

Tópicos Especiais em Computação Gráfica

Realidade Virtual

Tecnologias de Rastreamento e Captura de Movimento

Márcio Serolli Pinho

Faculdade de Informática – PUCRS

3. Dispositivos de Rastreamento

Ao lado da visão estereoscópica, o rastreamento dos movimentos do usuário é um dos grandes suportes para uma maior ou menor sensação de imersão do usuário em um ambiente virtual. É através do rastreamento que o sistema de realidade virtual consegue interpretar os comandos do usuário e responder a eles de forma adequada. Chamados de “*tracking devices*”, estes dispositivos têm por objetivo principal determinar a posição ou a orientação de uma parte do corpo do usuário.

Quanto maior for a precisão, a velocidade e a área de ação destes equipamentos, tanto maior será a quantidade de dados disponíveis à interpretação pelo sistema. É importante ressaltar que a captura provê os dados para a interpretação. Os aspectos relativos à interpretação propriamente dita dependem dos algoritmos e da capacidade de processamento do sistema como um todo (aplicação/computador).

3.4 Características dos Rastreadores

3.4.1 Graus de Liberdade

Um aspecto importantíssimo quando se analisa um dispositivo de rastreamento é o número de “**graus de liberdade**” que ele possui. Por “**graus de liberdade**” entende-se a capacidade de informar a orientação e a posição de um ponto no espaço. Este “ponto” está em geral relacionado à uma parte específica do corpo de um usuário ou um objeto no ambiente virtual.

Cada componente de uma coordenada (x , y ou z) obtida por um rastreador é considerada como um grau de liberdade, o mesmo acontecendo com as rotações ao redor dos eixos coordenados. Um mouse convencional, por exemplo, possui 2 (dois) graus de liberdade. Um rastreador capaz de fornecer a posição espacial de um ponto possui 3 (três) graus de liberdade, um rastreador capaz de captar apenas os giros nos três eixos também.

Existem, entretanto, dispositivos com mais ou menos graus de liberdade. Um pêndulo, ao qual se acople um medidor de ângulo (pode ser um potenciômetro), possui 1 (um) grau de liberdade (Figura 3.1). Apesar de simples, um dispositivo deste tipo, pode

ser usado, por exemplo, para rastrear o giro da cabeça do usuário em um dos eixos, ou para capturar o grau de aceleração de um carro ou ainda para capturar o grau de inclinação de uma mesa. Um braço mecânico acoplado ao cotovelo e ao pulso de uma pessoa pode possuir 4 graus de liberdade (Figura 3.2).

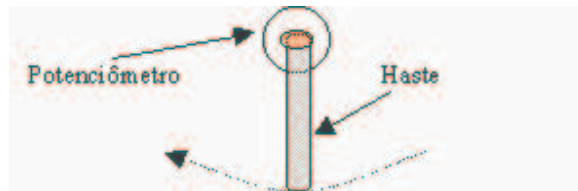


Figura 3.1 – Dispositivo com 1 grau de liberdade

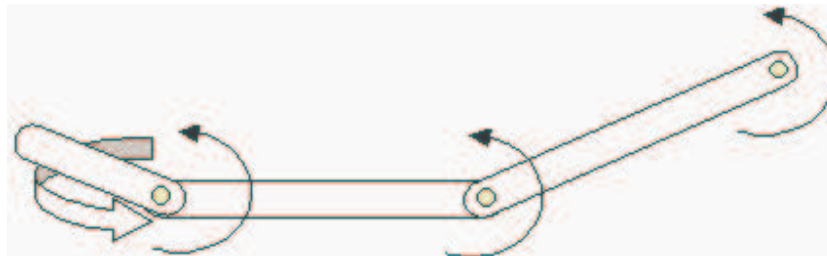


Figura 3.2 – Dispositivo com 4 graus de liberdade

3.4.2 Resolução e Precisão

Em um dispositivo de rastreamento a resolução é definida pela menor mudança que este equipamento é capaz de perceber. A precisão, por sua vez, descreve o quão próxima da real é a posição informada.

3.4.3 Taxa de Amostragem

A taxa de amostragem é a frequência com que o rastreador é capaz e fornecer uma informação atualizada ao sistema que o está utilizando.

