtuais preservando, desta maneira, o cenário do mundo real como plano de fundo e reduzindo, consideravelmente, o custo computacional.

A RA vem sendo aplicada nas mais diversas áreas do conhecimento, tais como, na medicina (SIELHORST et al., 2004), no entretenimento (THOMAS et al., 2000), na psicologia (JUAN et al., 2005), no apoio didático (LIMA; CUNHA; HAGUENAUER, 2008), no planejamento urbano (PORTALES; LERMA; NAVARRO, 2010) na construção civil (BEHZADAN; KAMAT, 2005) em simulações de catástrofes naturais: terremotos (LEEBMAN, 2004) e enchentes (COELHO, 2004); nos levantamentos arqueológicos para a visualização de patrimônios antigos (DÄHNE; KARIGIANNIS, 2002) em Sistemas de Informações Geográficas (KING; PIEKARSKI; THOMAS, 2005) e para visualização de mapas (BOBRICH ; OTTO, 2002).

Tendo em vista as diferentes aplicações em RA, o objetivo deste trabalho é explorar o uso da tecnologia RA para visualização de modelos virtuais 3D desenvolvidas em CAD. A visualização é feita em ambiente RA imersivo proporcionando uma sensação no usuário em se encontrar inserido em um ambiente de RA. Isto pode ser feito através do emprego de sensores GNSS/INS, câmeras digitais e óculos HMD. Basicamente, a integração GNSS/INS consiste em determinar a orientação e localização do usuário no mundo real. Já as imagens digitais são capturas através de uma *webcam* (câmera digital), embarcada em uma plataforma fixada sob a cabeça do usuário (capacete), enquanto a visualização da imagem híbrida é obtida através do óculos HMD.

A sinergia entre os objetos virtuais e o mundo real é estabelecida pelos parâmetros de orientação interior (POIs) da câmera (*webcam*), que são determinados por um processo de calibração de câmeras. O método empregado, neste trabalho, para calibrar a câmera é conhecido como método de Zhang (ZHANG, 2000). Os POIs da *webcam* são essencialmente empregados para que o sistema referencial da *webcam* coincida com o sistema referencial da câmera virtual (OpenGL), enquanto os parâmetros de orientação exterior (POEs), fornecidos pelos sensores GNSS/INS têm como objetivo posicionar e orientar a câmera virtual em tempo real. Desta forma, os objetos virtuais são projetados no mesmo ponto de vista do usuário e o registro do objeto virtual, sobreposto com o cenário do mundo real, é feito com certo grau de confiabilidade. Na prática, este tipo de interface reduz o esforço operacional para interpretação das informações e evita o emprego de mapas topográficos analógicos.

A seguir será apresentada breve fundamentação teórica sobre o sistema de RA.

SISTEMA DE RA

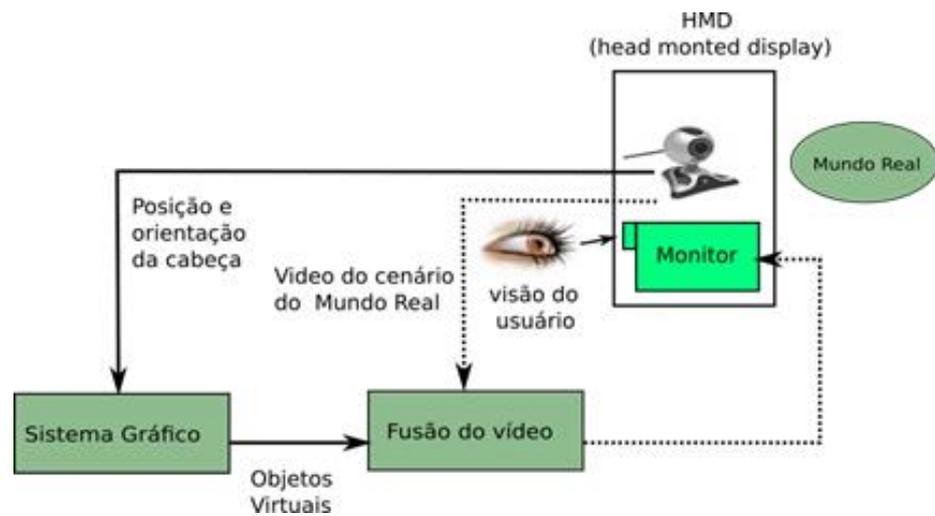
Segundo Azuma (1997), um sistema de RA deve atender três critérios básicos:

- Combinar o mundo real com o mundo virtual;

- Interagir dados em tempo real;
- Efetuar o registro 3D.

Estes critérios permitem que tecnologias HMDs, *tablets* e smartphones, sejam facilmente empregadas pela RA. Um sistema imersivo de RA está estritamente ligado com o tipo de visor utilizado, além dos óculos HMD (ver Figura 1).

