

7 Dispositivos Gráficos de saída e entrada

Toda imagem criada através de recursos computacionais deve ser representada em algum dispositivo físico que permita a sua visualização. Diversas tecnologias e diferentes tipos de dispositivos são utilizados para gerar representações visuais, sendo que o desenvolvimento dessas tecnologias teve um papel fundamental na evolução da CG.

Tanto para o usuário como para o implementador de sistemas gráficos é importante conhecer as características de cada uma dessas tecnologias para sua melhor utilização. Serão abordados vários temas referentes a histórico, evolução, arquitetura e organização dos tipos mais comuns dos dispositivos de exibição gráfica, sem entrar em detalhes técnicos.

É possível classificar os dispositivos de exibição (traçadores, impressoras e terminais de vídeo) em duas principais categorias, segundo a forma pela qual as imagens são geradas: dispositivos vetoriais e dispositivos matriciais. Os dispositivos gráficos vetoriais conseguem traçar segmentos de reta perfeitos entre dois pontos da malha finita de pontos definida por suas superfícies de exibição. Os dispositivos matriciais, por outro lado, apenas conseguem traçar pontos, também em uma malha finita. Assim, segmentos de reta são traçados como sequências de pontos próximos.

7.1. Dispositivos gráficos vetoriais (saída)

7.1.1. Traçadores Digitais

Traçadores (plotters): são dispositivos eletromecânicos que produzem o desenho pelo movimento de uma caneta sobre a superfície do papel. A primitiva gráfica básica nesse tipo de dispositivo é o segmento de reta. Arcos, curvas e caracteres são produzidos pelo traçado de uma série de pequenos segmentos.

Nos traçadores de mesa, o papel é fixado sobre uma superfície plana retangular, sobre a qual está localizado um braço mecânico que se movimenta por translação. Ao longo do braço desloca-se um cabeçote que suporta uma caneta perpendicularmente à mesa, a qual pode ser pressionada contra o papel ou levantada de forma a não tocá-lo.

Nos traçadores de rolo, o braço é fixo, e o papel é movimentado para frente e para trás por ação de um rolo, como em uma máquina de escrever. Embora distintos em construção, estes dois tipos de traçadores possuem características de programação e controle similares. A posição da caneta sobre o papel é definida pelo posicionamento do braço em relação ao papel (abscissa x), e do cabeçote sobre o braço (ordenada y). Figuras são traçadas pela variação controlada da posição da caneta (abscissa e ordenada) e pelo controle do estado da caneta (abaixada ou levantada). O traçador é em geral controlado por um processador dedicado que recebe instruções diretamente do computador ou de um arquivo que descreve o desenho.

7.1.2. Dispositivos de Vídeo Vetoriais (Vector Refresh Display Tubes)

7.1.2.1 CRT - Cathode Ray Tube

No início da CG, o principal dispositivo de vídeo não era um monitor parecido com uma TV, e sim um caríssimo CRT (Cathode Ray Tube) do tipo usado em osciloscópios. Como o display dos osciloscópios, os monitores tinham como entradas duas voltagens, x e y , que direcionavam um feixe de elétrons para um ponto específico da tela. O feixe traçava uma linha do último ponto para o corrente, num único movimento vetorial.

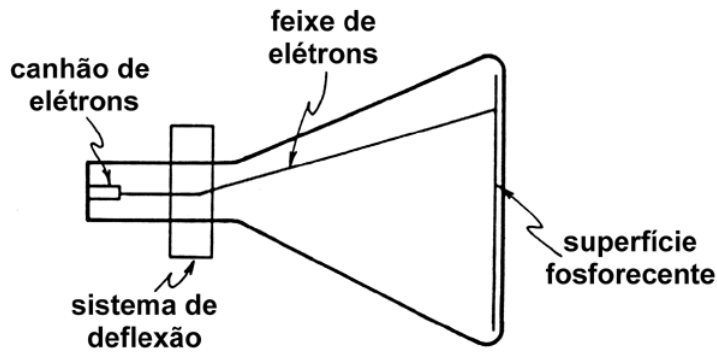


Figura 4. Estrutura interna de um CRT

Um CRT consiste basicamente de uma superfície de exibição, quase plana, recoberta internamente de material à base de fósforo, um canhão emissor de elétrons e um sistema de deflexão (Fig.4). O canhão emite um fino feixe de elétrons que, acelerados, chocam-se contra a superfície fosforescente da tela. Sob a ação dos elétrons, o material fosforescente incandesce, emitindo luz no ponto da tela atingido pelo feixe. A função do sistema de deflexão é dirigir controladamente o feixe de elétrons para um determinado ponto da tela.