No que se refere à taxa de amostragem é importante notar que muitas vezes, o rastreador é de fato capaz de uma captar dados com uma certa velocidade, entretanto a transmissão para o computador pode não ser realizada à esta velocidade em face das limitações das interfaces de comunicação (USB, paralela ou serial) usadas para a conexão.

3.4.4 Sociabilidade

Intrínseca à tecnologia usada na construção do rastreador, esta característica reportada por [Meyer, 1992] diz respeito à possibilidade ou não de dois rastreadores coexistirem em um mesmo ambiente. A preocupação justifica-se, pois, em vários casos, seja por que os equipamentos se chocam fisicamente ou por que usam algum recurso comum não compartilhável, é impossível dispô-los de forma muito próxima.

3.4.5 Robustez

Também ligada à tecnologia usada para o rastreamento, a **robustez** define a capacidade do equipamento funcionar sem erros, mesmo em ambientes ruidosos. Neste contexto, ruído significa qualquer elemento capaz de interferir na determinação correta de uma posição, dada uma tecnologia específica de rastreamento. Por exemplo, um alto-falante pode interferir no uso de equipamentos que empreguem ultrassom e não interferir em equipamentos óticos. Por outro lado, barras de ferro podem facilmente interferir em rastreadores magnéticos.

3.4.6 Volume de trabalho

Também conhecido como “faixa de operação” ou “área de alcance”, este aspecto define o alcance do equipamento de rastreamento. Em algumas tecnologias como, por exemplo, nos rastreadores magnéticos, a distância entre os sensores afeta também a precisão do rastreamento.

3.5 Tecnologias de Rastreamento

A seguir serão apresentados cinco tipos básicos de rastreadores, em função do tipo da tecnologia usada para a determinação da posição. São eles: mecânicos, acústicos, magnéticos, óticos e inerciais.

3.5.1 Rastreadores Mecânicos

Os **rastreadores mecânicos** são conectados fisicamente ao corpo do usuário e detectam a posição de um ponto, chamado de “ponto de referência”, a partir de estruturas articuladas que ligam o ponto de referência a um ponto fixo conhecido (Figura 3.3). A

medição dos ângulos de cada articulação é feita, normalmente, com potenciômetros acoplados às articulações. O cálculo da posição do ponto de referência é feito utilizando-se cinemática direta.



Figura 3.3 – Rastreador Mecânico “MicroScribe”

Este tipo de rastreador, usado quando é necessário que se tenha alta velocidade e precisão no rastreamento, permite também que se exerça sobre o usuário algum tipo de força, limitando seletiva e intencionalmente seus movimentos. A desvantagem é a pouca mobilidade que ele dá ao usuário.

Atualmente, empresas como Fakespace, LEEP Systems e Exo Systems Inc, produzem este tipo de rastreador . Este tipo de rastreador é tido como o mais antigo dentre todos. A primeira referência data de 1968, quando Ivan Sutherland criou a “Espada de Dâmocles” que consistia de um HMD preso a uma articulação que possibilitava rastrear o movimento da cabeça do usuário [Aukstakalnis, 1992]. Na Figura 3.4, pode-se observa uma imagem deste dispositivo, obtido em <http://www.sun.com/960710/feature3/alice.html>.



Figura 3.4 - Espada de Damocles

3.5.2 Rastreadores Acústicos

Os **rastreadores acústicos** determinam uma posição pela emissão de um som que é captado por um receptor. A idéia é que um mesmo controlador comanda a emissão e “percebe” sua recepção. O tempo decorrido desde a emissão até a recepção permite o cálculo da distância entre emissor e receptor.

A vantagem deste tipo de rastreador é seu baixo custo e o fato de que no corpo do usuário é preciso apenas colocar pequenos elementos emissores (ou receptores), dando maior liberdade ao usuário. A desvantagem, por outro lado, é a necessidade de que não haja obstáculos entre o emissor e o receptor. Normalmente são usados ultra-sons, produzidos por dispositivos de cristal piezelétricos ou alto-falantes, embora sons audíveis possam ser também empregados [Stuart, 1996].