Figura 1 – Esquema do sistema de visualização utilizando óculos HMD



Fonte: adaptado de Azuma (1997).

Conforme apresentado na Figura 1, em sistemas baseados em HMD, o registro do cenário do mundo real é realizado por uma câmera, enquanto os dados de posição e atitude do observador (POEs), bem como a geometria dos dados virtuais são projetados para um sistema bidimensional compatível com a geometria da imagem. Assim, é possível fazer a fusão entre a imagem do mundo real e do mundo virtual sendo, desta forma, criada uma imagem híbrida que é apresentada no óculos HMD.

Em sistemas de RA construídos para ambientes externos os óculos HMDs são amplamente empregados, pois permitem ao usuário um completo isolamento do ambiente circundante. Vale notar que existem outros tipos de visores, por exemplo (AZUMA, 1997):

- *Baseado em Monitor*: é o tipo mais comum de visor, sendo utilizado em sistema de RA próprio para smartphones e tablets;
- *Baseado em óculos transparentes*: um feixe LASER projeta textos e imagens sobre as lentes dos óculos que dispensam o uso de câmeras.

SISTEMA DE RA EM AMBIENTES EXTENOS

Os elementos que compõem um sistema de RA dependem do ambiente no qual o sistema será empregado, que podem ser interno (*indoor*) ou externo (*outdoor*). Em ambientes internos, geralmente, são utilizados sensores mecânicos (SUTHERLAND, 1968), acústicos (COHEN; AOKI; KOIZUMI, 1993) e fiduciais (KATO;

BILLINGHURST, 1999) cada qual com suas vantagens e desvantagens. Estes dispositivos não suprem as necessidades quando se emprega RA em ambientes externos, pois é necessário determinar com precisão a orientação e a posição do usuário no momento da visualização dos dados. Por exemplo, os dispositivos mecânicos são aplicados em espaços limitados, já em ambientes externos os sensores acústicos detectam inúmeros tipos de sons provocando ruídos na determinação da orientação e da posição do usuário. Também vale ressaltar que é, economicamente, inviável recobrir uma grande área com marcadores fiduciais. Na prática, são empregados um INS ou a integração GNSS/INS em ambientes externos.

A primeira aplicação de RA em ambientes externos empregando sensores GNSS/INS é descrita em Feiner (FEINER, 1997). Neste experimento, o usuário é rastreado pelo GNSS e a partir do INS, as informações adicionais são visualizadas usando óculos HMD. Em (PORTALÉS; LERMA; NAVARRO, 2010) foi utilizado apenas um INS para determinar a rotação e a posição do observador durante o levantamento. Para a correção do sistema foram empregados dois pontos de referência (com suas coordenadas tridimensionais conhecidas) em fachadas de edificações do mundo real (MR). O reconhecimento automático destes pontos é feito através de um algoritmo de correlação de imagens. A desvantagem do sistema é que, caso um dos dois pontos não seja identificado, o sistema RA não realiza o registro entre os objetos reais e virtuais.

A integração entre sensores ópticos, GNSS/INS ainda é um desafio, pois a perda de precisão na determinação dos POEs interfere na qualidade da visualização e na interpretação da imagem híbrida, fornecida pelo sistema. A complexidade em desenvolver um sistema de RA em ambientes externos se deve a diversos fatores, tais como, o tamanho dos dispositivos, efeitos de multicaminhamento do GNSS, baixa qualidade dos sensores INS baseados em sistemas micro-elétronica mecânicos (MEMS), em que o erro se propaga conforme o período de tempo em uso, entre outros.

Neste trabalho é proposto o desenvolvimento de um sistema de Realidade Aumentada (RA) imersiva, em ambientes externos (outdoor) como ferramenta para visualização de maquetes virtuais georreferenciadas. A seguir serão apresentados os materiais e os métodos empregados para o desenvolvimento deste trabalho.

