

Hardware para colaboração

Celso Massaki Hirata
Carla Diacui Medeiros Berkenbrock
Mauro Carlos Pichiliani

META

Apresentar tecnologias, características e requisitos relacionados ao hardware usado para apoiar a colaboração.

OBJETIVOS EDUCACIONAIS

Após o estudo desse capítulo, você deverá ser capaz de:

- Avaliar qualitativamente o hardware usado em sistemas colaborativos.
- Especificar dispositivos e recursos de hardware para ambientes de colaboração.
- Identificar requisitos de sistemas com relação ao hardware usado como infraestrutura para colaboração.

RESUMO

Neste capítulo são apresentados dispositivos de hardware para colaboração, especialmente hardware para colaboração tangível e dispositivos móveis e ubíquos. O hardware para colaboração tangível, como rastreador ocular, interfaces hápticas e mesas multitoque, possibilita uma interação rica com o sistema colaborativo. Dispositivos móveis e ubíquos, como celulares e sensores, tornam os sistemas colaborativos acessíveis de qualquer lugar e apoiam a realização de tarefas em grupo, como o controle de acesso, o gerenciamento de sessão e o monitoramento. O uso desses dispositivos é exemplificado em ambientes virtuais e de telepresença. Discute-se, por fim, a especificação do hardware por meio de requisitos de sistemas colaborativos.

19.1 Dispositivos para colaboração tangível

O conceito de colaboração tangível é baseado na definição de interface tangível, que combina dispositivos físicos para a interação dos usuários como, por exemplo, canetas, joysticks, blocos, luvas, óculos, dials, sliders, sensores, atuadores, motores, e outros objetos físicos. Esses dispositivos possibilitam unir as vantagens da manipulação física de objetos aos muitos estilos de interação emergentes, tais como a interação baseada em toque ou realidade aumentada e mista. Em geral, essas interfaces são estimulantes para os usuários e possibilitam novas formas de interação e colaboração.

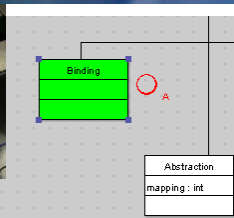


Rastreador Ocular (Teleeye), como o ilustrado na Figura 19.1, é um exemplo desses dispositivos físicos para a interação do usuário com o sistema. Este dispositivo é um óculos que rastreia a movimentação dos olhos do usuário e fornece informações sobre o ponto na tela para o qual o usuário está olhando. Essas informações são usadas para controlar o mouse ou indicar o foco de atenção do usuário na tela do computador.

Rastreador ocular
em uso



Dispositivo em
forma de óculos para
rastrear o movimento
da retina



Na interface do
sistema, o teleeye
está representado
como um círculo
que indica o foco de
atenção do usuário.

Figura 19.1 Rastreador ocular

Interfaces hápticas possibilitam sentir um ambiente natural ou sintético-mecânico por meio do toque, incluindo sensações de cinestesia, que é o conjunto de sensações de movimento, peso e posição percebidas por uma pessoa. Sistemas que usam interfaces hápticas estendem a interação e a colaboração entre os usuários, pois intensificam a sensação de imersão nas tarefas realizadas. Exemplos de sistemas onde essas interfaces são usadas incluem jogos educativos que trabalham com conceitos de Física, Matemática, Anatomia etc. Essas interfaces também são usadas em treinamentos de condução e pilotagem. Na Medicina, interfaces hápticas são usadas em treinamentos cirúrgicos e em cirurgias com ajuda de robôs controlados remotamente por médicos na operação de pacientes.



Câmera Kinect, da Microsoft



Nunchuck e WiiMote, da Nintendo



Playstation Move, da Sony

Figura 19.2 Dispositivos para interação por meio de gestos

Equipamentos como os ilustrados na Figura 19.2 possibilitam a interação por meio do corpo do usuário. A interação do usuário com estes dispositivos requer gestos corporais ou manuais que são captados e interpretados pelo sistema que aciona alguma movimentação ou modificação no objeto representado na interface. Essas novas formas de interação também têm potencial para apoiar a colaboração tangível.