O brilho do fósforo dura apenas alguns milissegundos (a emissão de luz pelo fósforo não é estável, e cai a zero logo após a interrupção do bombardeio de elétrons), de forma que toda a figura precisa ser continuamente retraçada para que o gráfico permaneça na tela. Este processo é denominado *refreshing* (daí o nome, *vector refreshing tubes*). Se a imagem sendo mostrada é composta por muitos vetores, vai haver um atraso significativo entre o traçado do primeiro e do último vetores, e alguns dos vetores traçados inicialmente podem desaparecer nesse período. O resultado é que o tubo não consegue retrair a imagem de modo suficientemente rápido para evitar que um efeito de *flickering* ("cintilação") torne-se aparente na tela.

O tubo não exige muita memória para manter uma imagem complexa construída por segmentos de reta, uma vez que apenas as coordenadas dos extremos dos segmentos, e as dos cantos da tela

precisam ser armazenadas. Esta era uma característica importante no início da CG, já que a memória era muito cara.

O computador gera as coordenadas dos pontos que definem a figura a ser mostrada na tela, e um DAC (conversor digital-analógico) é necessário para converter os pontos digitais em voltagens a serem enviadas para o CRT (Fig.5).

As desvantagens dos terminais gráficos vetoriais eram: a tecnologia cara, o efeito de flickering, e a memória limitada, que inviabilizava a descrição de imagens com detalhes complexos.

As vantagens: dispositivo gráfico de alta resolução (pelo menos 1000x1000), rapidez na geração de imagens simples, o que os torna adequados para testes iniciais em animação.

7.1.2.2 Terminais CRT com memória (Direct View Storage Tubes)

O CRT com memória é um tubo especial que se comporta como se o fósforo fosse de altíssima persistência. Uma imagem traçada nesse tipo de tubo pode manter-se por mais de uma hora sem sofrer desvanecimento. Entretanto, o tubo é construído com fósforo comum, e a longa persistência da imagem é conseguida pela inclusão de dois elementos adicionais ao tubo: um canhão espalhador de elétrons e uma máscara montada sobre a superfície do fósforo, entre a tela e os canhões.

Os elétrons são uniformemente espalhados por toda a superfície da tela pelo canhão espalhador, e a máscara funciona como um filtro que seleciona os pontos ou áreas da superfície a serem atingidas pelos elétrons. Para isso, a máscara é construída de material dielétrico passível de ser carregado de maneira não uniforme. As áreas carregadas positivamente atraem os elétrons, permitindo que passem pela máscara. Onde há carga negativa, os elétrons são repelidos, e não atingem o fósforo.

Um canhão de elétrons é responsável pela emissão de um feixe fino e intenso de elétrons que produz a carga diferenciada na máscara. Dessa forma são criados "buracos" na máscara que deixarão

os elétrons do outro canhão passarem, definindo a forma da imagem a ser gerada. O desenho gravado na máscara sustenta a imagem na tela até que uma voltagem positiva seja enviada para a máscara, apagando a imagem.

Vantagens dos sistemas DVST: alta resolução (pelo menos 1024x781); ausência de *flickering*.

Desvantagens: não há como apagar seletivamente a imagem. O apagamento da tela é sempre global, resultante do carregamento uniforme da máscara; o apagamento causa um efeito de *flashing* na tela; a tecnologia não é adequada para monitores coloridos (usa apenas fósforo verde); a imagem perde definição com o tempo; os tubos desgastam e precisam ser substituídos.

A tecnologia dos DVST está ultrapassada, tendo sido substituída pelos dispositivos de varredura matriciais.

7.1.2.3 Técnica de produção de cores em monitores de varredura randômica

Penetração de raios:

A inserção de cores em monitores CRT de varredura randômica se dá pela inclusão de duas camadas de fósforo, geralmente uma vermelha e uma verde, na tela do CRT e a produção das cores depende de quão rápido o feixe de elétrons penetra nas camadas de fósforo.

Um feixe de elétrons lento estimula somente a primeira camada e produz o pixel na cor vermelha. Um feixe rápido penetra a primeira camada e estimula a segunda, produzindo um pixel na cor verde. Feixes com intensidades intermediárias fazem com que haja a combinação das luzes vermelha e verde, produzindo duas cores adicionais: laranja e amarelo.

A velocidade do feixe de elétrons, assim como a cor de cada ponto na tela, é controlada pela voltagem aplicada ao raio.

Vantagens: baixo custo.

Desvantagens: número de cores limitado (quatro cores), qualidade das figuras é inferior aos demais métodos.

7.1.3. Primitivas de Software para Dispositivos Vetoriais

Uma primitiva de software é uma rotina ou um comando escrito em alguma linguagem que executa uma função básica de um aplicativo: ou seja, uma primitiva de software implementa uma única função. Um sistema de software complexo é construído através de chamadas hierárquicas para suas funções primitivas.