São três as tecnologias mais utilizadas para rastreadores acústicos: *Time of Flight*, *Time Delay* e *Phase coherent*. Na tecnologia *Time of flight* o emissor produz pulsos sonoros espaçados em intervalos regulares. O tempo decorrido até a captação destes pulsos nos receptores é medido. Este tempo pode, então, ser usado para determinar a distância entre estes dois elementos. Se o sistema dispuser de apenas um emissor e um receptor este esquema poderá determinar somente o raio de uma esfera (que tem o receptor com centro) sobre a qual está o emissor. Para obter a posição do emissor, no espaço são necessários três receptores. Neste caso a posição é dada pela interseção das

três esferas (Figura 3.5). Esta abordagem tem o problema de não permitir que sejam realizadas leituras em intervalos de tempo menores do que aqueles usados para separar as emissões de som.

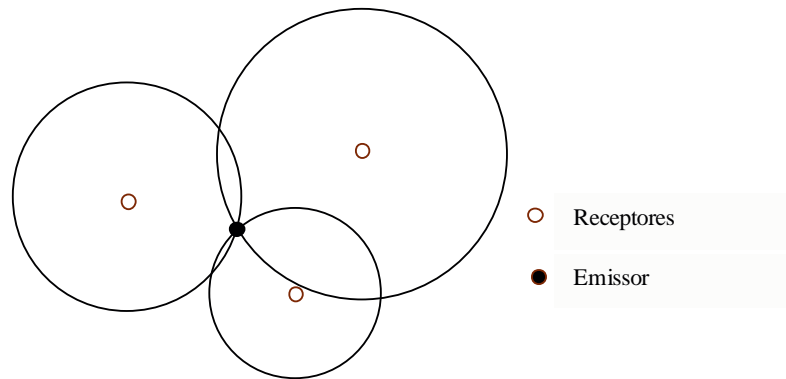


Figura 3.5 – Rastreador acústico por Time of Flight

Na tecnologia *Time Delay* ondas sonoras são emitidas continuamente, sem intervalos, mas com variações aleatórias na forma das ondas. Quando um sinal é então recebido, ele é comparado com os sinais emitidos e o tempo que este sinal gastou para chegar ao receptor é determinado. A partir deste tempo, a distância emissor-receptor pode ser calculada. Esta tecnologia permite uma alta velocidade nas leituras, desde que a identificação do sinal emitido seja feita com rapidez.

Na tecnologia *Phase-coherent*, por sua vez, ondas sonoras são emitidas continuamente e as ondas geradas tem variações periódicas. As diferenças de fases entre os sinais emitido e recebido podem ser usadas para calcular a distância emissor-receptor (Figura 3.6), desde que, é claro, o tempo de cálculo seja menor que um comprimento de onda.

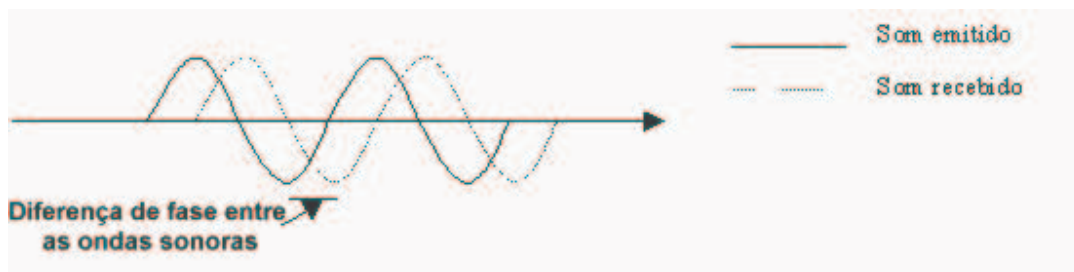


Figura 3.6 – Rastreador acústico por Phase-coherent

3.5.3 Rastreadores Magnéticos

Os **rastreadores magnéticos** têm sido a tecnologia mais utilizada para rastreamento em ambientes virtuais. O conceito por trás do rastreamento por campos magnéticos é de que se um fio é submetido à um campo magnético então uma corrente elétrica é gerada neste fio. A intensidade desta corrente é proporcional à intensidade do campo magnético e inversamente proporcional ao alinhamento entre o campo e o fio.