Controles físicos aliados a sensores potencializam as atividades de colaboração. Por exemplo, um sensor de distância indica qual é a proximidade da mão de um participante em relação a um objeto físico que representa um objeto virtual do artefato envolvido na colaboração. Essa informação de distância indica que o participante deseja trabalhar com o objeto e, assim, o

sistema aciona um mecanismo de controle de concorrência ou um elemento visual que indica aos demais participantes a intenção daquele usuário em manipular o objeto. Controles e sensores físicos devem ser especificados em função do tipo de tarefa a ser realizada de forma colaborativa e pelas ações envolvidas na tarefa. É preciso relacionar adequadamente os recursos do sensor com as ações, artefatos, mecanismos e outros elementos da tarefa a ser realizada, tomando o cuidado de agregar a funcionalidade do sensor ao propósito da colaboração.

Dispositivos que possibilitam a interação por meio de toques, como mesas e telas sensíveis (touchscreen), vêm sendo usados para apoiar a colaboração. A interação a partir do toque se baseia em gestos usados no dia a dia como arrastar, cutucar, circular, apontar, desenhar e outros. Os dispositivos que possibilitam a interação por meio de toques apoiam a interação através da movimentação da ponta dos dedos ou de canetas especiais (stylus) sobre superfícies capazes de detectar o posicionamento e a pressão aplicada. Exemplos de dispositivos que possibilitam interação por toque incluem celulares, consoles de videogames, aparelhos de GPS, lousas eletrônicas, e quiosques de atendimento automático. Novos modelos de interação são possíveis: toques independentes ou simultâneos, interação diretamente sobre as informações apresentadas visualmente, ou novos modos de manipulação de artefatos como esfregar com entusiasmo, alisar carinhosamente, aplicar pressão de forma intensa e enérgica, dentre outras. Este tipo de interação propicia a colaboração em situações com novos tipos de artefatos e novos tipos de usuários.



Figura 19.3 Mesa sensível ao toque para a manipulação por múltiplos usuários

Embora um tablet possibilite experimentar a interação por meio de toque em sistemas colaborativos existentes, é preciso adaptar as interfaces desses sistemas para que se tire proveito das novas formas de interação, novas oportunidades e inovações para a colaboração. Equipamentos com superfícies maiores com capacidade de interação por toque, como mesas multitouch e lousas digitais, já foram projetados para o uso colaborativo. A Figura 19.3 ilustra

uma mesa projetada para sintetizar músicas eletrônicas. Os objetos luminosos representam os componentes de um sintetizador modular e podem ser manipulados simultaneamente por múltiplos usuários. Essas interfaces dão suporte a toques múltiplos e independentes simultaneamente. O uso efetivo depende do tamanho e do formato da superfície de interação e da naturalidade propiciada para se conduzir o trabalho em grupo.

19.2 Dispositivos móveis e ubíquos

O avanço da tecnologia de dispositivos móveis tem possibilitado novas formas de interação. Por exemplo, as tecnologias de telefonia móvel com sensores embutidos propiciaram o desenvolvimento de interfaces com interação gestual, como apontar, tocar ou inclinar. Sistemas típicos de dispositivos móveis e ubíquos incluem: gerenciamento de rotas de veículos, coleta e envio de notícias em tempo real, levantamento topográfico, jogos online, e automação de pedidos em bares e restaurantes. Mesmo a interação face a face é enriquecida por meio desses dispositivos, por exemplo, para trocar documentos, fotos e cartões de visita.

O paradigma tradicional de colaboração, no qual os usuários interagem a partir de seus computadores de mesa, é demasiadamente rígido para proporcionar um apoio adequado para ambientes em que a mobilidade tornou-se imperativa. Hardware fixo e os dispositivos móveis formam um conjunto de recursos de interação que oferece mais conectividade e disponibilidade. A mobilidade, contudo, não se restringe ao uso de dispositivos de Computação Móvel como os computadores portáteis e computadores de mão. Dispositivos não convencionais, como câmeras de vídeo, displays interativos e sensíveis ao toque, dispositivos biométricos dentre outros, também oferecem apoio à experiência de colaboração.