Praticamente todos os dispositivos de saída vetoriais trabalham com duas primitivas de software básicas: `moveto(dcx,dcy)` e `drawto(dcx,dcy)`. A primeira move a posição corrente (CP - current position) do feixe (ou caneta, no caso de um plotter) para o ponto definido pelas coordenadas do dispositivo especificadas, (dcx, dcy), que passa a definir a nova CP. A segunda desenha um linha reta (ou, em outras palavras, um vetor) entre o ponto definido pela CP e o ponto definido pelas coordenadas (dcx,dcy), que passa a ser a nova CP.

Num sistema gráfico com vários dispositivos de saída conectados ao computador hospedeiro, cada qual com seu próprio sistema de coordenadas, é conveniente que o sistema disponha de primitivas genéricas que sejam acessadas de maneira independente do dispositivo - através de NDCs ou de coordenadas físicas. As rotinas genéricas "move_to" e "draw_to", nesse caso, contém estruturas "case" com comandos alternativos para cada dispositivo admitido, e enviam a saída para o dispositivo de saída correntemente ativado, depois de fazer as conversões apropriadas [Rankin, p. 29].

7.2. Dispositivos Gráficos Matriciais (saída)

7.2.1. Impressoras

Impressoras matriciais: nessas impressoras, os caracteres são impressos por intermédio de um conjunto de agulhas - um ponto é impresso quando uma agulha pressiona a fita sobre o papel. As agulhas são montadas sobre um cabeçote móvel, e os diferentes caracteres são obtidos pelo acionamento conveniente das agulhas a medida que o cabeçote se movimenta.

Estas impressoras podem operar no modo texto para a impressão de caracteres, ou num modo gráfico ("bit image") pelo qual é possível controlar cada agulha de modo independente. Em outras palavras, o conjunto de padrões (caracteres) que podem ser impressos é programável. Cada padrão a ser impresso é definido por uma pequena matriz de pontos, onde cada ponto pode ser traçado ou não.

Impressoras gráficas: Diversas técnicas têm sido utilizadas na construção de impressoras gráficas, sendo que as mais comuns são as tecnologias de jato de tinta e laser.

Nas impressoras a jato de tinta, o cabeçote transporta um pequeno bico que expelle a tinta num jato curto e fino sobre o papel. É possível variar a intensidade do jato, obtendo-se assim controle sobre a densidade de impressão, e algumas impressoras dispõem de vários bicos com tintas de cores diferentes, cuja mistura produz diversas tonalidades.

Nas impressoras a laser, o processo de impressão é semelhante ao das copiadoras eletrostáticas. Um feixe de raio laser varre uma chapa numa trajetória semelhante ao de um cabeçote de uma impressora. O bombardeio do feixe deixa a chapa carregada com uma carga eletrostática não uniforme. Por efeito da intensidade da carga, uma tintura (tonner) adere à chapa e por pressão é impregnada no papel, formando a imagem. Apesar de utilizarem tecnologias distintas, estas impressoras produzem imagens de natureza semelhante (mas com qualidade superior) às geradas pelas impressoras matriciais em modo gráfico. As imagens são, em última instância, constituídas de minúsculos pontos regularmente espaçados.

7.2.2. Dispositivos de Vídeo de Varredura (Raster Scanning VDUs)

A tecnologia utilizada atualmente na grande maioria dos terminais de vídeo gráficos é a mesma dos aparelhos de TV. Um terminal gráfico simples requer (Fig. 6):

1. uma memória digital (frame buffer, ou "memória de imagem"), na qual a imagem a ser visualizada é armazenada como uma matriz de pixels (cada posição na matriz contém a intensidade associada ao pixel correspondente na tela) (Fig. 7). Os dados da imagem são colocados no frame buffer pelo computador hospedeiro.

2. o monitor

3. um controlador de vídeo (*display controller*), que consiste de uma interface que transfere o conteúdo do frame buffer para o monitor. Os dados devem ser transferidos repetidamente, pelo menos 15 vezes por segundo, de modo a manter uma imagem estável na tela, reduzindo o *flickering*. Note que processo de transferência implica numa conversão digital-analógica (DAC).

Para gerar a imagem, utiliza-se a técnica conhecida como *raster scanning* ("varredura", ou "rastreamento"), que é a mesma utilizada na geração de imagens de TV. Essa técnica também utiliza um CRT, sendo que o feixe de elétrons varre a tela muitas vezes por segundo, de acordo com uma trajetória fixa (Fig. 8). O feixe movimenta-se da esquerda para a direita, na horizontal. Ao final de uma varredura horizontal, o feixe (com intensidade anulada) é reposicionado no início da linha imediatamente abaixo, para nova varredura.