MATERIAIS E MÉTODOS

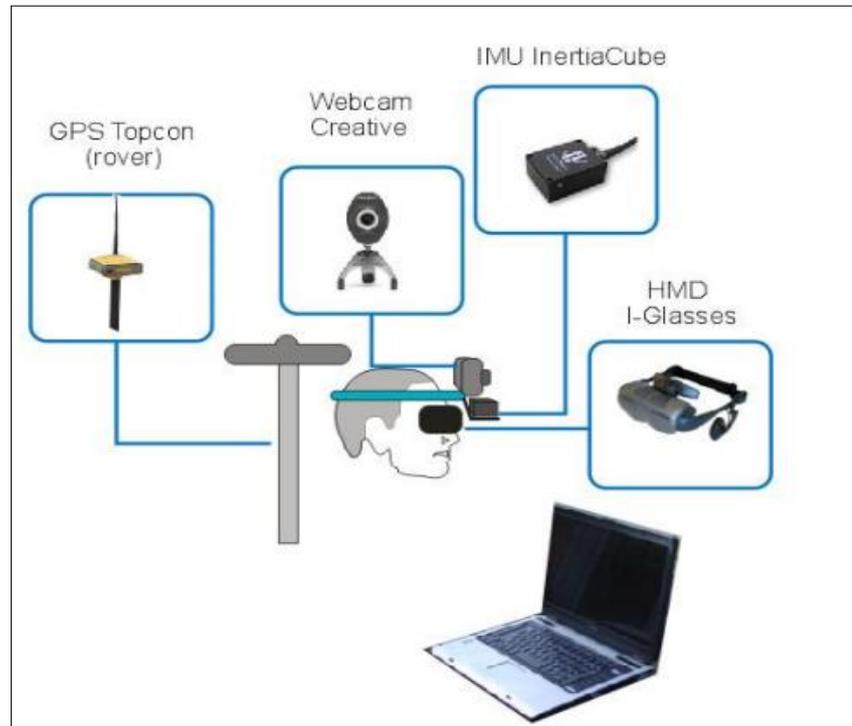
Os recursos de hardware e software empregados para realização do trabalho proposto são os que seguem:

- 01 GNSS/RTK Topcon Hiper Ligth Plus: faz a leitura em uma taxa de 1Hz e com precisão no posicionamento de ± 2 cm. Um receptor rover acompanha o usuário, enquanto a antena base é fixada sob um ponto com coordenadas conhecidas;
- 01 óculos HMD I-GLASSES: para visualização da imagem híbrida;
- 01 webcam Creative com quadro focal de 640×480 pixels, sensor CCD modelo sensor HV7131GP – CMOS e tamanho do pixel de $5,6\mu \times 5,6\mu$;

- 01 computador portátil modelo Toshiba Satellite: onde foram conectados todos os sensores;

Ambiente Delphi 7 com a biblioteca gráfica OpenGL. A Figura 2 mostra um esquema do protótipo desenvolvido.

Figura 2 – Esquema do sistema de visualização utilizando óculos HMD



Fonte: Autoria própria (2011).

A Figura 2 mostra que a câmara está fixada no óculo HMD, para minimizar a diferença entre o seu centro de projeção e o ponto de vista do usuário. O mesmo ocorre com o INS, que é localizada bem próxima da câmara. Estes dispositivos estão conectados a um computador portátil.

DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

O aplicativo desenvolvido em ambiente de programação Delphi 7 foi dividido em três módulos, a saber:

- Módulos de Posição e Orientação:** consiste na captura dos dados fornecidos pelos sensores que determinam os POEs do usuário. Os sensores GNSS/INS estão conectados por meio das portas seriais do Laptop. As leituras fornecidas pelo GNSS/INS são realizadas a partir do protocolo NMEA (2002) (*National Marine Electronics Association*). Para facilitar a manipulação dos dados geográficos de latitude e longitude, estas coordenadas são convertidas para o sistema de projeção UTM (Universal Transverse Mercator) ou para coordenadas retangulares cartesianas, dadas pelas seguintes expressões, a saber:

$$X_{(N+h)\cos\varphi\cos\lambda} \quad (1)$$

$$Y = (N + h) \cos \varphi \operatorname{sen} \lambda \quad (2)$$

$$Z = (N(1 - e_2) + h) \operatorname{sen} \varphi \quad (3)$$

onde, N é o raio de curvatura da primeira vertical, definido pela seguinte expressão:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e_2 \operatorname{sen}^2 \varphi}}, \quad (4)$$

o parâmetro a é referente ao semi-eixo maior ou equatorial para o elipsoide WGS-84 (*World Geodetic System-1984*), que corresponde a $6378137m$. O parâmetro e_2 é referente à segunda excentricidade, dado pela seguinte expressão:

$$e_2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}, \quad (5)$$

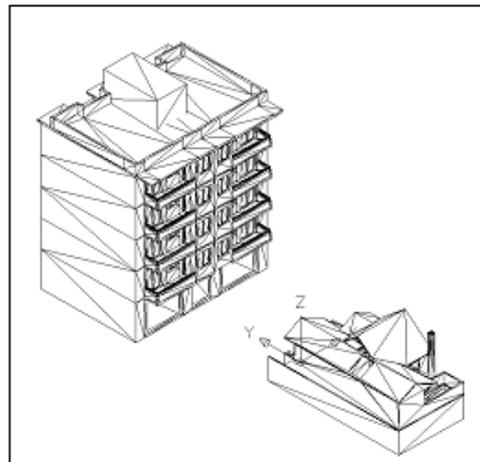
o parâmetro b é equivalente ao eixo polar, ou semi-eixo menor, para o elipsoide WGS-84, cujo valor corresponde a $6356752,314 m$.

