

Colaboração Móvel com Realidade Aumentada

Trabalho desenvolvido por
Denise Del Re Filippo para
a disciplina de Computação
Móvel do Departamento de
Informática da PUC-Rio em
2004.2

Índice

Introdução	3
Conceitos Básicos	4
Aplicações	7
Tecnologias	10
Dispositivos de Apresentação	10
Registro	14
Projetos	16
MARS – Mobile Augmented Reality Systems	17
OCAR – Outdoor Collaborative Augmented Reality	20
Conclusão	23
Referências Bibliográficas	25

Introdução

A maioria das pessoas que acompanha os noticiários de televisão se lembrará de ter visto, alguma vez, a imagem de uma pessoa com um capacete que, sem contato visual com o mundo real, vivencia mundos artificialmente criados através deste estranho dispositivo. Ainda que não sejam capazes de nomear aquilo que vêem, estão cientes da existência da Realidade Virtual. Já a Realidade Misturada, Realidade Aumentada ou Virtualidade Aumentada dizem respeito a ambientes e nomes ainda desconhecidos, mesmo entre os profissionais de informática.

A potencialidade de aplicação destas novas áreas de estudo é bastante grande e, como tantas outras advindas de inovações geradas pela informática, estas tecnologias trarão mudanças na forma como as pessoas se relacionam com o mundo a sua volta. Inúmeras pesquisas já estão sendo desenvolvidas e seus benefícios podem ser aplicados em áreas bem distintas: na medicina, apoiando médicos em exames e cirurgias; na engenharia, facilitando o desenvolvimento de projetos e manutenção; no comércio, criando novos canais de venda e espaços para propagandas e, de uma maneira geral, em toda atividade humana.

No caso deste trabalho em particular, serão mostrados aspectos da Realidade Aumentada em conjunto com duas outras áreas igualmente promissoras: a Computação Móvel e o Trabalho Colaborativo Apoiado por Computador. Inicialmente, serão apresentados os conceitos básicos necessários para contextualizar e compreender o escopo desta área de estudo. Em seguida, serão relacionadas aplicações já em fase experimental ou ainda apenas vislumbradas. Outro ponto a ser abordado neste trabalho são os principais aspectos da tecnologia sobre o qual se apóiam os novos recursos. Por último, serão apresentados exemplos de projetos de pesquisa que exploram as vantagens e particularidades da Realidade Aumentada com as da Colaboração e da Mobilidade.

1. Conceitos Básicos

Ainda que a Realidade Aumentada seja pouco conhecida e que as pesquisas nesta área estejam apenas se iniciando, sua concepção é mais antiga do que a princípio se poderia supor. O primeiro experimento de Realidade Aumentada considerado como tal foi feito por Sutherland ainda na década de 60, quando ele utilizou um capacete com visor transparente no qual foram apresentadas imagens 3D.

A área de pesquisa formou-se, no entanto, apenas na década de 90, quando a existência de um número maior de trabalhos possibilitou que ela fosse identificada e caracterizada como um tópico distinto de outros. As pesquisas aceleraram-se a partir de 1997, quando um survey de Azuma [Azuma 1997] definiu este campo de estudo, descreveu os principais problemas e relacionou os trabalhos realizados até então. No final da década de 90, surgiram os primeiros workshops e simpósios, bem como organizações voltadas especificamente para a este tema. Outro fator que acelerou o número de pesquisas na área foi a disponibilização do ARToolKit [ARToolKit], uma biblioteca para desenvolvimento rápido de aplicações de Realidade Aumentada. Inicialmente desenvolvido na Universidade do Japão, atualmente é suportado pela Universidade de Washington, nos EUA, e pela Universidade de Canterbury, na Nova Zelândia.

A fim de compreender o que é Realidade Aumentada, é interessante situá-la no contexto da Realidade Virtual, bem como verificar o que diferencia uma da outra. Credita-se a Jaron Lanier, fundador da VPL Research Inc., o termo Realidade Virtual. Na década de 1980, ele teria utilizado este termo para diferenciar as simulações tradicionais dos mundos virtuais que ele tentava criar. A partir daí, muitas definições foram propostas.

Aukstakalnis (citado em [Vallino 1998]) afirma que a Realidade Virtual é um ambiente tridimensional, interativo e gerado por computador no qual uma pessoa é imersa. Para [Neto 2004], o termo refere-se, normalmente, a uma experiência imersiva e interativa baseada em imagens gráficas 3D, geradas em tempo-real por computador. Além disto, vários pesquisadores explicitam que a Realidade Virtual é uma interface [Neto 2002].

Nas duas definições apresentadas estão presentes elementos que, em conjunto, caracterizam esta área de pesquisa: o ambiente gerado por computador, a tridimensionalidade e a interatividade (em tempo real). Filmes e animações, como até o presente vêm sendo feitos, não possuem interatividade e, portanto, não são considerados Realidade Virtual. Outro aspecto a ser observado é quanto ao nível de imersão: embora a desconexão total do mundo real seja o ambiente mais clássico de Realidade Virtual e esteja presente em algumas definições, a imersão total nem sempre é exigida. Nestes casos, jogos tridimensionais em computadores convencionais podem ser considerados como Realidade Virtual.

Devido a características de geração de imagens tridimensionais, de interatividade e de utilização de uma série de tecnologias, equipamentos e soluções comuns, a Realidade Aumentada é entendida como uma subárea da Realidade Virtual. De acordo com [Santos 2001], o termo refere-se à composição de ambientes reais com ambientes simulados. Para Insley [Insley 2003], ela é a melhoria do mundo real com textos, imagens e objetos virtuais gerados por computador. Azuma [Azuma 2001] considera que a Realidade Aumentada “suplementa o mundo real com objetos virtuais que parecem coexistir no mesmo espaço do mundo real” e define um sistema de Realidade Aumentada como sendo aquele que possui as seguintes características:

- combina objetos reais e virtuais num ambiente real;
- opera interativamente, e em tempo real, e
- registra (alinha) objetos reais e virtuais uns com os outros [Azuma 2001]

Esta definição, ao contrário de outras, não restringe os sistemas de Realidade Aumentada a fazerem uso de determinada tecnologia de apresentação, como a dos capacetes HWD (Head-Worn Display). Também não impõe o sentido da visão, já que, potencialmente, todos os demais sentidos podem ter seus equivalentes virtuais. Ainda outra observação sobre a definição de Azuma é que ele considera como parte da Realidade Aumentada o que outros pesquisadores denominam Realidade Mediada ou Realidade Diminuída, isto é, a “remoção” de objetos reais da cena. Por exemplo, a inclusão de um objeto virtual na frente de outro real tem o efeito de “subtraí-lo” e fazer com que este não seja percebido.

Em 1994, Milgram [Milgram 1994] propôs uma taxonomia ao observar que o termo Realidade Virtual vinha sendo aplicado a uma série de ambientes, nem sempre os de imersão total. Ele identificou que estes ambientes se encontravam em algum ponto do que ele denominou “Virtuality Continuum”, ou um “Contínuo de Virtualidade”, cujos extremos são o Ambiente Real e a Realidade Virtual (figura 1). Entre um extremo e outro, está o que ele denominou de Realidade Misturada e definiu como sendo aquela em que “objetos do mundo real e do mundo virtual são apresentados juntos num único dispositivo de apresentação, ou seja, em qualquer local entre os extremos do continuum”. Neste contexto, a Realidade Aumentada caracteriza-se pelo predomínio do mundo real sobre o virtual, enquanto que na Virtualidade Aumentada ocorre o predomínio do virtual sobre o real.