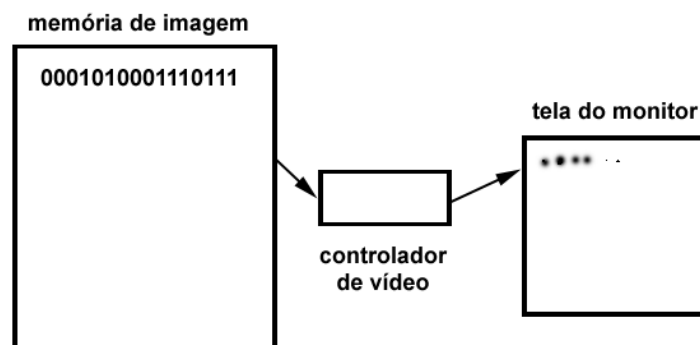


Figura 6. Uma seqüência de bits na memória de imagem é convertida para uma seqüência de pixels na tela.

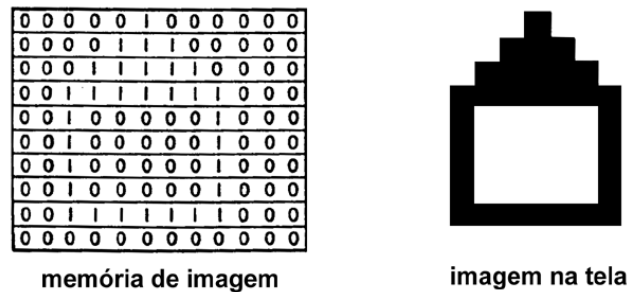


Figura 7. Representação esquemática de uma imagem matricial e sua representação num frame buffer.

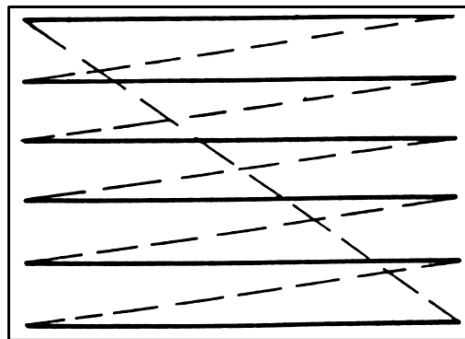


Figura 8. Varredura por rastreamento fixo.

Para garantir o "refrescamento" da imagem, o feixe é redirecionado ao ponto inicial da primeira linha sempre que atingir o final da tela. Note que a intensidade do feixe num determinado pixel é determinada pelo valor associado ao pixel no frame buffer. Se a memória consiste de apenas um bit por pixel, então o pixel pode ter apenas dois estados: on ou off. Se existem oito bits por pixel, então cada pixel pode variar entre 256 níveis de intensidade, desde completamente *off* (preto), passando por diferentes níveis de cinza, podendo chegar a completamente *on* (branco).

A drástica redução dos custos de memória de semicondutor, e o surgimento de circuitos integrados dedicados ao controle e à geração de sinais para terminais de rastreo fixo tornaram esta tecnologia extremamente competitiva. Na tecnologia de varredura, todos os pontos que compõem uma imagem precisam ser armazenados, e não apenas os pontos extremos dos segmentos de reta.

Conseqüentemente, gráficos de varredura requerem muito mais memória. Como o preço da memória digital está sendo reduzido à metade a cada ano que passa, a tecnologia tornou-se a alternativa mais acessível, utilizada tanto em microcomputadores como em estações de trabalho gráficas. Além do custo, outras vantagens são a capacidade de representar áreas cheias, e não somente linhas, e a possibilidade de utilização de cores ou diferentes níveis de cinza.

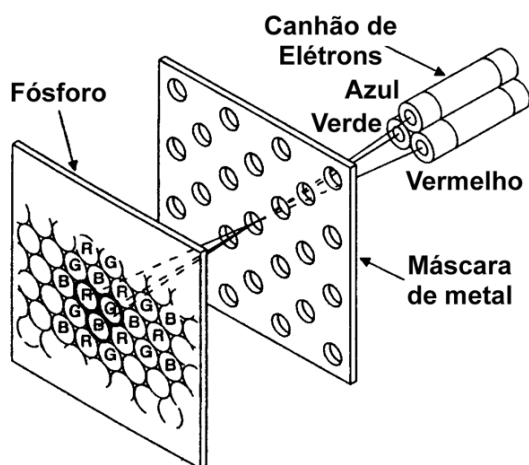


Figura 9. Representação esquemática de um CRT por varredura colorido.

Em monitores monocromáticos, toda a superfície da tela é revestida com o mesmo tipo de fósforo, e o feixe de elétrons pode ser direcionado para qualquer ponto da tela através das voltagens x e y. Num monitor colorido, cada pixel da tela é recoberto por três tipos de fósforo, que produzem as cores vermelho, verde e azul (Red, Green, Blue - RGB). Ao invés de um único feixe de elétrons existem três, cada qual associado a uma cor de fósforo.