- b) Módulo de Vídeo:** através da câmara é realizada a tomada de imagens do mundo real, cada quadro é convertido para o formato bitmap com dimensão de 640×480 pixels.
- c) Módulo de Aplicação:** tem por finalidade gerenciar as informações das maquetes 3D que representam o cenário virtual e realizar a projeção 2D desses objetos no display em harmonia com o cenário do mundo real capturada pela câmara. Para isso, foram utilizadas matrizes de modelagem e projeção da biblioteca gráfica OpenGL.
- d) Calibração de câmara:** O método de Zhang utiliza um padrão coplanar semelhante a um tabuleiro de xadrez para identificar, automaticamente, cada pixel do canto das células do tabuleiro. Os POIs da webcam são determinados usando o algoritmo de *Levenberg-Marquardt* (LEVENBERG, 1944).

GERENCIAMENTO DAS INFORMAÇÕES 3D

O gerenciamento das informações 3D consiste no armazenamento das informações espaciais da maquete virtual em um banco de dados. Neste trabalho foram elaborados modelos 3D de edificações em CAD. Cada camada da estrutura das edificações foi convertida para o formato 3DS. Este formato de arquivo, permite armazenar informações sobre objetos 3D, tais como, forma, propriedades de material, fontes de luz, etc. Foram construídas duas maquetes, sendo uma representando uma edificação simples e outra representando uma edificação de vários andares. A Figura 3 mostra os modelos virtuais desenvolvidos em CAD.

Figura 3 – Modelos Virtuais desenvolvidos em CAD

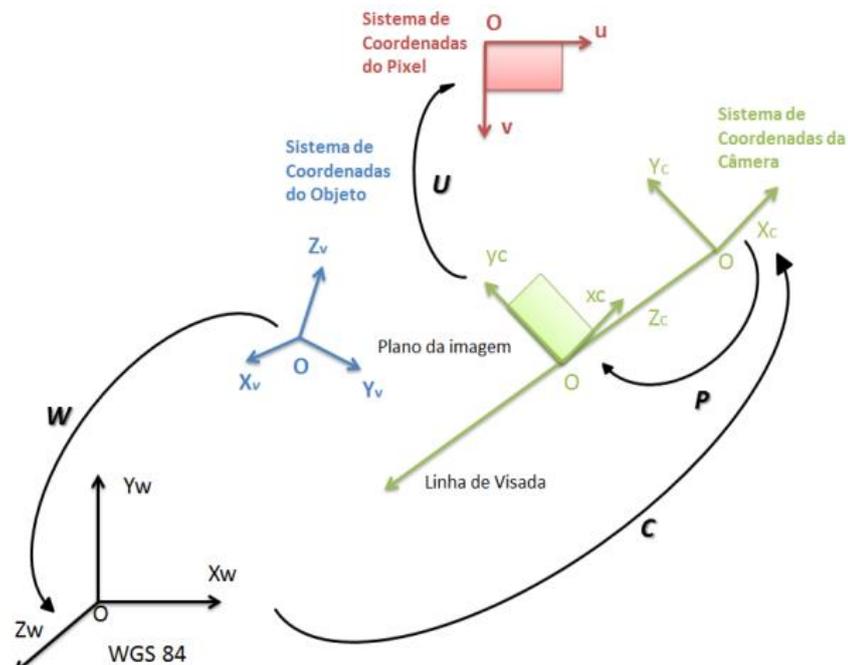


Fonte: Autoria própria (2011).

PROJEÇÃO 2D

Para compatibilizar os sistemas referenciais dos diferentes equipamentos envolvidos é necessário aplicar transformações matemáticas que descrevem suas relações geométricas. A Figura 4 mostra os sistemas referenciais e as transformações que devem ser consideradas para a integração dos dados derivados dos sensores dispostos no sistema de RA.

Figura 4 – Sistemas de coordenadas envolvidos no processo.



Fonte: Autoria própria (2011).

O modelo matemático para sobreposição dos objetos do mundo virtual com o mundo real pode ser descrito utilizando transformações espaciais, conforme a Equação 6:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = U * P * W * \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

sendo, X, Y e Z as coordenadas dos vértices dos objetos virtuais, u e v as coordenadas no sistema referencial imagem (Coluna e Linha). Na Equação 7 é apresentado a transformação afim entre o sistema imagem e o sistema referencial da imagem, como segue:

$$U = \begin{bmatrix} s_x & \tau & u_0 \\ 0 & s_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

sendo, s_x e s_y os fatores de escala referentes à transformação entre os sistemas, enquanto τ é o parâmetro de não similaridade, u_0 e v_0 são as coordenadas do ponto principal, dadas em pixel.