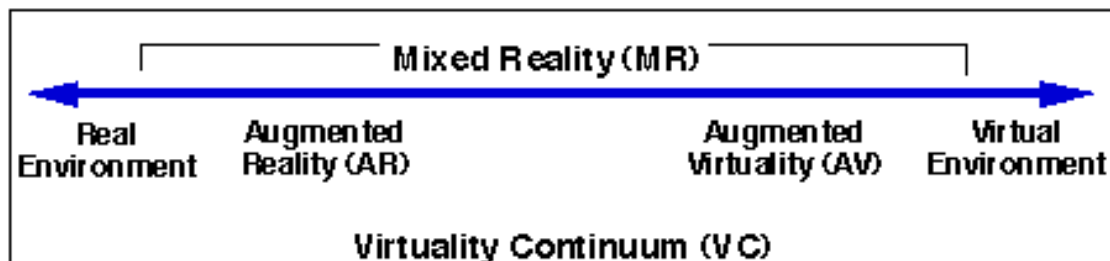


Figura 1 – O “Virtuality Continuum” proposto por Milgram

Embora Realidade Virtual e Realidade Aumentada sejam gradações distintas de um mesmo continuum e tenham muitos aspectos em comum, algumas diferenças devem ser ressaltadas. Em primeiro lugar está a característica de imersão no sistema. A Realidade Aumentada, de acordo com as definições apresentadas, “aumenta” ou “suplementa” a realidade com objetos virtuais. Em todos os momentos, portanto, é preciso estar em contato com a visão do mundo real, que é a base e o pressuposto sobre o qual as aplicações são construídas. Já a Realidade Virtual, no seu sentido mais clássico, exige imersão total e completo isolamento da realidade.

Outra diferença é quanto à verossimilhança e fidelidade de reprodução do mundo real que as cenas e objetos virtuais são capazes de apresentar. No caso da Realidade Virtual, especialmente com a imersão total no mundo virtual, o gerador de cenas tem a responsabilidade de produzir um ambiente que faça a substituição, de maneira mais fiel e tão completamente quanto possível, do mundo real. Em contra-partida, as aplicações de Realidade Aumentada, além de requerem que um volume muito menor de objetos virtuais seja gerado, nem sempre exigem que estes sejam realistas. Embora se afirme que a meta da Realidade Aumentada seja a mistura indistinguível de objetos reais e virtuais [Vallino 1998] [Azuma 2001], menus, textos e botões, por exemplo, não precisam ser necessariamente tridimensionais, sombreados ou corretamente iluminados.

Pelos mesmos motivos, há diferenças na qualidade dos dispositivos de apresentação nos dois casos. Aqueles utilizados na Realidade Virtual devem possuir excelente resolução para serem capazes de substituir satisfatoriamente o mundo real. Já os dispositivos necessários em aplicações de Realidade Aumentada não possuem esta demanda, e podem, inclusive, ser monocromáticos.

Uma quarta diferença que deve ser feita é quanto à questão de registro (alinhamento), crucial nas aplicações de Realidade Aumentada. Conforme será discutido na seção “Tecnologias”, combinar objetos reais e virtuais exige que estes últimos sejam, não apenas corretamente, mas precisamente posicionados em relação ao mundo real. Na Realidade Virtual toda a cena é construída artificialmente e o posicionamento dos objetos são bem conhecidos.

Uma última diferença a ser mencionada diz respeito ao volume de dados de entrada e de saída em ambos os casos. As imagens geradas pelas aplicações de Realidade Virtual devem preencher, durante todo o tempo e com grande sentido de realidade, todo o espaço visível. Além disto, também devem ser reproduzidos os estímulos que serão percebidos pelos demais sentidos. O volume dos dados de saída é muito grande se comparado com os dados de entrada, que correspondem a alguns poucos sensores, como os do movimento do usuário. No caso da Realidade Aumentada, ocorre o contrário. O volume de saída é reduzido: poucas imagens devem ser apresentadas, pois o sentido de do mundo real deve dominar. O mesmo acontece com os estímulos que devem ser produzidos para os demais sentidos. Por outro lado, as aplicações de Realidade Aumentada possuem muitos dados de entrada: há um grande número e variedade de rastreadores produzindo dados que devem ser tratados com rapidez. Algumas aplicações não assumem que o mundo real está parado e devem adquirir informações de movimento

e profundidade dos objetos reais. Além disto, existem aplicações que lidam com bases de dados contextualizadas, que se configuram como mais uma entrada no sistema. Sendo assim, as aplicações de Realidade Aumentada devem tratar um grande volume de dados de entrada, se comparado à quantidade dos dados que devem ser produzidos como saída.

As semelhanças e diferenças da Realidade Aumentada, em relação aos de Realidade Virtual, caracterizam seus sistemas de forma única, inovadora e ainda pouco explorada. A motivação para o desenvolvimento das aplicações de Realidade Aumentada vem do potencial de recursos e benefícios que ela pode trazer nas diversas áreas da atividade humana, como será apresentado na seção a seguir.

2. Aplicações

Segundo Robinett (citado em [Azuma 1997]), a Realidade Aumentada pode ser usada em qualquer situação que requeira a apresentação de informação não diretamente disponível ou detectável pelos sentidos humanos e que a aplicação possa torná-la visível (ou audível, tocável, etc.). Embora seja ainda pouco explorada, pesquisas em áreas bastante distintas já vêm sendo desenvolvidas.

A medicina é uma atividade em que o uso de imagens para fins de exame, cirurgia e pesquisa cresce cada vez mais. Estas imagens têm a característica observada por Robinett, pois não são diretamente visíveis, a menos que os pacientes sejam operados. Por este motivo, sistemas de Realidade Aumentada têm muito a oferecer à área médica. Por exemplo, a localização mais precisa da região a ser operada ou de onde exatamente se encontra um feto no útero pode oferecer uma precisão muito maior do que a atualmente disponível. A questão crucial neste caso é quanto à demanda de registro extremamente acurado: por exemplo, a agulha de uma biópsia terá que chegar de maneira absolutamente correta na região a ser investigada, sob pena de produzir um resultado falso.

Outra área que tem natural interesse pela Realidade Aumentada é a área militar. Em aviões de guerra já são apresentadas informações no pára-brisa da cabine ou em seu capacete de vôo. Num treinamento simulado, pode-se utilizar áreas reais e acrescentar inimigos e construções virtuais, bem como situações perigosas como bombas e incêndios. Em tempo de guerra, as informações adicionais providas através da Realidade Aumentada dariam um diferencial significativo em relação a um inimigo desprovido desta tecnologia.

Um sistema para treinamento simulado possui muitas semelhanças com diversos jogos cujo objetivo é destruir o inimigo. O famoso Quake já deu início, inclusive, uma versão em Realidade Aumentada, o ARQuake [Piekarski 2002]. Os jogos, que são uma área forte da Realidade Virtual, são naturais candidatos à adoção ampla da Realidade Aumentada. Outras atividades de entretenimento, bem como a arte, também oferecem possibilidades inovadoras. Pintura virtual sobre objetos reais, brinquedos de montar que misturam peças reais e virtuais, espetáculos de circo e teatro e brincadeiras de criança poderão gerar novas e instigantes situações. O livro MagicBook [Billinghurst 2001] inclui objetos virtuais na sua história. Mais que isto, seus leitores podem optar por entrar

na opção de Realidade Virtual, imergindo totalmente neste ambiente. A partir daí os demais leitores irão vê-lo, no ambiente da Realidade Aumentada, como um avatar. No esporte, será possível, por exemplo, ver a linha de impedimento de um jogo de futebol ou assistir a uma corrida de carro com dados adicionais sobre os esportistas, velocidade e até batimentos cardíacos.