Os fatores que têm contribuído para a adoção e disseminação dos dispositivos móveis e ubíquos incluem melhoria da comunicação sem fio, maior poder de processamento e barateamento da tecnologia. O progresso e o amadurecimento das tecnologias de comunicação sem fio, bem como as possibilidades de processamento de informações introduzidas por nanotransistores, sistemas de armazenamento de baixo consumo de energia, sensores e outras tecnologias, possibilitam que os serviços computacionais sejam adaptados ao contexto, tempo e lugar onde são usados. Assim, o antigo paradigma em que as pessoas interagem unicamente com suas máquinas está sendo alterado para o paradigma da computação ubíqua no ambiente, em que o apoio computacional é realizado sem que seja percebido pelos usuários. O novo paradigma coloca a mobilidade e a colaboração em primeiro plano, possibilitando uma ampla variedade de cenários de uso tanto em ambientes comerciais quanto domésticos.

A computação embutida em objetos concretos une o mundo físico ao digital. Por exemplo, uma pessoa com problemas cardíacos pode usar um bracelete que coleta e analisa os seus sinais vitais e interage com o telefone registrado para emergência caso algum sinal de anormalidade seja detectado.

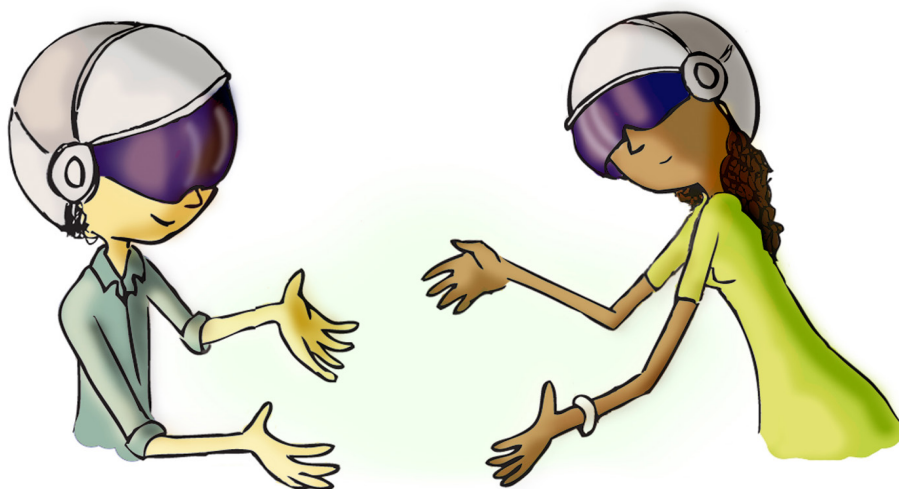
Um ambiente de computação ubíquo oferece mecanismos para a resolução de alguns dos tradicionais problemas dos sistemas colaborativos. Por exemplo, quando mencionamos o gerenciamento de sessão colaborativa, tradicionalmente pensamos em uma interface que possibilite a entrada e saída de participantes, localização e inclusão de indivíduos em uma sessão, criação de novas sessões, e assim por diante. O gerenciamento de sessões é facilitado pelo

uso de tecnologia para identificação e reconhecimento de presença de forma automática, listando os novos participantes no momento que eles entram em um determinado ambiente. A computação ubíqua possibilita que rotinas sejam realizadas sem que os usuários tenham que informar explicitamente ao sistema. Também possibilita o gerenciamento das ações de baixo nível executadas por variados dispositivos que auxiliam a interação social e a colaboração na execução de tarefas.