A arquitetura mais comum dos rastreadores magnéticos, hoje em utilização, emprega um conjunto de três bobinas de fios dispostas ortogonalmente entre si, ao redor de um mesmo núcleo, formando um emissor. O receptor é formado por um outro conjunto de três bobinas, também dispostas de maneira perpendicular entre si. Para a operação deste equipamento uma corrente elétrica é aplicada seqüencialmente a cada uma das três bobinas do emissor. Isto produz três campos magnéticos distintos. Cada um destes campos, por sua vez, ao atingir o receptor induz uma corrente elétrica (diferente) em cada uma das bobinas deste receptor. Como são três campos magnéticos atingindo cada uma das bobinas dos receptores, temos 9 (nove) correntes elétricas sendo geradas em cada bobina, totalizando 27 (vinte e sete) correntes elétricas diferentes. A intensidade destas correntes depende da distância entre receptor e emissor e do alinhamento entre os campos magnéticos e as bobinas do receptor.

Nos rastreadores disponíveis no mercado, os emissores são peças fixas e os receptores é que ficam presos ao ponto a ser rastreado. Do ponto de vista tecnológico, entretanto, o oposto é totalmente viável. Os maiores problemas apresentados pelos rastreadores magnéticos são o tempo que gasto para o cálculo de uma nova posição e as interferências causadas por objetos de ferro e por outras fontes de campos magnéticos próximas ao emissor ou ao receptor, como monitores, e caixas com alto-falantes.¹

¹ Atualmente, empresas como a Polhemus (<http://www.polhemus.com>) e Ascension (<http://www.ascension.com>) estão comercializando rastreadores deste tipo.

3.5.4 Rastreadores óticos

A quarta tecnologia de rastreamento baseia-se na determinação da posição de um ponto a partir de sua imagem. Há dois tipos de **rastreadores óticos**. Aqueles em que são colocadas câmeras no ambiente e a imagem do usuário é captada e processada, e aqueles em que o usuário carrega uma câmera e filma o ambiente.

No primeiro tipo, também chamado de rastreamento por “extração de imagem” [Aukstakalnis, 1992], colocam-se marcadores sobre os pontos a serem rastreados e algumas câmeras no ambiente. Estes marcadores podem ser simples etiquetas coloridas ou LEDs. As imagens captadas pelas câmeras são então processadas para determinar as posições dos pontos. Pelo tamanho reduzido dos marcadores e por não necessitar de fios conectando o usuário ao computador, esta é sem dúvida a forma mais confortável de rastreamento. Os inconvenientes desta técnica são o tempo gasto para a identificação dos pontos nas imagens e a possibilidade de se ter a oclusão dos marcadores pelo próprio corpo.

Para a determinação da posição tridimensional de um ponto a partir de uma imagem são necessárias, pelo menos, duas câmeras. O uso de apenas duas câmeras, entretanto, pode causar com frequência a oclusão de um ponto pelo corpo do usuário [Santos, 1999]. Os principais exemplos deste tipo são o VideoPlace [Krueger, 1985] e o Mandala [Wyshynski, 1993].

A segunda geração de rastreadores óticos corresponde aos chamados *inside-out*. Neles o usuário é que carrega uma câmera e o principal objetivo é capturar, com precisão, os movimentos de um usuário num espaço de uma sala de tamanho tradicional. Nos primeiros projetos desenvolvidos na Universidade da Carolina do Norte o usuário vestia um capacete com pequenas câmeras que filmavam o teto [Ward, 1992; Azuma, 1994; Welch, 1996]. No teto, são colocados LED's que piscam de forma regular (Figura 3.7).

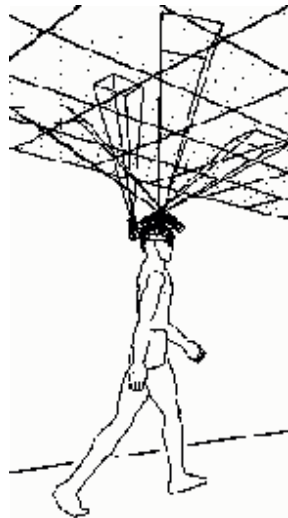


Figura 3.7 - Rastreador óptico com câmera no usuário [Welch, 1996]

Mais recentemente o mesmo grupo criou o *HiBall*, [Welch 1999, Welch, 1997], no qual as câmeras foram substituídas por foto-células (Figura 3.8). A área de ação do dispositivo é de 12 m².