Entre a superfície da tela recoberta de fósforo, e os feixes de elétrons, está uma barreira de metal, denominada shadow mask ou metal mask (Fig. 9), que, por meio de buracos em posições estratégicas, garante que cada feixe atinge apenas o fósforo ao qual está associado. Variando a intensidade de cada feixe obtem-se cores diferentes. Por exemplo, desligando-se os canhões vermelho e verde, obtemos a cor azul, a cor branca (ou cinza) é o resultado da ativação dos três feixes com igual intensidade, ect. Em alguns sistemas de baixo custo, o canhão de elétrons só pode ter dois estados: on ou off limitando o dispositivo a oito cores distintas. Os sistemas mais sofisticados utilizam níveis de intensidade intermediários para cada feixe possibilitando a geração de milhões de cores distintas.

R	G	B	Cor
0	0	1	Azul
0	1	0	Verde
1	0	0	Vermelho
0	1	1	Ciano
1	0	1	Magenta
1	1	0	Amarelo
0	0	0	Preto

Tabela 1. Cores RGB em três bits

Assim como nos monitores monocromáticos o feixe de elétrons está associado a um conjunto de bits na frame memory que determina a intensidade dos fósforos vermelho, verde e azul. Se existe apenas um bit associado a cada feixe (ou seja, três bits de memória por pixel), pode-se obter oito cores distintas, conforme mostrado na Tabela 1. O número de bits associado a cada pixel é denominado pixel depth (bit planes), ou "profundidade" do pixel.

Se cada feixe tem profundidade p , o pixel tem profundidade $3p$, e pode-se gerar 2^{3p} cores. Alguns terminais gráficos têm pixels com profundidade quatro, sendo que os três primeiros bits correspondem aos valores R, G e B, e o quarto especifica o brilho, ou intensidade total da cor mostrada. Isto resulta em $2^4 = 16$ cores possíveis para cada pixel. Outros sistemas usam valores diferentes de profundidade de pixel, com significados diferentes associados aos respectivos bit planes.

Se a profundidade do pixel é D , o número real de cores possíveis é 2^D , mas o número total de cores que podem ser mostradas, denominado palette range, pode ser bem maior. Ao invés de usar o valor do pixel armazenado na memória para controlar o feixe diretamente (e.g., usá-lo como uma cor), ele é usado como um índice para uma tabela de cores (color lookup table, CLUT). Um palette, ou "cor lógica", é um dos 2^D valores de pixel possíveis, e portanto existem 2^D palettes (0 a $2^D - 1$). Um software pode atribuir

valores associados a cores físicas às posições da look-up table correspondentes a um palette. Assim, o valor armazenado numa posição da tabela é usado para controlar a cor do pixel associado no monitor.

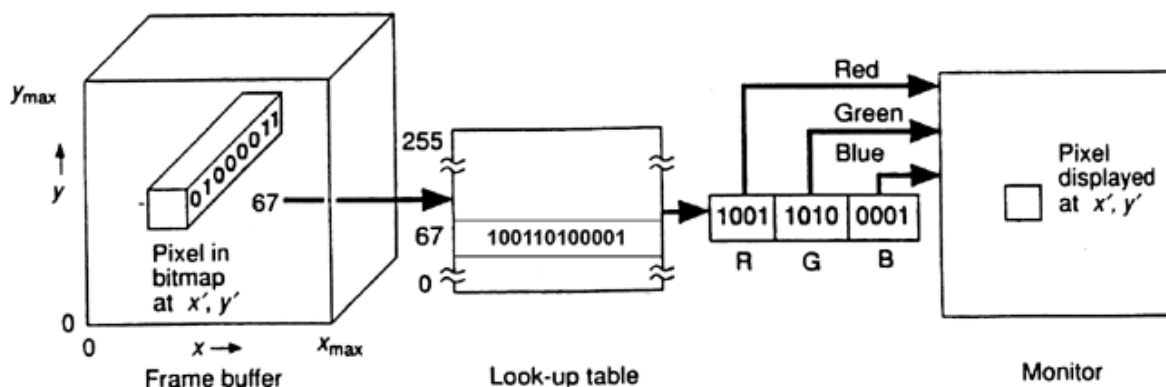


Figura 10. Organização de uma *video look-up table*

Em geral, a tabela de cores é uma área fixa de RAM com 2^D posições de 24 bits cada: a cada feixe (ou cor) são associados 8 bits, e portanto cada feixe pode ter 256 níveis de intensidade. Isto resulta num total de 16 milhões de cores possíveis, sendo que apenas 2^D podem ser mostradas simultaneamente na tela. A Fig. 10 mostra um frame buffer com 8 bits por pixel, e uma LUT com 12 bits por posição.