O uso de dispositivos móveis e ubíquos em sistemas colaborativos requer a elaboração de novas técnicas que levem em consideração aspectos como conexão intermitente, variabilidade das capacidades de dispositivos e disponibilidade do usuário em ambientes de Computação Móvel e Ubíqua. Também é importante garantir que os sistemas estejam prontamente disponíveis ao contexto do usuário, em qualquer situação e local em que se encontre. Ao mesmo tempo, os sistemas devem proporcionar ao usuário condições favoráveis para colaborar, ainda que de forma limitada, mesmo que esteja desconectado por certos períodos.

19.3 Dispositivos para ambientes virtuais e de telepresença

Diversos recursos de hardware são empregados na colaboração, sejam dispositivos para transportar os usuários para ambientes virtuais ou para aumentar a sensação de presença dos usuários.



Os ambientes virtuais para a colaboração (CVEs – Collaborative Virtual Environments) requerem dispositivos específicos para direcionar a percepção dos participantes e fornecer a sensação de imersão no mundo virtual. É comum o uso de capacetes, bonés, roupas, chapéus e uma variedade de dispositivos Head Mount Displays (HMDs) e de roupas inteligentes (wearable computer). Esses dispositivos apoiam a colaboração por meio do fornecimento de informações sobre a presença, feição, postura, sentimentos, movimentos e outras informações. Também incluem recursos para a comunicação, controle de ações concorrentes e o auxílio na organização das tarefas e artefatos envolvidos nas tarefas colaborativas realizadas no ambiente virtual. Por exemplo, uma luva é usada para manipular objetos e também para comunicar por meio de gestos e sinais.

A telepresença refere-se à “percepção ilusória de não mediado”, o usuário não percebe um meio durante sua interação, comporta-se como se o meio não existisse. Há diversos objetivos e situações onde a telepresença é empregada, principalmente para apoiar a comunicação em reuniões e discussões, e para apoiar a realização de tarefas que envolvem recursos audiovisuais, como apresentações, modelagem, simulação etc. Tecnologias de telepresença captam os movimentos dos participantes, as ações, vozes, expressões e até foco dos olhares. Essas informações são transmitidas e replicadas para todos os envolvidos. Difere-se de uma videoconferência, pois o propósito é estender a sensação de presença local entre todos os participantes através de diferentes tipos de dispositivos. A indústria oferece algumas soluções para telepresença, sendo as mais comuns em forma de salas especialmente montadas para aumentar a percepção dos participantes em relação à presença de outros localizados remotamente. Essas salas são conectadas por redes de alta velocidade, contêm vídeo e áudio de alta definição, e são projetadas de acordo com configurações acústicas, ergométricas e decorativas que visam aumentar a sensação de presença dos participantes. A Figura 19.4 mostra um exemplo de uma sala de telepresença, a Teliris Unified VirtualLive.



Figura 19.4 Sala de telepresença para o ambiente empresarial

A telepresença também é implantada em outras configurações além das salas de reunião. Por exemplo, duas cabines semelhantes podem ser adaptadas com recursos de telepresença. As paredes internas dessas cabines são substituídas por televisões de alta definição que mostram a posição relativa do usuário remoto em relação a uma mesa central. Sobre cada cabine há câmeras posicionadas em locais específicos para captar a posição relativa do usuário que será transmitida para a outra cabine.

A telepresença também é usada em conjunto com a robótica. Por exemplo, um participante remoto é apresentado como um robô que possui capacidade móvel, cujo objetivo é fornecer um avatar físico que represente o usuário e sua movimentação. Uma câmera transmite a imagem do campo de visão captado pelo robô, e um monitor no robô mostra a imagem remota do usuário.

As pesquisas na área de telecomunicações incluem diversas outras abordagens de telepresença que representam avanços significativos no campo da percepção, captação dos movimentos e representação remota do usuário, seja virtualmente ou fisicamente. Do ponto de vista da colaboração, essas tecnologias fornecem informações para que os usuários consigam perceber melhor os participantes remotos durante a interação.