A próxima transformação se refere à projeção perspectiva entre o sistema referencial da câmera com o sistema referencial da imagem, representado através da Equação 8 pela matriz P , como segue:

$$P = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

sendo, f a distancia focal calibrada.

A transformação representada pela matriz W corresponde transformação de referenciais, ou seja, entre o sistema referencial global e o sistema referencial fotogramétrico, conforme apresentado na Equação 9:

$$W = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & tx \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & ty \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & tz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Onde:

$$r_{11} = \cos(\varphi)\cos(\kappa)$$

$$r_{12} = \cos(\varpi)\sin(\kappa) + \sin(\varpi)\sin(\varphi)\cos(\kappa)$$

$$r_{13} = \sin(\varpi)\sin(\kappa) - \cos(\varpi)\sin(\varphi)\cos(\kappa)$$

$$r_{21} = \cos(\varphi)\sin(\kappa)$$

$$r_{22} = \cos(\varpi)\cos(\kappa) - \sin(\varpi)\sin(\varphi)\sin(\kappa)$$

$$r_{23} = \sin\varpi\cos(\varphi) + \cos(\varpi)\sin(\varphi)\sin(\kappa)$$

$$r_{31} = \sin(\varphi)$$

$$r_{32} = -\sin(\varpi)\cos(\varphi)$$

$$r_{33} = \cos(\varpi)\cos(\varphi)$$

Sendo, ϖ, φ, κ os ângulos de rotação fornecidos pelo INS, tx, ty, tz os valores de translação do observador fornecidas pelo *rover* do GNSS e convertidas para coordenadas cartesianas.

Para a construção da realidade aumentada a imagem capturada pela webcam é projetado como pano de fundo do display, a sobreposição dos objetos virtuais é efetuado a partir das matriz de modelagem e a matriz de projeção da OpenGL. As matrizes de modelagem recebem os POEs, enquanto as matrizes de projeção recebem os POIs da *webcam* para que a geometria dos objetos virtuais estejam compatíveis com o cenário do mundo real.

RESULTADOS

Para avaliar o sistema desenvolvido foram conduzidos dois experimentos: 1) calibração da *webcam* e 2) emprego do sistema de RA na visualização de maquetes desenvolvidas em CAD na escala 1:1.

A calibração da *webcam* consistiu em adquirir 20 imagens de um tabuleiro de xadrez padrão em diferentes pontos de vista e com diferentes inclinações e rotações da câmera. Para determinar os POIs foi empregado o método de Zhang e utilizado a biblioteca CalibTools (BOUGUET, 2004) devidamente instalado no ambiente Matlab. A Tabela 1 mostra os resultados obtidos com o método empregado.

Tabela 1 – parâmetros de orientação interior da Webcam.

f_x (mm)	f_y (mm)	u_0 (mm)	v_0 (mm)	k_1 (mm) ⁻²	k_2 (mm) ⁻⁴
4,166	4,170	0,108	0,265	$1,718 \times 10^{-3}$	$-0,031 \times 10^{-3}$
Desvios-Padrão					
$\pm 0,015$	$\pm 0,140$	$\pm 0,014$	$\pm 0,015$	$\pm 8,0 \times 10^{-8}$	$\pm 4,8 \times 10^{-8}$

Fonte: Autoria própria (2011).

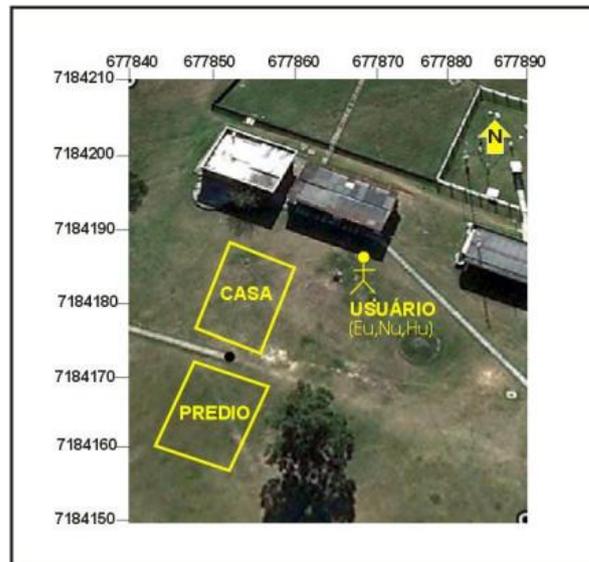
Na Tabela 1, o deslocamento do ponto principal u_0 e v_0 representa valores de 19 e 47 pixels, respectivamente, que é bastante significativo para uma aplicação de RA. Esse deslocamento mostra a baixa qualidade geométrica de sensores ópticos advindos de webcam. Isto mostra a importância da calibração da webcam para um sistema de RA, uma vez que esses efeitos sistemáticos devem ser conhecidos e devidamente aplicados na matriz de transformação projetiva da OpenGL.