OBS:

- Monitores entrelaçados e não entrelaçados

Monitor entrelaçado: na primeira vez o raio de elétrons "desenha" uma linha sim outra não e na segunda "desenha" as que não foram preenchidas (ex. "desenha" somente as linhas ímpares e depois "desenha" somente as linhas pares).

Monitor não entrelaçado: "desenha" todas as linhas.

- *Dot pitch*

Dot pitch é a distância física entre dois pontos de fósforo adjacentes de mesma cor. Normalmente esta distância está entre 0.22 mm e 0.3 mm. Quanto menor a distância melhor será o nível de detalhe da imagem.

7.2.3. Primitivas de Software

A primitiva básica, no caso de um dispositivo matricial, traça um ponto numa determinada posição do retângulo de visualização:

```
int write_pixel(int dcx, int dcy, int pixel_value)
```

Também é possível ler dados de um dispositivo, através da primitiva inversa:

```
int read_pixel(int dcx, int dcy, int *pixel_value)
```

Em ambos os casos, os dados são lidos ou escritos no frame buffer, ou memória de imagem, que armazena todos os *pixels* de uma imagem a ser visualizada ou lida. Além disso, o programador precisa acessar a *lookup table* - caso ela exista - o que é feito através de duas primitivas:

```
int write_CLUT(int pixel_value, int R, int G, int B)
read_CLUT(int pixel_value, int *R, int *G, int *B)
```

Todos os comandos gráficos num sistema envolvendo dispositivos matriciais podem ser construídos a partir dessas quatro primitivas.

Num sistema básico com um dispositivo de visualização monocromático, as primitivas podem ser reduzidas simplesmente a duas rotinas básicas, que são casos especiais da rotina "write_pixel". Estas rotinas "acendem" e "apagam" o ponto definido pelas coordenadas (dcx,dcy).

```
dot_on(int dcx, int dcy); dot_off(int dcx, int dcy)
```

Apesar destas sub-rotinas usarem coordenadas de tela, rotinas num nível superior executariam as transformadas de visualização para converter coordenadas do usuário para coordenadas do dispositivo.

7.3. Displays planos

Apesar da maioria dos monitores ainda serem construídos com CRT's, outra tecnologia vem se aperfeiçoando e tomando um espaço cada vez maior em nossas vidas. Essa nova tecnologia (*flat-panel display*) refere-se a uma classe de dispositivos de vídeo com espessura e peso inferior aos CRT's. Este tipo de dispositivo já vem sendo utilizado em pequenos monitores de TV, calculadoras, vídeo games de bolso, laptop, entre outros.

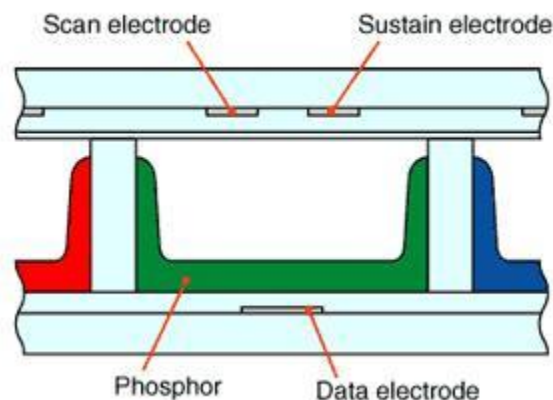
Os *flat-panel display* podem ser divididos em duas categorias: emissivos e não emissivos. Nos dispositivos emissivos a imagem é gerada através da emissão de luz, ou seja, convertem energia elétrica em luminosa. Painéis de plasma, diodos emissores de luz são exemplos de dispositivos emissivos. Existem CRT's que utilizam a tecnologia *flat-panel display* que também são emissivos, nos quais feixes de elétrons são disparados paralelamente a tela e então refletidos a 90° em relação a tela. Mas este tipo de CRT não teve tanto sucesso quanto os demais dispositivos emissivos. Nos dispositivos não emissivos a imagem é gerada através de efeitos ópticos. São baseados na modulação de uma fonte externa de luz a qual atingirá o observador após refletir-se na superfície de visualização. Um dos exemplos mais importante dessa classe são os dispositivos de cristal líquido.

7.3.1 Painéis de plasma ou PDP (gas-discharge displays)

Os monitores de plasma têm uma estrutura que lembra um pouco a dos monitores LCD. Também temos duas placas de vidro e eletrodos que

aplicam tensões elétricas nas células que geram a imagem. A grande diferença está justamente nas células. Ao invés de cristais líquidos, os monitores de plasma são formados por estruturas com o mesmo princípio de funcionamento das lâmpadas fluorescentes. A grosso modo, dá para dizer que num monitor de plasma a imagem é formada por alguns milhões de minúsculas lâmpadas fluorescentes verdes, azuis e vermelhas.