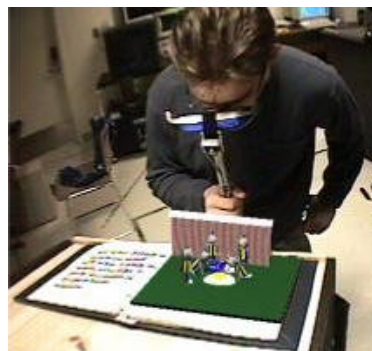
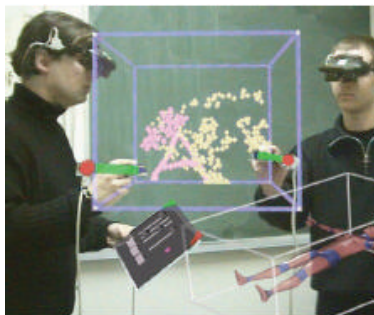
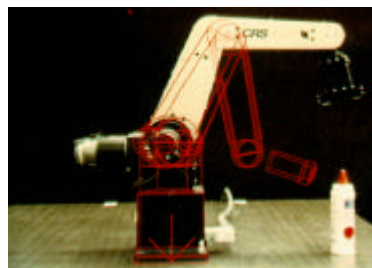
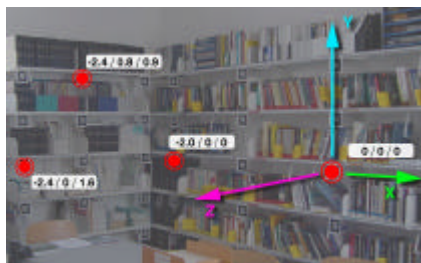
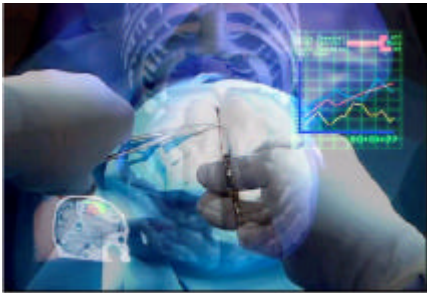
Aplicações já identificadas na área de engenharia, arquitetura e desenho industrial são a construção de CADs 3D de maneira colaborativa. Modificações em prédios e máquinas poderão ser antevistas com estes novos recursos. Na área de instalação e manutenção, operadores podem ser guiados por objetos virtuais que indiquem os próximos passos ou as peças necessárias naquele momento. Manuais de produtos poderão se tornar, finalmente, mais fáceis de serem seguidos. Sistemas de buscas de informações sensíveis a contexto e de navegação em ambientes reais também são aplicações de grande impacto, como será mostrado na seção 4.

Por último, uma área que não deixará de explorar exaustivamente os sistemas de Realidade Aumentada é a do comércio. A inserção de propagandas no espaço urbano através de objetos virtuais será muito mais barata, direcionada e flexível, além de torná-la independente das legislações impostas pelas prefeituras. No setor de vendas, será possível, por exemplo, experimentar móveis na sua própria casa, vestir virtualmente uma roupa ou experimentar um corte de cabelo novo antes de fazê-lo.

Um bom ponto de partida para conhecer os sistemas que vêm sendo pesquisados nesta área é no site do StudierStube [StudierStube], uma plataforma de desenvolvimento usada em muitos projetos. As figuras na última página deste trabalho ilustram alguns deles. Observa-se, portanto, que as aplicações possíveis são inúmeras mas, conforme será visto na próxima seção, a tecnologia necessária para os sistemas de Realidade Virtual funcionarem em larga escala não é simples e ainda se encontra em fase experimental.

Ilustrações

As figuras a seguir ilustram as potencialidades da Realidade Aumentada em diversos campos de atuação. Com exceção do ARQuake, as figuras foram obtidas através do site do StudierStube.



3. Tecnologias

Os sistemas de Realidade Aumentada deram origem ao desenvolvimento e aprimoramento de algumas tecnologias identificadas como necessárias para atender as suas características particulares. De acordo com Vallino [Vallino 1998], duas áreas em que os pesquisadores focaram seus estudos foram no desenvolvimento de dispositivos de apresentação que combinassem os objetos reais e virtuais e no estudo de soluções para melhorar a precisão do registro. O problema do registro diz respeito à necessidade que se tem, na Realidade Aumentada, de alinhar precisamente os objetos virtuais sobre os objetos reais. Estas duas tecnologias, que se configuram como desafios nesta área de estudo, serão abordadas nas próximas seções.

3.1 Dispositivos de Apresentação

A combinação de objetos virtuais e reais numa única imagem é uma decisão significativa no desenvolvimento de um sistema de Realidade Aumentada. Inicialmente, duas tecnologias foram desenvolvidas: a ótica e a de vídeo. A primeira proporciona maior nível de imersão no mundo real por permitir que o usuário o veja diretamente, sem equipamentos intermediários. Já no caso da tecnologia de vídeo, o usuário vê a Realidade Aumentada através de uma imagem de vídeo através de diversos tipos de equipamentos. Mais recentemente, uma nova tecnologia, a de projeção, tem sido estudada. Neste caso, os objetos virtuais são projetados diretamente nos objetos do mundo real.

Na tecnologia video-through, a configuração mais simples (figura 2) utiliza um monitor comum ou um PDA (figura 3) através do qual a cena aumentada pode ser visualizada. Neste caso, uma câmera, estática ou em movimento, captura as cenas do mundo real. Esta câmera tem sobre ela um rastreador, responsável por informar ao gerador de cenas sua posição e orientação o que, por sua vez, irá determinar qual é a imagem que está sendo vista pela câmera. De posse desta informação, o gerador de cenas renderiza os objetos adequados àquela visão do mundo real e os entrega a um combinador, que realiza efetivamente a mistura das imagens e as transmite para o monitor. No caso de se querer ter noção de profundidade, serão necessárias 2 câmeras e o usuário deverá usar um óculos estereoscópico.

Esta configuração, seja com monitor ou com um PDA, não provê um senso grande de imersão: o aumento de realidade se dá apenas nos limites do monitor e, à volta do usuário, uma outra cena do mundo real pode estar sendo vista. Um dispositivo que provê maior imersão é o capacete do tipo video-through HWD. A configuração (figura 4) é semelhante a do monitor mas, neste caso, a câmera, montada sobre o capacete, captura a imagem que está sendo vista pelo usuário. O usuário vê o mundo aumentado através de monitores posicionados na sua linha de visão que estão continuamente recebendo a imagem combinada fornecida pelo compositor de vídeo.