A segunda etapa do experimento tem por finalidade aplicar o sistema de RA na visualização de maquetes desenvolvidas em CAD na escala 1:1, em tempo real, e em ambiente externo. Primeiramente, foram confeccionadas em ambiente CAD duas maquetes 3D representando projetos arquitetônicos usuais, cujas suas dimensões são compatíveis com construções do mundo real. O protótipo desenvolvido foi empregado em ambiente real com a webcam e o INS instalados sob um capacete e a antena *rover* do GNSS posicionada próxima a cabeça do usuário. O dispositivo GNSS envia dados a partir do protocolo NMEA a uma taxa de 1hz, o INS envia dados da atitude do observador a uma taxa de 20hz, compatível com a taxa de captura de quadros da webcam que também é de 20hz. No laptop está instalado um programa específico desenvolvido em ambiente de

programação Delphi 7 que realiza a integração de dados dos sensores e a geração da imagem híbrida da RA para visualização no óculos HMD.

O lugar escolhido para realizar os testes foi uma área externa nas dependências do Centro Politécnico da UFPR, como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Localização da área de testes no centro Politécnico da UFPR



Fonte: Autoria própria (2011).

A Figura 6 apresenta um croqui do local onde foram alocadas as maquetes virtuais, representando as construções georreferenciadas no sistema WGS-84, armazenados em disco no formato de arquivo 3Ds. A Figura 7 mostra a composição do sistema de RA desenvolvido e em fase de teste. Nota-se que a antena rover do GNSS sob as costas, engatado dentro de uma mochila, o capacete contendo a webcam e o INS, bem como o laptop utilizado para o processamento dos dados, em tempo real.

Figura 7 – Usuário com os dispositivos do sistema de RA.



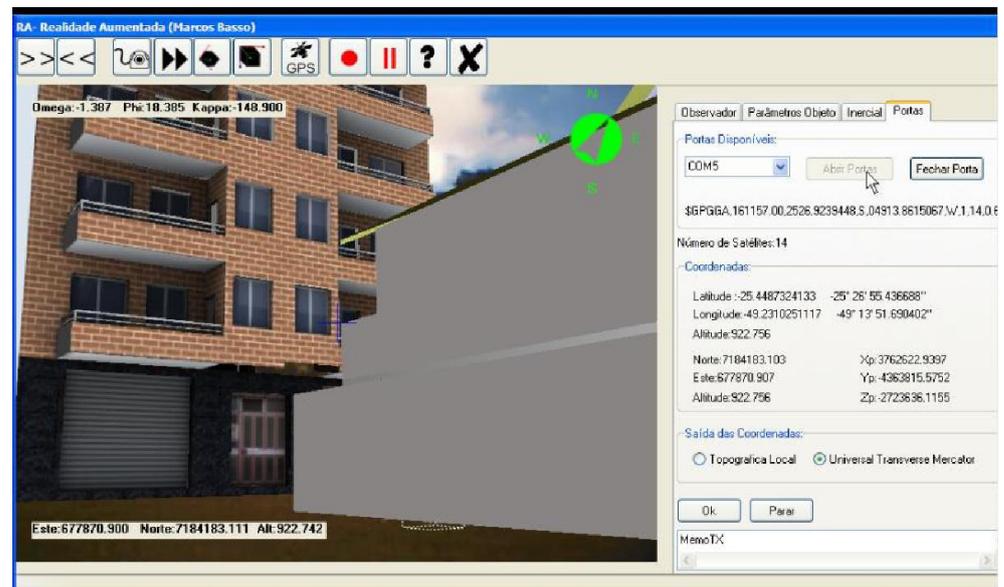
Fonte: Autoria própria (2011).

Quando o sistema é acionado, os três módulos que compõem o sistema de RA funcionam de forma cadenciada, os sensores INS e a webcam foram configurados para atualizar o sistema em tempo real a uma taxa de 20 quadros por segundo. Os

magnetômetros do INS, quando acionados, estão referenciados ao norte magnético, e convertido para o norte geográfico por meio da declinação magnética referente ao dia que é realizado o experimento. Vale ressaltar que o sistema de RA desenvolvido é baseado em vídeo e permite a gravação das imagens no formato MPEG, para posterior documentação.

A Figura 8 mostra o resultado dos objetos virtuais sendo projetados sobre o cenário do mundo real, a partir do módulo vídeo. É possível notar os detalhes da textura da maquete 3D e conforme o usuário se desloca recebe dados do GNSS, a partir da antena *rover*, sendo os mesmos atualizados a 1Hz.