Figura 3.8 – HiBall

Outra forma de rastreamento óptico é o **rastreamento por reconhecimento de padrões**. Nesta tecnologia o alvo do reconhecimento deve ter suas formas conhecidas pelo sistema de rastreamento. A determinação da posição é feita pela comparação entre padrões previamente conhecidos e as imagens capturadas pelas câmeras a cada instante.

No momento, por ser muito custoso em termos computacionais esta técnica, ainda está restrita ao rastreamento de porções específicas do corpo e a objetos bem determinados. Um exemplo disto é o VirtuaHead [Rekimoto, 1995] que captura a imagem do rosto e os reproduz em um avatar local ou remoto.

3.5.5 Rastreadores sem referencial

Um importante problema dos sistemas de rastreamento apresentados até aqui é a pouca mobilidade que eles proporcionam ao usuário que, em geral, tem que ficar “amarrado” ao computador por um conjunto de fios ou restrito a uma área onde os sensores podem captar seu movimento. Pensando nisto, surgiu um linha de rastreadores chamada “*Sourceless Trackers*” ou rastreadores sem fontes ou sem referencial ou **rastreadores inerciais** [Hollands, 1995].

Estes rastreadores dividem-se em algumas categorias, em geral medindo inclinações ou giros, a partir de uma posição inicial. As principais categorias são: os Inclinômetros, as Chaves de Inclinação e os Sensores Piezoelétricos de pressão e torção. Os *Inclinômetros* (ou *tilt sensors*) medem a inclinação de um objeto (ou de parte de um corpo) a partir de uma posição anterior onde o pêndulo estava parado. Há várias maneiras de implementar um medidor de inclinação. A mais simples delas é construir “pêndulos” a partir de potenciômetros, conforme a Figura 3.1. Estes medidores de inclinação podem, por exemplo, ser usados em veículos para medir aceleração e alterações de direção durante a trajetória. Dependendo da aplicação, estas informações podem ser usadas para a determinação de posição.

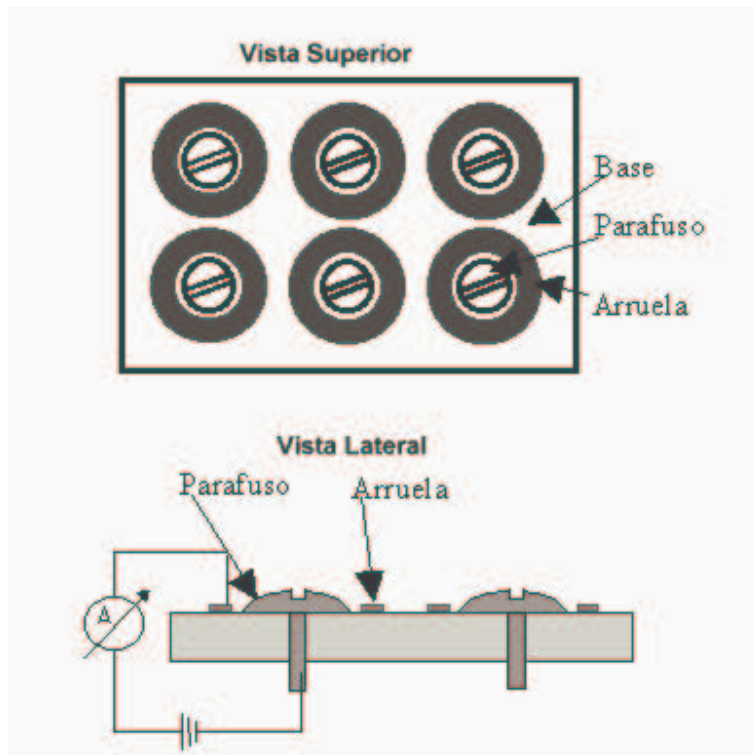
Outra forma de implementação destes inclinômetros é a utilização de sensores, semelhantes a bússolas, capazes de captar ação do campo magnético da terra. Esta tecnologia é usada nos rastreadores *Cyber Track II* da empresa *Virtek* (<http://www.virtex.com>).