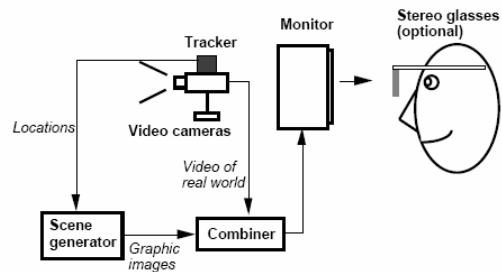


Figura 2 – Tecnologia de vídeo: configuração com monitor ou PDA [Azuma 1997]



Figura 3 – Monitor e PDA como dispositivos de apresentação

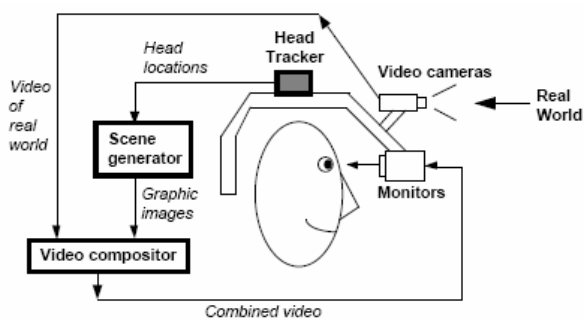


Figura 4 – Tecnologia de vídeo: (a) configuração com HWM (b) HWM [Azuma 1997]

Outro tipo de capacete é see-through HWM que utiliza a tecnologia ótica (figura 5). Nos capacetes deste tipo, o usuário vê a realidade aumentada através de uma lente posicionada em ângulo em relação à visão dele. Esta lente é semi-transparente, deixando passar a imagem do mundo real, e semi-reflexiva, para refletir as imagens virtuais que são projetadas sobre ela por um monitor. Para saber que imagens virtuais devem ser apresentadas, o gerador de cenas recebe os dados de posicionamento e orientação coletados por rastreadores no capacete, da mesma forma que no capacete do tipo video-through. É interessante observar que, neste caso, a combinação das imagens é feita diretamente pelo próprio sistema ótico do usuário.

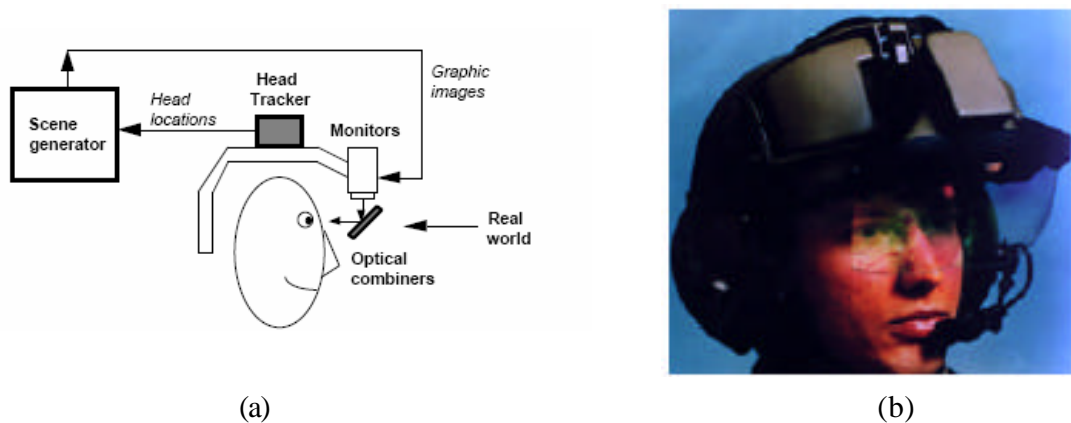


Figura 5 – Tecnologia ótica: (a) configuração com HWM
(b) HWM [Azuma 1997]

Convém neste ponto fazer uma breve comparação entre os capacetes dos tipos see-through e video-through. Em primeiro lugar, na tecnologia video-through, há necessariamente o delay correspondente ao tempo de um frame para que se possa capturar a imagem do mundo real, misturá-la e apresentá-la ao usuário. Este tempo, tipicamente de 33ms, pode ser usado para compensar atrasos que ocorram, por exemplo, na geração da imagem virtual em relação à captura da real ou vice-versa. No caso da tecnologia see-through, isto não ocorre, pois o usuário vê o mundo real diretamente e a combinação das imagens só é feita no sistema ótico do usuário.

Outro ponto importante a ser observado é que na tecnologia de vídeo a imagem da cena real está sempre sendo capturada pela câmera. Esta imagem, conforme será discutido na próxima seção, poderá ser aproveitada para fins de registro. Tal aproveitamento não pode ser feito com a tecnologia ótica, a menos que se tenha o custo adicional de inserir uma câmera no capacete.

Ainda outras questões a serem observados são quanto à opacidade, resolução e brilho. Na tecnologia ótica, não há como prover opacidade completa, pois a lente sempre deixa passar a luz vinda do mundo real. As imagens virtuais sempre aparecem sobrepostas à imagem real e com aspecto de objeto transparente, como um “fantasma”. Também não há como suprimir as imagens reais para obter-se a Realidade Mediada. Em

relação à resolução, a tecnologia de vídeo limita a resolução à máxima com a qual o sistema pode trabalhar, tanto para imagens reais quanto virtuais. No caso ótico, a cena real nunca sofrerá diminuição de resolução. Já o brilho pode ser melhor trabalhado na tecnologia de vídeo. Neste caso o gerador de cenas tem informação sobre a luminosidade da cena real e pode ajustar o brilho dos objetos virtuais. Isto é um problema na tecnologia ótica, pois o olho humano é capaz de ver mesmo com uma variação muito grande da luz do ambiente, o que pode prejudicar a visão dos objetos virtuais sobre os reais se o brilho destes for muito diferente dos da cena real.

No caso das tecnologias de projeção, conforme mencionado anteriormente, os objetos virtuais são projetados diretamente sobre objetos do mundo real (figura 6). Na configuração mais simples, os objetos virtuais e reais são co-planares. Quando as superfícies são irregulares, são utilizados múltiplos projetores cujas projeções são parcialmente sobrepostas.

Outra possibilidade é o uso de capacetes-projetores combinados a uma preparação prévia dos objetos sobre os quais a projeção será feita. Estes objetos são pintados com um material retrorreflexivo, que reflete o raio luminoso na direção do ângulo de incidência. Algumas características desta configuração são, em primeiro lugar, a de que objetos que se interpõem na frente dos objetos preparados impedem a projeção e obscurecem os objetos virtuais. Outra característica é a de que cada usuário pode ver, sobre o mesmo objeto real, objetos virtuais diferentes. Não há mistura de projeções porque a reflexão só ocorre na direção do ângulo de incidência, isto é, na direção do usuário que o projetou. Uma terceira característica desta solução é que ela pode proporcionar a realidade mediada: para isto, o objeto que deve ser suprimido da realidade deve ser preparado e, sobre ele, deve ser projetada a figura de outro objeto.



Figura 6 – Tecnologias de projeção

3.2 Registro

O registro, ou o alinhamento dos objetos virtuais com a cena real, é feito com o auxílio de rastreadores. A fim de compreender bem este relacionamento, é interessante seguir todos os passos deste processo. O problema é saber em que posição e com qual orientação os objetos virtuais deverão ser colocados em relação à cena real. Para conhecer este posicionamento, é necessário relacionar as coordenadas dos objetos virtuais e com as da cena real. Portanto, também é necessário saber qual é a posição e orientação da cena que está sendo vista pelo usuário. Para isto, é preciso conhecer a posição e a orientação da cabeça do usuário. E, finalmente, para obter esta informação, os equipamentos rastreadores devem ser usados.

Existem vários tipos de rastreadores, tais como mecânico, magnético, ultrassônico, inercial e ótico. Uma vez que cada um destes tipos possui pontos fracos [Bishop 2001], várias pesquisas têm utilizado uma solução híbrida, combinando dois tipos de rastreadores no capacete do usuário. Outra solução adotada para identificar a posição, especialmente nas pesquisas de Realidade Aumentada em ambiente externo, é o uso de sistemas de GPS em combinação com outro tipo de rastreador que determina a orientação.