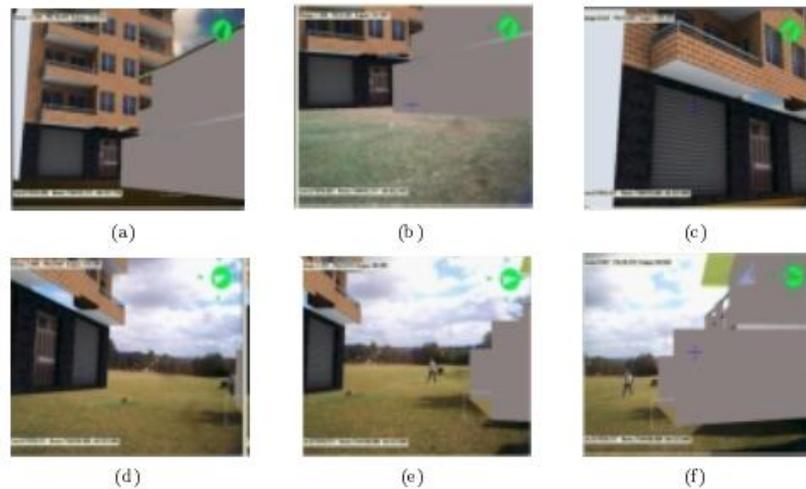
Figura 8 – programa ativado contendo as informações de orientação e posicionamento do observador.



Fonte: Autoria própria (2011).

Na Figura 9 são apresentadas as imagens obtidas de diferentes posições com diferentes orientações do observador. Conforme o observador se movimenta, novos valores de ângulos são medidos e lidos pelo aplicativo. Os parâmetros de rotação e translação alimentam os dados da matriz W , denominada de *ModelViewer* da biblioteca OpenGL, que equivale a matriz apresentada na Equação 4, que tem como função realizar as transformações geométricas, conforme apresentado na Equação 1.

Figura 9 – a) Visão inicial do usuário; b) visão do observador quando se desloca para frente; c) novo ponto de vista do usuário girando a cabeça para direita; d) com o observador se deslocando novamente para frente, mas em outra direção; e) observador girando a cabeça para direita. E (f) nota-se a dimensão das maquetes virtuais em relação aos transeuntes caminhando pelo campus.



Fonte: Autoria própria (2011).

Em suma, o sistema apresentou algumas limitações devido às características dos sensores empregados, principalmente no que se refere ao INS, que apresenta baixa precisão no ângulo $kappa$ (κ). Tal deficiência pode ser solucionada adicionando-se injeções como, por exemplo, o uso de pelo menos dois alvos fixos no mundo real com coordenadas conhecidas. Através da recessão espacial pode ser efetuada a correção dos ângulos e também da posição do observador. Como o GNSS possui uma taxa de atualização de apenas 1Hz e a webcam captura as informações a uma taxa de 20 Hz a sinergia entre o registro da maquete virtual em relação ao mundo real também ficou prejudicada. Ao contrário de outros sistemas de RA baseados em monitor, o óculos HMD, além de permitir a imersão do usuário não atrapalha a visibilidade do ambiente externo. Entretanto, provoca insegurança no usuário conforme ele caminha pelo cenário.

CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de RA imersivo para a visualização de maquetes virtuais em ambientes externos. A principal característica do protótipo desenvolvido é evitar o uso de mapas topográficos analógicos e a redução do esforço operacional na interpretação do projeto. As principais limitações do protótipo estão relacionadas com a dimensão dos equipamentos, principalmente pela antena GNSS, a insegurança provocada pelo óculos HMD, baixa precisão do INS comprometendo o registro entre os objetos do mundo real e o cenário e a incompatibilidade das taxas de atualização entre o GNSS e INS que provocam erros no registro. Futuramente serão implementados algoritmos que possibilite a correção do registro por meio da extração das características visuais da imagem através de algoritmo SIFT, que permitem a detecção e descrição de pontos homólogos em uma sequência de frames, invariantes a sua escala e rotação, bem como a calibração dos parâmetros de montagem do sistema.

Immersive Augmented Reality Applied in Visualization of Georeferenced Virtual Models

ABSTRACT

The development of an immersive augmented reality system for outdoor environments is proposed for visualization of georeferenced virtual models. The goal is immerse a virtual model inside the real world using a head mounted display (HMD) to visualization of the scenario, in real time. An augmented reality-based platform is integrated with a global navigation satellite system (GNSS) and an inertial navigation system (INS) to allow the user moves into a hybrid environment for virtual model visualization in real world and with different point of views. The interior orientation parameters were determined using a camera calibration process. The integrated GNSS/INS sensors provide the exterior orientation parameters to virtual camera. The main characteristic of the proposed system is avoiding the intrusive contact of the human operator with the computer or topographic maps. It also can decrease the operational effort during the visualization process. Experiments were performed with real data and the experimental results shown the potential of the developed system.