As *chaves de inclinação* (ou *tilt switches*) também medem inclinações como os *inclinômetros*, porém, de uma maneira digital. O funcionamento é o seguinte: numa estrutura plana, ao redor de pequenos parafusos são colocadas arruelas ou anéis sem que estes se toquem (Figura 3.9). Se forem colocados contatos elétricos ligados a cada um dos

pares e forem ligados em série com eles, fontes e medidores de corrente elétrica, poderemos saber quando ocorre o fechamento ou a abertura do circuito.

O fechamento ou a abertura dos contatos se dá colocando-se uma pequena quantidade de mercúrio (Hg) sobre a superfície. Quando a base estiver na horizontal, todas as chaves estarão em curto, quando houver uma inclinação, algumas delas se abrirão. Este processo de *abrir-e-fechar* chaves permitirá então, determinar a inclinação da base, que poderá, por exemplo, colocado sobre a cabeça de um usuário, ou na base de um *joystick*.

Os *sensores piezoelétricos*, por sua vez, são materiais capazes de gerar uma corrente elétrica ou mudar sua resistência quando sofrem mudança em sua forma. Equipamentos como este podem ser usados, por exemplo, para medir a flexão dos dedos da mão ou de juntas como cotovelos e joelhos².



² A empresa **Jameco Electronics** (<http://www.jameco.com>), por exemplo, comercializa sensores de flexão a um custo bastante baixo (US\$ 10,00).

Figura 3.9 – Estrutura de um Tilt Switch

3.6 Rastreamento dos olhos

O rastreamento da cabeça serve, em geral para que o sistema de realidade virtual possa atualizar as imagens a serem mostradas ao usuário. No mundo real, entretanto, não é apenas este movimento o responsável pelas mudanças na visão do usuário. Um aspecto importante neste contexto é o movimento dos olhos.

Pouco explorado em realidade virtual, o rastreamento de olhos pode aprimorar a sensação de imersão do usuário no mundo virtual pois dará ao usuário uma possibilidade de exploração ainda mais próxima do que ele está habituado no mundo real.

O rastreamento de olhos, já há algum tempo, foi considerado, como uma forma viável para o apontamento e a seleção de objetos [Karn, 1999]. Jacob [Jacob, 1991; Jacob, 1993] apresenta um trabalho sobre o uso intencional destes movimentos para apontamento. Ware [Ware, 1987] por sua vez, demonstra que o uso dos olhos é uma ferramenta muito rápida e efetiva para a seleção de menus e de objetos grandes, apresentando algumas dificuldades para objetos pequenos.

Outra utilização da informação de movimento ocular é a possibilidade de se acelerar a exibição das imagens através do uso de imagens de resolução variável. A idéia baseia-se no fato de que no olho humano, apenas a região ao redor da fóvea é que é capaz de perceber detalhes e cores com alta precisão. Assim, se o sistema puder perceber para que região da tela o usuário está olhando, poderá, por sua vez, gerar apenas nela, uma imagem de alta definição, diminuindo, por outro lado, a qualidade da imagem nas demais regiões, reduzindo, por conseguinte, o tempo total gasto para a exibição da imagem (Figura 3.10).

As técnicas de rastreamento ocular são relativamente antigas [Young, 1975]. A idéia central é capturar a imagem do olho com uma câmera (Figura 3.11) e, a partir disto, determinar pela posição da pupila e íris, e, conseqüentemente, o local da tela para onde o usuário está olhando.