Uma opção interessante para o rastreamento é o aproveitamento das imagens capturadas pelas câmeras dos dispositivos de apresentação. Através de padrões visuais colocados no ambiente, denominados marcadores ou fiducials (figura 7), o sistema pode reconhecer a posição e orientação do usuário. A imagem capturada é analisada na busca de um conjunto de padrões, onde cada padrão está associado a uma localização diferente em uma determinada área. No caso de tecnologia ótica, uma câmera deve ser adicionada.



Figura 7 – Exemplos de marcadores

O registro, ou o alinhamento dos objetos virtuais com a cena real, é um problema crucial em sistemas de RA. Objetos mal posicionados dão a impressão de estarem “boiando” ou de sumirem atrás de outros objetos (figura 8). O problema do registro ocorre porque o olho humano é capaz de perceber inconsistências sutis no alinhamento dos objetos virtuais em relação aos reais. A diferença de um pixel pode ser percebida, bem como variações menores que um minuto de arco [Vallino 1998]. Este registro acurado não é tão necessário na Realidade Virtual, pois neste caso não há contato com o mundo externo para que comparações visuais sejam feitas. Por exemplo, se o usuário levanta a mão à sua frente, um pequeno erro de posicionamento da mão virtual correspondente será ignorado pelo usuário. O homem, diante de conflitos entre o que ele sente de seu movimento, peso ou tensão e o que ele vê (chamados conflitos visual-cinético e visual-proprioceptivo), optará por dar crédito à visão. Na Realidade Aumentada, seguindo o mesmo exemplo, a mão virtual sobreposta erradamente sobre a mão real seria facilmente percebida, pois ele confia nas duas imagens e não sabe por qual delas optar.

No entanto, é importante observar que o desconforto visual causado pelo alinhamento incorreto é um problema menor quando comparado a outros. A registro acurado se torna ainda mais grave quando sistemas que demandam alta precisão forem usados na prática, como por exemplo, para furar peças de mecânica fina ou para guiar exames e cirurgias.



Figura 8 – Efeitos de um mau registro: objeto virtual se sobrepõe ao objeto real

Esta necessidade de tão alta de precisão esbarra, entretanto, na existência de várias fontes causadoras de erros de registro. Estas fontes de erro podem ser de dois tipos: as estáticas, isto é, as que causam erros mesmo quando a cena vista pelo usuário e todos os seus objetos estão parados, e as dinâmicas, cujo efeito só é sentido quando o ponto de vista do usuário se altera ou quando os objetos começam a se mover. Exemplos de erros estáticos são a distorção ótica de lentes e câmeras e o desalinhamento mecânico, por exemplo, dos componentes de um capacete.

A principal fonte de erro de registro, no entanto, é dinâmica. Ela refere-se ao atraso fim-a-fim do sistema, isto é, o tempo que leva entre o sistema de rastreamento medir a posição e orientação do ponto de vista do usuário e o momento em que a imagem combinada final correspondente é apresentada. Esta fonte de erro não é desprezível, ao contrário, é responsável por uma parcela superior à provocada por todas as demais fontes

(Holloway, citado em Azuma [2001]). Normalmente, adota-se como regra que 1ms de atraso causa 1mm de erro. Algumas técnicas para diminuir o atraso fim-a-fim são otimizar um ou mais passos do ciclo, prever o próximo ponto de vista ou trabalhar com imagens maiores do que as exibidas para o usuário, a fim de obter prontamente as imagens próximas às bordas que aparecerão na cena seguinte.

Por último, é importante observar que, em ambientes internos e previamente preparados, vários sistemas apresentam um excelente registro, embora outros ainda precisem de avanços no rastreamento e calibração. No entanto, em ambientes externos a questão ainda é vista como um desafio. Na maioria das vezes, não é possível colocar marcadores em ambientes abertos, muitas vezes públicos. O uso de GPS não fornece a precisão tão apurada e necessita de visada direta com os satélites. Quando isto não pode ser feito, outro tipo de rastreador deve entrar em operação. Uma solução que vem sendo adotada é a de rastrear objetos da cena real previamente conhecidos e que não se movem, como horizonte, morros e prédios. Mas, no caso mais geral de o ambiente ser desconhecido, esta técnica não pode ser usada. Ainda outras questões a serem estudadas são a de rastrear objetos que se movem no ambiente e conseguir rastreamentos de maior alcance, tal que informações de profundidade possam ser usadas para a colocação dos objetos virtuais na frente ou atrás dos objetos reais.

4. Projetos

Entre as várias pesquisas que vêm sendo feitas, uma parte delas começa a associar duas outras áreas à Realidade Aumentada: a de Computação Móvel e a de Colaboração. Sistemas que integram aspectos e características destas 3 áreas passam a oferecer a seus usuários recursos não apenas inovadores, mas também bastante poderosos.

A Computação Móvel e a Realidade Aumentada têm uma ligação estreita e várias pesquisas já fazem uso desta combinação. Em particular, um item sempre ressaltado é o de que esta interface (a Realidade Aumentada) é particularmente poderosa para aplicações sensíveis à localização. Ao observar que o usuário vê a informação eletrônica no próprio local, ancorada ao mundo físico, e com possibilidade de interagir e modificar esta camada virtual, Höllerer [Höllerer 1999] chega a afirmar que “o mundo se torna a interface”.

No caso da Colaboração integrada à Realidade aumentada, as pesquisas têm sido direcionadas para 2 tópicos: a integração suave com ferramentas e práticas já existentes e a melhoria na colaboração entre usuários locais e remotos. Com a Realidade Aumentada, usuários no mesmo local podem compartilhar objetos reais e virtuais num espaço comum. Esta é uma maneira mais natural do que no caso de groupwares tradicionais, cuja colaboração é efetivada quando os usuários e suas ferramentas se “isolam” nos seus respectivos computadores. Deve-se lembrar ainda que, em groupware, é comum ter-se 2 áreas de trabalho, a particular e a do grupo. Por outro lado, um problema já identificado, portanto, é o de garantir que os diferentes usuários tenham um entendimento comum do que eles estão percebendo e que conflitos (dois objetos virtuais ocupando o mesmo espaço) sejam evitados.

Nas próximas seções, serão descritos 2 sistemas de Colaboração Móvel com Realidade Aumentada. Ambos têm finalidades comuns: são sistemas de navegação e de busca de informação sensível à localização.

4.1 MARS - Mobile Augmented Reality Systems

O projeto MARS - Mobile Augmented Reality Systems é um sistema de informações da Universidade de Columbia, nos EUA [MARS]. Sua abrangência está limitada pelo alcance do sistema de GPS, da rede wireless e do modelo 3D do campus. Os objetivos principais deste projeto foram os de testar as necessidades do usuário em sistemas sensíveis a contexto, verificar como ocorria a colaboração em ambientes computacionais diferentes, explorar tipos de interface para interagir com um hiperdocumento “especializado” e trabalhar com interfaces híbridas de dispositivos de apresentação.

Este sistema experimental iniciou-se com o projeto Touring Machine [Feiner 1997], que, em 1996, foi o pioneiro em ambiente externo. Nesta primeira etapa, ele oferecia a seus usuários um guia de localização e de consulta sobre pontos de interesse do campus. Além de uma interface de menus e textos no visor, um PDA acrescentava informações mais detalhadas sobre o que o usuário tivesse selecionando no momento. Na fase seguinte, denominada Mobile’s Journalist Workstation [Höllerer 1999a], o projeto passou incluir informação multimídia através de documentários históricos localizados, a apresentação de um modelo simplificado de prédios já demolidos e o passeio pelo famoso sistema de túneis que não mais fisicamente acessível. Na terceira etapa, denominada UI’s for Indoor/Outdoor Collaboration [Höllerer 1999b], foram implementados serviços de navegação e de colaboração.