KEYWORDS: Augmented Reality, Virtual models, GNSS/INS, Camera calibration.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a CAPES pela bolsa concedida para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AZUMA, R. T. A survey of augmented reality. Presence: Teleoperators and virtual environments, **MIT Press**, v. 6, n. 4, p. 355–385, 1997.

AZUMA, R. et al. Recent advances in augmented reality. Computer Graphics and Applications, **IEEE**, IEEE, v. 21, n. 6, p. 34–47, 2001.

BEHZADAN, A. H.; KAMAT, V. R. Visualization of construction graphics in outdoor augmented reality. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedings of the 37th conference on Winter simulation**. [S.l.], 2005. p. 1914–1920.

BOUGUET, J. Camera calibration toolbox for matlab. 2004.

BOBRICH, J.; OTTO, S. Augmented maps. International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, **Citeseer**, v. 34, n. 4, p. 502–505, 2002.

COELHO, A. H. **Erweiterte Realitat zur Visualisierung simulierter Hochwasserereignisse**. Tese (Doutorado) - Karlsruhe, Univ., Diss., 2004, 2004.

COHEN, M.; AOKI, S.; KOIZUMI, N. Augmented audio reality: Telepresence/vr hybrid acoustic environments. In: IEEE. Robot and Human Communication, 1993. Proceedings., **2nd IEEE International Workshop on**. [S.l.], 1993. p. 361–364.

DÄHNE, P.; KARIGIANNIS, J. N. Archeoguide: System architecture of a mobile outdoor augmented reality system. In: **IEEE**. null. [S.l.], 2002. p. 263.

FEINER, S. et al. A touring machine: Prototyping 3d mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. **Personal Technologies**, Springer, v. 1, n. 4, p. 208–217, 1997.

KATO, H.; BILLINGHURST, M. Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system. In: IEEE. Augmented Reality, 1999. **(IWAR'99) Proceedings**. 2nd IEEE and ACM International Workshop on. [S.l.], 1999. p. 85–94.

KING, G. R.; PIEKARSKI, W.; THOMAS, B. H. Arvino-outdoor augmented reality visualisation of viticulture gis data. In: IEEE. Mixed and Augmented Reality, 2005. Proceedings. **Fourth IEEE and ACM International Symposium on**. [S.l.], 2005. p. 52–55.

JUAN, M. C. et al. Using augmented reality to treat phobias. Computer Graphics and Applications, **IEEE**, IEEE, v. 25, n. 6, p. 31–37, 2005.

LEEBMANN, J. **An augmented reality system for earthquake disaster response**. TS THS, v. 19, 2004.

LEVENBERG, Kenneth. A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. **Quarterly of applied mathematics**, v. 2, n. 2, p. 164-168, 1944.

LIMA, Á. J. R. de; CUNHA, G. G.; HAGUENAUER, C. J. Realidade aumentada no ensino de geometria descritiva. **Virtual Reality and Scientific Visualization Journal**, v. 1, n. 2, p. 28–41, 2008.

NATIONAL MARINE ELECTRONICS ASSOCIATION et al. NMEA 0183--Standard for interfacing marine electronic devices. NMEA, 2002.

PORTALÉS, C.; LERMA, J. L.; NAVARRO, S. Augmented reality and photogrammetry: A synergy to visualize physical and virtual city environments. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Elsevier, v. 65, n. 1, p. 134–142, 2010.

SELHORST, T. et al. An augmented reality delivery simulator for medical training. In: **International Workshop on Augmented Environments for Medical Imaging-MICCAI Satellite Workshop**. [S.l.: s.n.], 2004. v. 141, p. 11–20.

SUTHERLAND, I. E. A head-mounted three dimensional display. In: ACM. Proceedings of the December 9-11, 1968, **fall joint computer conference**, part I. [S.l.], 1968. p. 757–764.

THOMAS, B. et al. Arquake: An outdoor/indoor augmented reality first person application. In: IEEE. **Wearable computers, the fourth international symposium on**. [S.l.], 2000. p. 139–146.

ZHANG, Z. A flexible new technique for camera calibration. Pattern Analysis and Machine Intelligence, **IEEE Transactions on**, IEEE, v. 22, n. 11, p. 1330–1334, 2000.

Recebido: 17 set. 2015

Aprovado: 03 ago. 2017

DOI: 10.3895/rbgeo.v5n3.5485

Como citar: BASSO, M. A.; SANTOS, D.;CENTENO, J.S. Realidade Aumentada Imersiva Aplicada na Visualização de Maquetes Virtuais Georeferenciadas . **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 5, n. 3, p. 404-419, jul/set. 2017. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Marcos Aurélio Basso

Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - UFPR, Caixa Postal 19001, 81.531-990 Curitiba, Paraná, Brasil . Avenida Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 210 – Jardim das Américas – Curitiba, Paraná, Brasil

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