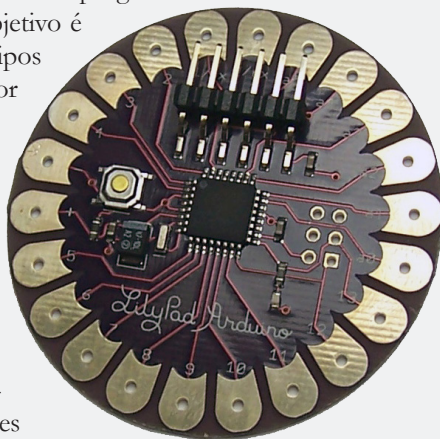
19.4 Especificação de hardware para sistemas colaborativos

A escolha do hardware impacta diretamente nas possibilidades de interação de um sistema colaborativo. Sistemas projetados para usar dispositivos de mouse e teclado restringem a colaboração em função das interações possíveis por meio da posição e clique do mouse e da tecla pressionada. Já os sistemas cuja interação é baseada em gestos expandem as possibilidades de interação por meio de técnicas como selecionar, arrastar, circular, traçar um zigue-zague e outras manipulações possíveis em uma superfície de duas dimensões. Dispositivos como luvas e capacetes, por sua vez, possibilitam manipulações nos objetos virtuais apresentados em um ambiente de três dimensões.

Há diversos exemplos de hardware para a construção de interfaces físicas cujo objetivo é fornecer informações de disponibilidade para o trabalho, canais de comunicação e mecanismos para controle de privacidade que são desejáveis para apoiar a colaboração. Alguns kits de hardware estão disponíveis para facilitar o desenvolvimento e integração de hardware tangível com a interface dos sistemas.

ARDUINO: KIT DE HARDWARE PARA INTERFACES FÍSICAS

Arduino é um kit de hardware livre que pode ser programado por meio de diversas linguagens. O objetivo é possibilitar a criação de ferramentas e protótipos a baixo custo, possíveis de serem usados até por artistas e amadores para o desenvolvimento de objetos interativos. Uma placa típica de Arduino é composta por um controlador, algumas portas de entrada e saída digitais e analógicas, além de uma interface serial para interligar-se a um computador para carregar a sua programação. É comum conectar diversos tipos de sensores e atuadores nas portas de entrada e saída de dados. O Arduino da foto é usado para roupas inteligentes (wearable computing).



Um sistema colaborativo, como todo sistema computacional, é constituído de componentes de software e hardware. Os componentes de software incluem sistemas operacionais, sistemas aplicativos, servidores web, gerenciadores de banco de dados e software de rede. Os componentes de hardware incluem estações de trabalho, computadores portáteis, dispositivos móveis, servidores e equipamentos de rede.

Para desenvolver um sistema colaborativo, é preciso identificar os requisitos, fazer a análise e selecionar os requisitos mais relevantes, e projetar o sistema para satisfazer os requisitos, incluindo os recursos de hardware. Requisitos funcionais descrevem as funcionalidades ou comportamentos que o sistema colaborativo deve ter, por exemplo, um sistema deverá ter a função de enviar e receber mensagens. Já os requisitos não funcionais descrevem como as funcionalidades serão atendidas, por exemplo, o intervalo de tempo entre o envio e o recebimento de uma mensagem não deve ultrapassar 0,5 segundos. Requisitos funcionais e não funcionais implicam em requisitos de hardware. Por exemplo, requisitos de percepção e visão levam à definição de monitores de tamanho maior, processadores gráficos potentes e uma infraestrutura de rede de banda larga.

EXEMPLO DE ESPECIFICAÇÃO DE HARDWARE PARA VIDEOCONFERÊNCIA

Sistemas de videoconferência possibilitam a comunicação por meio da transmissão simultânea de áudio e vídeo em tempo real. Esses sistemas também oferecem recursos para a cooperação por meio da troca de arquivos e compartilhamento de artefatos. A tecnologia de videoconferência é baseada em técnicas de compressão e descompressão de áudio e vídeo em tempo real. Um sistema de videoconferência é composto de equipamento como câmeras, microfones, monitores para a apresentação de documentos e imagens. Atualmente, com processadores cada vez mais rápidos, e com as técnicas de compressão de dados, já é possível ter videoconferência em computadores de mesa. Nesse tipo de videoconferência não são necessários equipamentos especiais: a interação é feita por uma webcam e um microfone. A compressão e descompressão são efetuadas por um software.