Figura 3.10 – Imagem com resolução variável

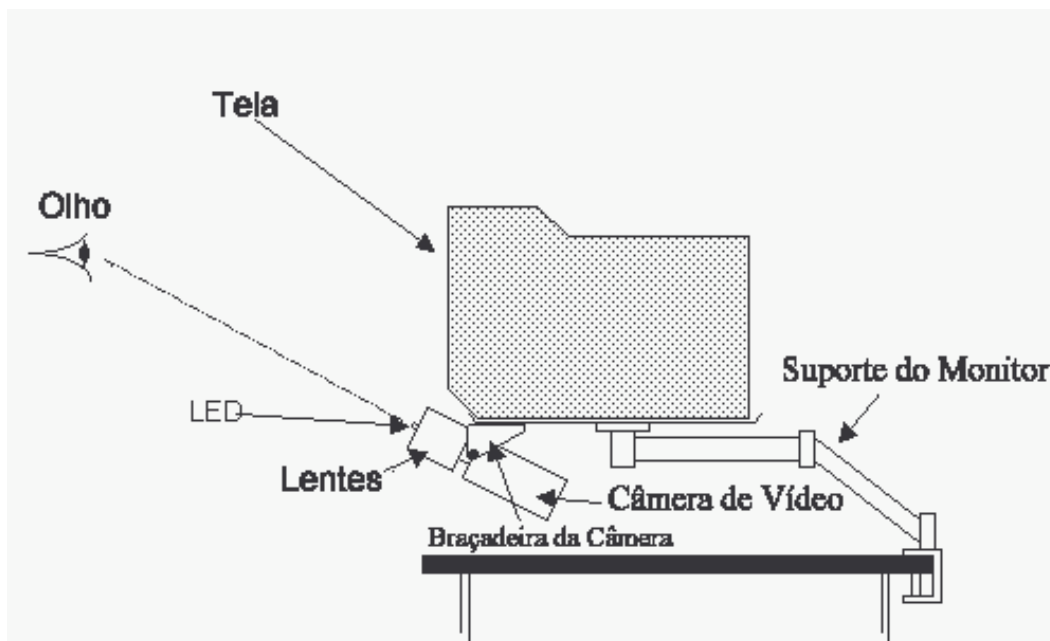


Figura 3.11 – Esquema de captura do movimento do olho

Atualmente uma nova técnica de rastreamento ocular vem sendo tentada. Trata-se da leitura do movimento dos músculos ao redor dos olhos [Metro, 2000].



Figura 3.12 - Leitura dos movimento dos músculos oculares

3.7 Rastreamento do movimento dos dedos

As luvas eletrônicas, um dos primeiros dispositivos criados especificamente para aplicações de realidade virtual, buscam capturar os movimentos das mãos (e dos dedos) e usá-los como forma de interação com o usuário no ambiente virtual.

É importante ressaltar que nesta seção serão descritas as tecnologias relacionadas ao **rastreamento** do movimento dos dedos. Outros aspectos do emprego das luvas eletrônicas, como a geração de forças sobre os dedos, a fim de **forçar ou impedir** os movimentos serão tratados na seção referente a dispositivos de *force feedback*, onde serão apresentados detalhes sobre os dispositivos de geração de retorno de força e de tato. Neste capítulo apresentaremos as principais características de construção destas luvas baseados em exemplos de dispositivos comerciais.

3.7.1 Luvas com Mediadores de Luminosidade

Sistema usado pela empresa VPL na construção de sua famosa Data Glove, baseia-se na foto de que uma fibra ótica altera suas propriedades de transmissão de luz quando é flexionada.

A idéia foi colocar sobre cada dedo (pelo lado externo da mão) um par de fibras óticas. Uma das fibras serve para medir a flexão dos dedos na junção com a palma da mão e a outra para medir a flexão no meio dos dedos. Numa das extremidades de cada uma das fibras é colocado um emissor de luz com intensidade constante, no outro uma foto-célula (Figura 3.13). Posteriormente, é feita uma leitura das fotocélulas para então calcular o grau de flexão dos dedos³.

³ A empresa **General Reality** <http://www.genreality.com> usa este sistema na luva "5th Glove 95". Seu preço é U\$500,00, aproximadamente.

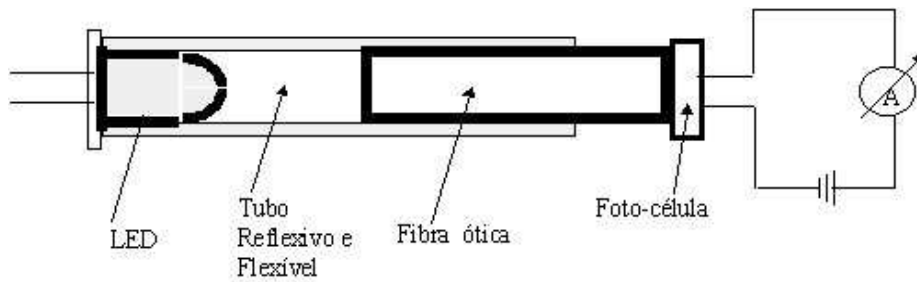


Figura 3.13 – Fibra-Ótica usada em Luvas

Na Universidade de Illinois (Chicago) os pesquisadores Thomas De Fonti e Donel Sandin criaram o "*Sayre Glove*" que no lugar das fibras óticas usavam apenas tubos com uma luz em uma extremidade e uma foto-célula em outra [REFERENCIA].