O diagrama abaixo mostra bem esta estrutura. Temos pequenas cavidades feitas na placa de vidro inferior, onde é depositada uma camada de fósforo colorido. Além do fósforo a cavidade contém gases como néon, xenônio e hélio que ao receberem uma descarga elétrica liberam radiação ultra-violeta que acende a camada de fósforo, gerando a imagem.



Cortesia da Nec Corporation

Estas cavidades não podem ser muito pequenas, por isso os monitores de plasma costumam ter um dot-pitch em torno de 1 milímetro, quase 30 vezes maior do que em um bom monitor CRT.

A princípio, esta é uma grande desvantagem que não permite que os monitores de plasma suportem altas resoluções, mas por outro lado permite que as telas sejam muito grandes.

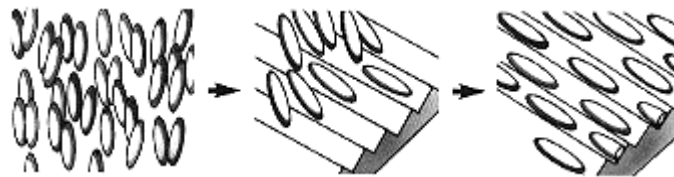
7.3.2 LCD (liquid-crystal displays)

O cristal líquido foi descoberto pelo austríaco Rheinitzer em 1888. Em 1963, Williams da RCA descobriu que a maneira com que a luz passa pelo cristal líquido muda quando estimulado por uma carga elétrica, mas o primeiro protótipo só foi criado cinco anos depois por outro pesquisador da RCA. Os LCD's são geralmente utilizados em calculadoras ou laptop. O termo cristal líquido refere-se ao fato dos componentes possuírem uma disposição cristalina de moléculas, ainda que eles fluam como um líquido, ou seja, indica o status de uma substância que não é nem líquida nem sólida.

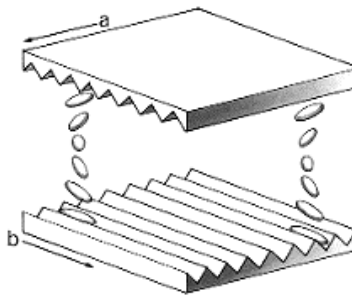
7.3.2.1 Princípio de funcionamento de um display de cristal líquido (*nematic TN liquid crystal display - LCD*):

Cristal líquido é um termo utilizado para indicar o estado de uma substância que não é nem sólida nem líquida.

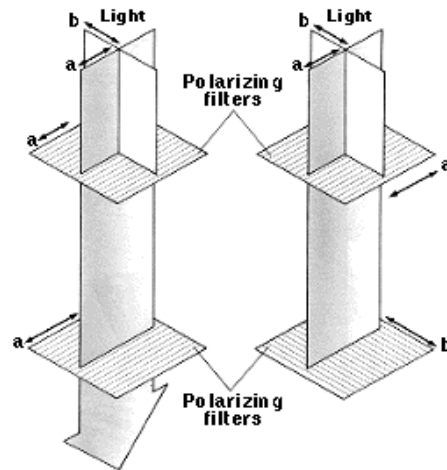
* As moléculas de cristal líquido se alinham paralelamente quando entram em contato com uma superfície com ranhuras em uma direção fixa.



* Quando os cristais líquidos são colocados entre duas placas com ranhuras nas direções *a* e *b* como indica a figura abaixo, as moléculas sofrem uma rotação de 90°.



* A luz passa quando dois filtros polarizados estão alinhados, senão a luz é bloqueada.



A combinação de filtros polarizados e cristal líquido forma o que chamamos de LCD. A figura abaixo mostra os componentes básicos de um LCD e seu funcionamento. Quando dois filtros polarizados são arrumados de maneira a estarem perpendiculares aos eixos polarizadores, a luz entra redirecionada a 90° e segue a direção na qual as moléculas estão. As moléculas tendem a ficar na direção das trilhas das placas de alinhamento. Se as moléculas giram 90° , a luz também gira e passa pelo filtro. Quando uma voltagem é aplicada, as moléculas de cristal líquido organizam-se verticalmente, parando assim o redirecionamento da luz, ocasionando o bloqueio da passagem de luz pelo filtro.