A seleção do hardware depende da plataforma empregada pelo sistema colaborativo e da especificação dos recursos físicos computacionais. Há uma diversidade de plataformas, fabricantes, computadores e dispositivos. Uma questão fundamental na identificação e seleção de hardware é a compatibilidade entre os vários componentes a serem empregados na solução, especialmente em relação à compatibilidade com o sistema operacional.

As demandas de processamento dos sistemas colaborativos são similares àquelas dos sistemas de escritório, e as arquiteturas computacionais em geral não apresentam restrições para a implementação desses sistemas. Ao especificar a capacidade de processamento necessária para um sistema colaborativo, deve-se considerar a demanda de processamento e memória não só do sistema em si como também dos demais sistemas aplicativos auxiliares e do sistema operacional que são executados pelo processador. Por exemplo, caso um sistema colaborativo use um navegador web do usuário, o requisito de capacidade de processamento e memória deve levar em conta também a demanda de processamento e memória do navegador web, além do sistema operacional e de outros sistemas agregados.

Com relação aos dispositivos móveis, a capacidade de processamento e a memória atualmente disponíveis podem não ser satisfatórias. Alguns sistemas ainda são baseados na arquitetura de computador de mesa e demandam uma quantidade de processamento e memória superior a disponível nos dispositivos móveis. Boa parte dessa demanda é consumida no processamento de informação multimídia, o que pode acarretar na perda de qualidade de serviço do sistema.

Os periféricos têm papel fundamental na composição da solução de um sistema colaborativo. Um periférico anexado ao computador hospedeiro expande as capacidades do hospedeiro mas não é parte de sua arquitetura. Exemplos de periféricos incluem teclado, mouse, monitor, adaptador de vídeo, impressora, digitalizador de imagem, dispositivo de rede, microfone, câmera e alto falante. Por exemplo, microfones e alto falantes são essenciais para sistemas que envolvem comunicação falada entre usuários. Adaptadores de vídeo podem ser imprescindíveis para sistemas colaborativos baseados em realidade virtual.

Um sistema colaborativo requer equipamentos para o uso de uma rede de computadores: roteadores, switches, hubs, gateways, pontos de acesso, placas de interface de rede, cabos, bridges, modems, adaptadores ISDN e firewalls. Na especificação de sistemas colaborativos, a infraestrutura de rede é vista como parte de um serviço. Serviços de rede são contratados e providos com uma qualidade assegurada. Em sistemas colaborativos, a largura de banda disponível na rede é o principal atributo de desempenho desejado. Por exemplo, sistemas de videoconferência precisam reservar uma banda específica ponto a ponto para que a reunião ocorra sem desconexões, sem perda de informação e sem ruído. A confiabilidade da rede também é um requisito do sistema. Em alguns sistemas colaborativos, há a necessidade de dispor de serviços alternativos caso o provedor principal esteja inoperante. Em geral aceita-se o uso de um serviço reduzido em caso emergencial, como, por exemplo, realizar uma conferência somente por áudio.

As possibilidades de comunicação, coordenação e cooperação são diretamente dependentes da forma como a interação é realizada, por isso os dispositivos de hardware afetam a colaboração através do fornecimento de informações de percepção, da manipulação dos objetos compartilhados e funcionalidades no sistema colaborativo.

EXERCÍCIOS

- 19.1 Suponha que você foi contratado para projetar um editor de documentos elaborados colaborativamente por usuários distribuídos e que estão usando Computação Móvel. Há dois tipos de usuários: usuários com notebooks que editam o documento, e usuários com computadores de mão que leem o documento, mas não podem editá-lo. Todos se comunicam por voz num padrão par a par. Identifique e liste os requisitos funcionais e não funcionais relacionados ao hardware desse sistema. Identifique quais mecanismos de presença devem ser usados.
- 19.2 Suponha que você especificará o hardware usado para um sistema colaborativo para culinária. Esse sistema deve fornecer apoio para que um chef siga com exatidão uma receita culinária de outro chef, ambos localizados em suas próprias cozinhas, separadas geograficamente, mas interligadas por uma rede de comunicação. Ambos estão preparando a mesma receita. Um chef instrui e verifica se a receita está sendo seguida corretamente pelo outro chef.