3.7.2 Luvas com Esqueletos Externos

Introduzida em 1990 pela EXOS Inc. a "*Dextrous Hand Master*" lançou a idéia de usar uma espécie de armadura externa presa à mão para ler seus movimentos (Figura 3.14). Esta leitura é realizada através da colocação de sensores de giro (como potenciômetros) ajustados a cada uma das juntas de cada um dos dedos da mão do usuário.

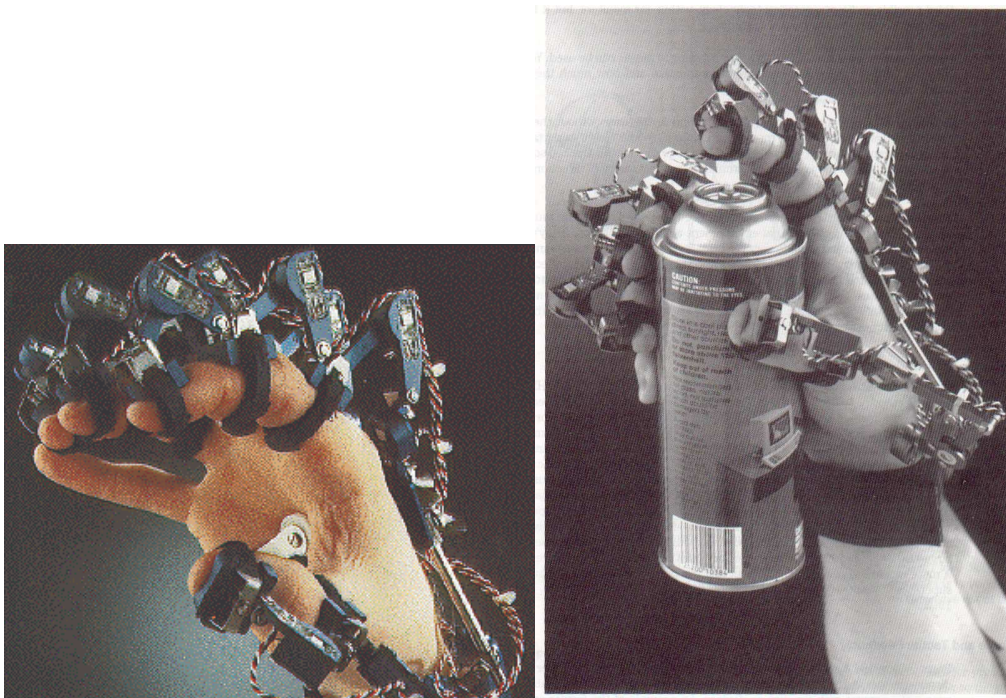


Figura 3.14 - Dextrous Hand Master

3.7.3 Luvas com Tinta Condutiva

A mais famosa de todas as luvas eletrônicas, a "*Power Glove*" (figura 2.28), criada pela empresa Mattel para a Nintendo, é uma luva que usa tinta condutiva para aferir o movimento dos dedos. A idéia foi colocar um medidor de resistência elétrico entre os extremos de uma tira pintada com tinta condutiva sobre um substrato flexível. Quando este substrato é então colocado sobre o dorso da mão (dentro de uma luva de lycra) pode-se realizar a leitura dos movimentos dos dedos.



Figura 3.15 - Power Glove

Devido ao seu baixo custo (\pm U\$ 50,00) muitas pessoas interessaram-se em usá-la ligada um PC. Em 1990 a revista Byte publicou um artigo apresentando as alterações necessárias para ligá-la à porta paralela de um PC [Eglowstein, 1990]⁴. Atualmente a luva **CyberGlove** da empresa Virtual Technologies, também usa este sistema.

⁴ Outra adaptação foi feita em 1993 para ligá-la à porta serial através da "*PGSI - Power Glove Serial Interface*" (<http://acm.uiuc.edu/pub/psgi/psgi-faq.html>) o que permitiu seu uso em Mac e Amiga, além de PCs.