Usuários *outdoor* e *indoor* colaboram entre si através das seguintes funcionalidades:

- o usuário *outdoor* pode ser monitorado e guiado através de usuários experts remotos *indoor*;
- o usuário *outdoor* relata suas impressões ao expert;
- o usuário *indoor* cria, edita e associa informações a objetos reais;
- o usuário *indoor* tem acesso ao log de atividades dos usuários *outdoor*. Este usuário indoor pode ser o próprio usuário, que revê, num momento posterior, os caminhos por onde ele passou.

Vários tipos de interface com o sistema estão disponíveis. O usuário *outdoor* veste uma mochila composta de um notebook com acelerador gráfico 3D e placa de rede wireless, um capacete see-through e hear-through, um sistema de GPS para localização e rastreadores do tipo inercial/magnético para orientação (figura 9). O notebook recebe informação contínua do GPS, gera o gráfico 3D e o apresenta no visor. O usuário também dispõe de um PDA com trackpad que se comunica com o notebook para cruzamento de informações. Este PDA pode funcionar, alternativamente, como um servidor HTTP.



Figura 9 – Equipamentos utilizados pelo usuário *outdoor*

Já o usuário *indoor* utiliza um monitor padrão ou um sistema de projeção. Ainda outra opção de operar com o sistema é a do “usuário imersivo *indoor*”, que dispõe de um capacete see-through com rastreador ultrassônico e inercial 6DOF para cabeça e mãos. Esta opção de simulação é importante como plataforma de teste, evitando que, durante o desenvolvimento, uma pessoa tenha que ser alocada para simular externamente todas as operações. O sistema possui ainda um banco de dados relacional SQLServer para o modelo do ambiente real e virtual. Também utiliza uma plataforma de desenvolvimento com JAVA/JAVA3D para as interfaces desktop e imersiva e para interface com o banco de dados. Uma segunda plataforma de desenvolvimento, denominada Coterie [Coterie], foi desenvolvida pela equipe. Esta plataforma oferece um ambiente de prototipagem rápida para desenvolvimento de ambientes virtuais distribuídos e é usada para a interface *outdoor* e a sua simulação *indoor*.

Em relação à interface que é apresentada ao usuário *outdoor*, a figura 10 mostra algumas imagens vistas através do capacete. Sobre os prédios e monumentos é mostrado um texto informando seu nome. A proximidade com o centro torna o texto mais brilhante e a permanência neste ponto faz com que aquela construção seja selecionada. Neste caso, informações adicionais, como o nome dos departamentos localizadas no prédio, serão apresentadas. As setas apontam para os objetos selecionados, enquanto as bandeiras representam nós com informações. Estas bandeiras estão referenciadas com mundo, isto é, são sempre vistas no mesmo local no mundo real. Menus são referenciados com a cabeça do usuário, pois acompanham seu movimento. Alguns objetos, como a linha que liga o menu à bandeira, estão referenciadas com o mundo (no lado da bandeira) e com o usuário (no lado do menu). Através dos PDAs, o usuário revê sua posição e objetos selecionados.



Figura 10 – Imagens vistas pelo usuário *outdoor* através do HWD see-through

O usuário *indoor* pode ver o mesmo objeto de formas diferentes, como mostrado na figura 11a. Através de um menu principal no desktop, o usuário pode criar objetos, como bandeiras ou caminhos (figura 11b), deletá-los ou buscar informações sobre eles. O MARS Authoring Tool [Güven 2003], uma ferramenta com interface gráfica 3D para auxiliar não programadores a criar e editar os “documentários localizados” também teve que ser criada pela equipe.



Figura 11 – (a) Aspectos da interface vista pelo usuário *indoor* (b) Caminho traçado pelo usuário indoor para guiar o usuário *outdoor*

A complexidade de um sistema como este não é pequena, já que desafios em diversas áreas de pesquisa têm que ser vencidos. O projeto MARS apresentou uma série de soluções para uma aplicação colaborativa que oferecia um serviço de busca de informações e de navegação em um ambiente real. Uma abordagem diferente para o mesmo problema será mostrada no projeto a seguir.

4.2 OCAR - Outdoor Collaborative Augmented Reality

O OCAR, desenvolvido na Universidade de Tecnologia de Viena, Áustria, é um sistema de navegação no espaço urbano [Reitmayr 2004]. Assim como o MARS, este projeto também adota funcionalidades que apóiam a colaboração e enfatiza o potencial da Realidade Aumentada quando usada para informações sensíveis à localização. Neste contexto, foi identificado que uma aplicação voltada para turistas, que desconhecem o ambiente e, ao mesmo tempo, estão curiosos para conhecê-lo, seria um ponto de partida bastante adequado para testar serviços baseados em localização e colaboração.

O ambiente real escolhido para o sistema foi a região de uma praça de Viena com diversos pontos turísticos e com caminhos relativamente difíceis em seus arredores. O local mostrou-se útil por ser aberto o suficiente para a recepção de sinais de GPS. Para navegar neste ambiente, o OCAR oferece 3 aplicações integradas: busca de informações, anotações e navegação.

Os usuários do OCAR dispõem de uma mochila composta por um notebook 2Ghz com acelerador gráfico, placa de rede wireless e Windows XP e um GPS diferencial (figura 12). O capacete é do tipo see-through HWD estereoscópico e tem a ele acoplado um sensor de orientação e uma câmera para rastreamento. O terceiro equipamento para interação é um touchpad acoplado ao cinto ou um PDA.



Figura 12: Equipamentos utilizados pelo usuário do OCAR

A interface do sistema OCAR usa objetos gráficos, texto, imagens e objetos 3D para prover informação abstrata e representação alternativa ou para enfatizar aspectos do mundo real. Por exemplo, um modelo de arame de objetos reais pode ser superposto a eles, facilitando a visualização e interação do usuário com o ambiente que ele está explorando. Através do controle via touchpad ou PDA, ele opta entre os serviços de busca de informações, anotação e navegação.

Na primeira destas aplicações, ícones virtuais sinalizam a existência informações (figura 13a). O usuário, para selecionar um ponto de seu interesse, sobrepõe seu ícone com outro com o formato de um “x” (figura 13b). Pode-se selecionar um grupo de ícones, ao invés de um único. Em termos de colaboração, o usuário pode compartilhar sua seleção de tópicos com os outros ou disparar a informação que ele vê no visor dos

outros usuários, alertando-o para um determinado ponto. Outra funcionalidade interessante é que guias podem controlar a seleção de pontos de interesse de um grupo de turistas.