- a) Identifique os requisitos funcionais e não funcionais relacionados ao hardware desse sistema. Liste também os requisitos funcionais de colaboração.
- b) Especifique e desenhe como as duas cozinhas estarão integradas de acordo com o conceito de telepresença. Indique onde ficarão os dispositivos de hardware como, por exemplo, as câmeras, os microfones, as telas de projeção e os móveis decorativos.
- c) Faça uma avaliação qualitativa em relação aos requisitos do usuário. Para realizar a avaliação, mostre as soluções elaboradas nos item a e b para algum outro aluno e faça perguntas como: Você acha que o sistema é adequado? Você ficaria confortável em usar o sistema? O sistema elaborado atende às suas expectativas para um sistema deste tipo?
- 19.3 Suponha que você esteja projetando uma creche onde as mães interagem a distância com suas crianças e monitoram os serviços prestados pelos profissionais da creche. Especifique o hardware para o monitoramento e a interação na creche.

LEITURA RECOMENDADA

- Cisco TelePresence Fundamentals (Tím Szigeti et al., 2009). Este livro aborda diversos conceitos da telepresença sob o ponto de vista empresarial. Na primeira parte do livro, os autores focam a teoria e o impacto do uso de telepresença para apoiar reuniões com participantes remotos. Na segunda parte, diversas soluções da empresa CISCO são discutidas, inclusive com recomendações de produtos e dispositivos. Na terceira parte são abordados aspectos relacionados ao design das salas de telepresença. Este livro complementa a discussão sobre telepresença abordada neste capítulo através de exemplos práticos, tecnologias e aspectos de utilização da telepresença em diversas empresas multinacionais.

REFERÊNCIAS

- VINCENT HAYWARD, OLIVER R ASTLEY, MANUEL CRUZ-HERNANDEZ, DANNY GRANT, GABRIEL ROBLES-DE-LA-TORRE. Tutorial Haptic interfaces and devices. Sensor Review Volume 24 • Number 1 • 2004 • pp. 16–29 q Emerald Group Publishing Limited • ISSN 0260-1988. DOI 10.1108/02601980410515770
- BARDHAM, E. Activity-based computing: support for mobility and collaboration in ubiquitous computing, *Personal and Ubiquitous Computing*, v.9 n.5, p.312-319, set. 2005.
- PICHILIANI, MAURO C., HIRATA, CELSO M., SOARES, FABRICIO S., FORSTER, CARLOS H.Q. Utilização do rastreamento ocular para visualização do local de atenção em sistemas de edição colaborativos. V Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos (SBSC), Vila Velha - ES, out. 2008, p.169-179.
- MANUELE KIRSCH-PINHEIRO, JOSÉ VALDENI DE LIMA, MARCOS R. S. BORGES. A FrameWork for Awareness Support in Groupware Systems. Artigo publicado os anais da conferência CSCWD (Computer-Supported Cooperative Work in Design), pp.13-18, Rio de Janeiro, set. 2002.
- PINELLE, D., GUTWIN, C. A groupware design framework for loosely-coupled workgroups. *European Conference on Computer Supported Cooperative Work*. New York, NY, USA: Springer-Verlag New York, Inc., 2005, p. 65–82.
- GREENBERG, S. Collaborative physical user interfaces. In K. Okada, T. Hoshi and T. Inoue (Eds) *Communication and Collaboration Support Systems*. IOS Press, 2005.
- HCI Beyond the GUI: Design for Haptic, Speech, Olfactory, and Other Nontraditional Interfaces. Editado por Philip Kortum. Morgan Kaufmann. 2008.