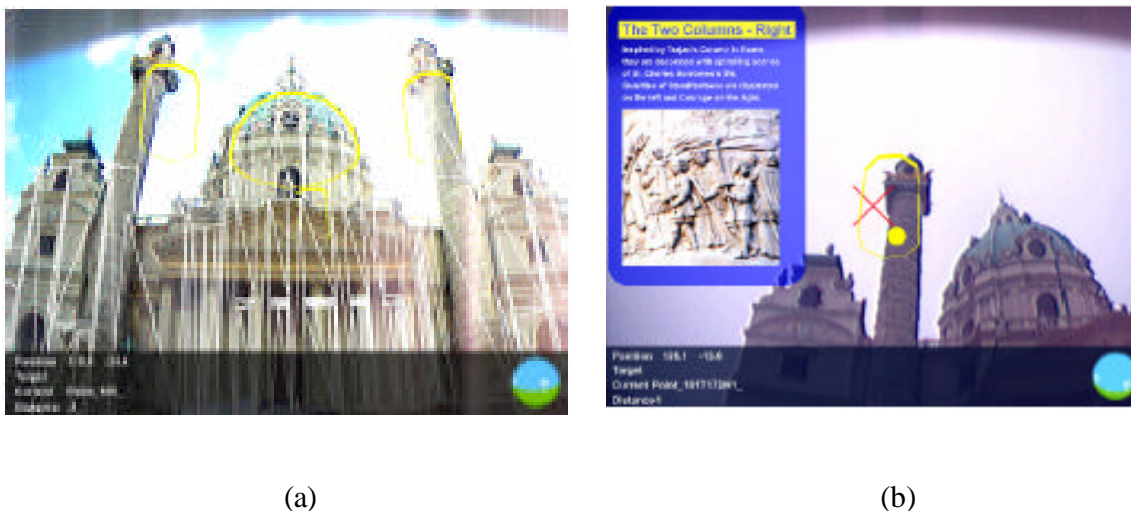


Figura 13 – OCAR: (a) Modelo de arames da construção e pontos de interesse
(b) Seleção de um ponto de interesse e apresentação das respectivas informações

Já na aplicação de anotação, os usuários podem colocar ícones virtuais nas construções, escolhendo formas e cores diferentes (figura 14a). Também podem compartilhar estes ícones entre si, motivo pelo qual cada ícone recebe o nome do seu criador. Outra funcionalidade de colaboração é a possibilidade de utilizar estas anotações para apontar pontos de interesse comuns para outros usuários.



Figura x – OCAR: (a) Ícones de anotações criadas pelo usuário (b) Barras e linhas indicando caminhos

A terceira aplicação do OCAR é aquela que auxilia seu usuário a chegar a um determinado destino. Uma vez que este destino tenha sido selecionado, o sistema calcula

o menor caminho e o indica através de barras e setas (figura 14b). Este cálculo é refeito continuamente, para o caso de o usuário se perder ou sair deliberadamente do caminho. Outro detalhe importante é que a direção a ser seguida pode estar fora do campo de visão do usuário, motivo pelo qual uma informação adicional guiando-o foi implementada. Quanto aos serviços de colaboração, três recursos são oferecidos: follow, guide e meet. No modo follow, um usuário pode seguir um segundo usuário. Neste caso, o sistema informa sempre o ponto mais próximo do usuário a ser seguido. No modo guide, um usuário seleciona um destino a ser seguido por outro usuário, sendo útil para guias de excursão controlarem um grupo de turistas. Por último, no modo meet, o sistema calcula o menor caminho para que 2 usuários se encontrem e os guia até este ponto.

O desenvolvimento do projeto OCAR teve como base o StudierStube [StudierStube], uma plataforma de software usada para o desenvolvimento de aplicações AR. Esta plataforma provê um ambiente multi-usuário e multi-tarefa e suporta uma grande variedade de dispositivos de apresentação. Também suporta rastreamento 6DOF, através de um middleware chamado OpenTracker [OpenTracker] e inclui extensões do OpenInventor [OpenInventor], um toolkit 3D orientado a objeto que oferece soluções para problemas de programação gráfica interativa. A plataforma possibilita ainda que mudanças numa parte da cena sejam comunicadas a outras instâncias da aplicação de maneira transparente para o programador. Estes recursos fazem com que o StudierStube seja uma plataforma utilizada por um número bastante grande de projetos na área de Realidade Aumentada.

É interessante observar que o sistema necessita de informação detalhada do ambiente do usuário: representação geométrica, elementos contextuais e de semântica. Para gerenciar os dados, foi criado um modelo de dados referenciados pela localização. O sistema utiliza um banco de dados XML de tal forma que o modelo seja comum às várias aplicações. A arquitetura é feita em 3 camadas: a primeira é a própria base de dados com todo o modelo, a segunda, um middleware entre a primeira camada e a terceira, que corresponde à aplicação propriamente dita. Desta forma, cada uma das 3 aplicações tratará apenas as informações que lhe são necessárias e da forma que lhe é mais apropriada.

O resultado deste trabalho mostrou que a importância da utilização da plataforma StudierStube bem como a necessidade de melhorar o rastreamento da posição do usuário feita com o GPS. Em relação à colaboração, os testes mostraram que as funcionalidades colaborativas acrescentaram uma nova dimensão ao sistema, enriquecendo-o. Além disto, a utilização integrada da base de dados pelas 3 diferentes aplicações mostrou-se capaz de prover escalabilidade para lidar com sistemas de informações sensíveis à localização em ambientes externos.

Conclusão

A Realidade Aumentada é uma área ainda muito recente e várias questões ainda devem ser trabalhadas a fim de que comecem a ser usadas fora do ambiente acadêmico. As pesquisas nas questões tecnológicas mais básicas, a dos dispositivos de apresentação e a da precisão do registro, tiveram um avanço significativo, mas ainda insuficiente para muitas aplicações. Alguns tipos de sistemas, no entanto, já conseguem bons resultados, como o projeto Invisible Train [Invisible Train], que utiliza PDAs como dispositivos de apresentação. A existência de projetos já neste estágio permitiram que pesquisas em áreas de mais alto nível começassem a ser feitas.

Em relação aos dispositivos de apresentação, estes devem melhorar a qualidade visual, diminuir o consumo de bateria e serem mais confortáveis, leves, baratos e discretos, sob pena de não serem utilizados. Ao mesmo tempo, os dispositivos móveis como os PDAs devem ser capazes de suportar softwares mais complexos do que os que estão disponíveis comercialmente.

No que diz respeito à precisão de registro, pesquisas em ambientes internos preparados já produzem resultados satisfatórios. O maior problema de hardware de um sistema de Realidade Aumentada genérico, no entanto, continua sendo a demanda de alta precisão e a necessidade de se ter uma ampla disponibilidade de rastrear a localização dos usuários [Insley 2003]. A impossibilidade de colocação de marcadores em locais amplos e públicos e o pequeno alcance dos rastreadores são dificuldades impostas aos sistemas em ambientes externos.

Entre os problemas de mais alto nível que começam a ser estudados, estão aqueles relativos aos tipos de interface adequadas para o usuário, à maior diversidade de dispositivos, à representação dos dados, à possibilidade de fazer consultas e obter respostas, à sobrecarga de objetos virtuais no mundo real, ao rendering foto-jornalístico e ao conforto do usuário. Outras questões ainda não mencionadas que também devem ser alvo de pesquisa são a localização adequada das fontes de dados, o tratamento dos diversos tipos de conteúdo e à filtragem das informações [Insley 2003].

A Computação Móvel tem sido amplamente utilizada nos projetos de Realidade Virtual como parte da infra-estrutura do sistema. Por enquanto, a tecnologia wireless atual parece ser satisfatória, mas esta situação deverá ser diferente no caso de aplicações que demandam informações localizadas numa rede e não no equipamento móvel. Neste caso, haverá dependência do acesso a recursos de rede, o que pode introduzir atrasos significativos e proibitivos. Outro aspecto da Computação Móvel introduzido nos sistemas de Realidade Aumentada é o das aplicações sensíveis à localização, identificadas como de grande potencial. Estes sistemas podem significar o início do WorldBoard proposto por Spohrer [Spohrer 1997]: um hipertexto espacial, com abrangência mundial, de informações ancoradas a locais e objetos físicos.

O desenvolvimento de um software para um grupo de usuários, por si só, já acrescenta uma série de dificuldades ao desenvolvimento de um software mono-usuário. Um groupware com Realidade Aumentada é um grau a mais de complexidade. Conforme já mencionado, as pesquisas nesta área vão na direção de buscar uma integração suave com as ferramentas e práticas já existentes e na melhoria da colaboração entre usuários locais e remotos. Aspectos de interface, compartilhamento e colisão de objetos virtuais e privacidade são outros pontos a serem estudados.

Azuma [Azuma 2001] afirma que, dado um sistema com hardware ideal e uma interface intuitiva, há ainda o desafio da aceitação social. Outra questão a ser lembrada é que, mais uma vez, o acesso às novas tecnologias será desigual e aumentará a distância entre aqueles que podem se beneficiar com as novas ferramentas e os que ainda lutam por recursos básicos de sobrevivência. De qualquer forma, as vantagens de se adotar esta tecnologia é evidente, pois seu potencial de gerar benefícios é bastante alto. Mais que isto, suas características são únicas, no sentido de que não podem ser obtidas com nenhuma outra tecnologia atualmente existente.

Referências Bibliográficas

Observação: As figuras do trabalho foram obtidas dos artigos citados na referência. Os esquemas de tecnologia ótica e de vídeo são de Azuma [1997].

[ARToolKit] ARToolKit - www.hitl.washington.edu/artoolkit/

[Piekarski 2002] Piekarski, W. e Thomas, B. “ARQuake: The Outdoor Augmented Reality Gaming System”, Communications of the ACM, 2002 Vol 45. No 1, pp 36-38, disponível em <http://wearables.unisa.edu.au/projects/ARQuake/www/papers/piekarski-acm-comms-2002.pdf>

[Azuma 1997] Azuma, Ronald T. “A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments” 6, 4 (Agosto 1997), 355 - 385. Versão anterior foi apresentada em Course Notes #9: Developing Advanced Virtual Reality Applications, ACM SIGGRAPH '95 (Los Angeles, CA, 6-11 Agosto 1995), 20-1 a 20-38, disponível em <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>

[Azuma 2001] Azuma, R. Baillot, Y, Behringer, R, Feiner, S, Julier, S. MacIntyre, B. “Recent Advances in Augmented Reality”. IEEE Computer Graphics and Applications 21, 6 (Novembro/Dezembro 2001), disponível em www.cs.unc.edu/~azuma/cga2001.pdf

[Billinghurst 2001] Billinghurst M., Kato, M., Billinghurst, M., Poupyrev, I. “The MagicBook: Moving Seamlessly between Reality and Virtuality” No IEEE Computer Graphics and Applications, maio/junho, 2001, pp. 2-4, disponível em www.hitl.washington.edu/research/shared_space/download/papers/cgaMay2001.pdf

[Bishop 2001] Bishop, G. e Allen, B. D. “Tracking: Beyond 15 Minutes of Thought”, Course 11, SIGGRAPH 2001, agosto de 2001, Los Angeles, EUA

[Coterie] Coterie - <http://www1.cs.columbia.edu/graphics/projects/coterie/>

[Feiner 1997] Feiner S., MacIntyre B., Höllerer, T. e Webster T., “A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment.” Proc. ISWC '97, outubro de 1997, Cambridge, USA, disponível em www1.cs.columbia.edu/graphics/publications/iswc97.pdf

[Güven 2003] Güven S. e Feiner S. “Authoring 3D Hypermedia for Wearable Augmented and Virtual Reality”, Proc. ISWC '03 (Seventh International Symposium on Wearable Computers), White Plains, NY, outubro de 2003, 118-226. Disponível em <http://www1.cs.columbia.edu/graphics/people/sinem/papers/Authoring-ISWC2003/S.Guven-ISWC2003.pdf>

[Höllerer 1999a] Höllerer T., Feiner S., Pavlik J. “Situated Documentaries: Embedding Multimedia Presentations in the Real World”, Proc. ISWC '99 (Third Int. Symp. on

Wearable Computers), San Francisco, EUA, outubro de 1999, 79-86, disponível em <http://www1.cs.columbia.edu/graphics/publications/iswc99.pdf>

[Höllerer 1999b] Höllerer T., Feiner S., Terauchi T., Rashid, G. Hallaway, D. "Exploring MARS: Developing Indoor and Outdoor User Interfaces to a Mobile Augmented Reality System", In: Computers and Graphics, 23(6), Elsevier Publishers, dezembro de 1999, pp. 779-785, disponível em www1.cs.columbia.edu/graphics/publications/hollerer-1999-candg.pdf

[Insley 2003] Insley, S. "Obstacles to general purpose augmented reality", ECE 399H, Information Security & Cryptography, Oregon, EUA, dezembro de 2003, disponível em <http://islab.oregonstate.edu/koc/ece399/f03/final/insley2.pdf>

[StudierStuber Proj] http://www.studierstube.org/research_master.php

[MARS] MARS - <http://www1.cs.columbia.edu/graphics/projects/mars>

[Milgram 1994] Milgram, P. and F. Kishino (1994). "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays." IEICE Transactions on Information Systems, Vol E77-D, No.12 December 1994. Disponível em http://vered.rose.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html

[Neto 2004] Neto, R. A. A. E, "Arquitetura digital - a realidade virtual, suas aplicações e possibilidades". Tese de Mestrado em Ciências Em Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Maio de 2004, disponível em www.coc.ufrj.br/teses/mestrado/inter/2004/Teses/NETO_RAE_04_t_M_int.pdf

[Netto 2002] Netto, A. V., Machado, L. S. M, Oliveira, M. C. F. "Realidade Virtual - Definições, Dispositivos e Aplicações", disponível em www.di.ufpb.br/liliane/publicacoes/reic2002.pdf

[OpenTracker] OpenTracker <http://www.studierstube.org/opentracker/>

[OpenInventor] OpenInventor <http://www.studierstube.org/openinventor/>

[Reitmayr 2004] G. Reitmayr, D. Schmalstieg "Collaborative Augmented Reality for Outdoor Navigation and Information Browsing" Proc. Symposium Location Based Services and TeleCartography 2004 Vienna, Austria, Jan. 2004, disponível em www.ims.tuwien.ac.at/media/documents/publications/reitmayrlbs2004.pdf

[Robinett 1992] Robinett, Warren, "Synthetic Experience: A Proposed Taxonomy," Presence, Vol. 1, No. 2, Spring 1992.

[Santos] Santos, E. T. et al. "Estado da arte e a pesquisa na USP", 15º. Simpósio de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, São Paulo, dezembro de 2001. Disponível em <http://docentes.pcc.usp.br/toledo/pdf/1341.pdf>

[Spohrer] Spohrer, J. “What comes after the WWW?”, ISITalk 1997
<http://www.worldboard.org/pub/spohrer/wbconcept/default.html>

[StudierStuber] <http://www.studierstube.org/index.html>

[StudierStuber Proj] http://www.studierstube.org/research_master.php

[Invisible Train] Invisible Train - http://studierstube.org/invisible_train/

[Vallino 1998] Vallino, J. “Interactive Augmented Reality,” Ph.D. Thesis, Department of Computer Science, University of Rochester, Rochester, NY, April 1998. Apresentação resumida disponível em www.se.rit.edu/~jrv/research/ar/introduction.html