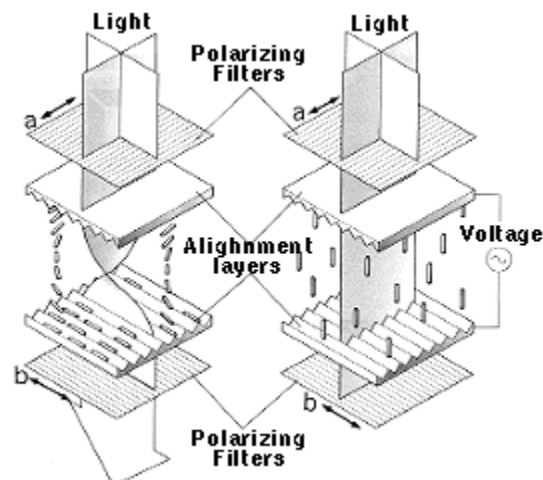
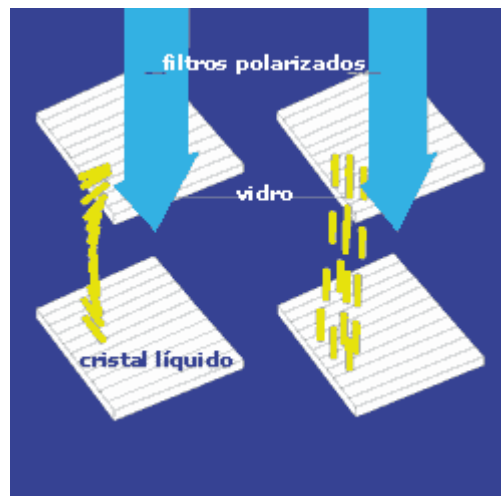


Figura 12. Composição e funcionamento dos LCD's

As telas LCD se baseiam em uma tecnologia que produz imagens sobre uma superfície plana composta por cristal líquido e filtros coloridos. O cristal líquido é uma substância cujas moléculas podem ser alinhadas quando sujeitas a campos elétricos, algo parecido com o que acontece com fragmentos de metal quando se aproximam de um ímã. No caso dos monitores, quando alinhado apropriadamente, o cristal líquido permite a passagem da luz, para que a imagem seja gerada.



De forma simplificada, a ausência de voltagem nos monitores LCD é sinônimo de passagem de luz, enquanto voltagem significa bloqueio da luz.

Duas superfícies com filtros polarizados, que podem ser encarados com um conjunto de fios finíssimos paralelos, controlam os raios de luz que passam através das moléculas de cristal líquido. As linhas de um dos filtros são dispostas perpendicularmente às linhas do outro filtro, e as moléculas entre as duas superfícies

são forçadas a um estado torcido, direcionando os raios de luz da mesma forma.

Assim, quando não há nenhum campo elétrico aplicado às moléculas, a direção do raio de luz vai sendo alterada à medida que passa pelo cristal até encontrar a segunda superfície, cuja direção das ranhuras coincidirá com a do raio de luz.

Se um campo for aplicado ao cristal, as moléculas se reorganizam verticalmente, fazendo com que os raios de luz percorram o intervalo sem alterar sua direção até encontrar a segunda superfície que bloqueará os raios.

Uma fonte de luz fluorescente, identificada geralmente pelo termo backlight, é responsável pela emissão dos raios que são alinhados pelos filtros polarizados. A luz direcionada passa, então, pela camada contendo milhares de bolhas de cristal líquido arranjadas em pequenas células que, por sua vez, estão dispostas em linhas na tela. Uma ou mais células formam um pixel no monitor.

Em telas LCD monocromáticas, como as encontradas em diversos handhelds, o funcionamento básico é esse. Mas, em modelos coloridos, cada pixel é formado por três células de cristal líquido, cada uma delas, barradas por filtros vermelho, verde ou azul. Ao passar por essas células filtradas, a luz produz as cores que são vistas nas telas LCD.

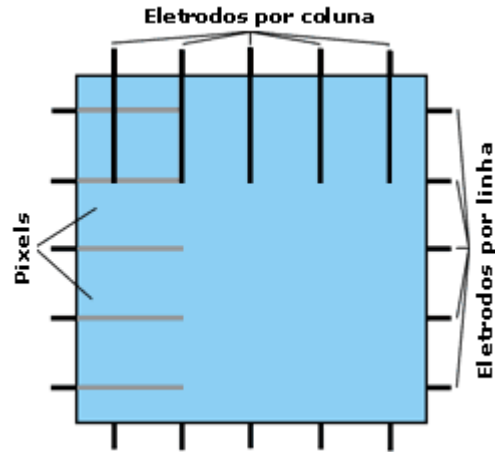
7.3.2.2. Matriz Passiva e Matriz Ativa

O modo como o brilho dos pixels é controlado divide as telas de cristal líquido em duas categorias. A forma mais simples e barata para endereçar os elementos da imagem ficou conhecida como tecnologia de matriz passiva. Nesse esquema, a tela consiste de uma grade de fios horizontais e verticais. A intersecção dos fios define um pixel, e a corrente que controla os pixels é enviada através desses fios.

Para determinar o nível de brilho de cada pixel, aplica-se uma carga elétrica para que o cristal se realinhe e altere a direção do raio de luz. O processo é repetido seqüencialmente por linha, da parte superior da tela até a inferior – para cada linha da grade de pixels, a corrente apropriada flui pelas colunas até a linha selecionada, para que o cristal seja alinhado à direção desejada.

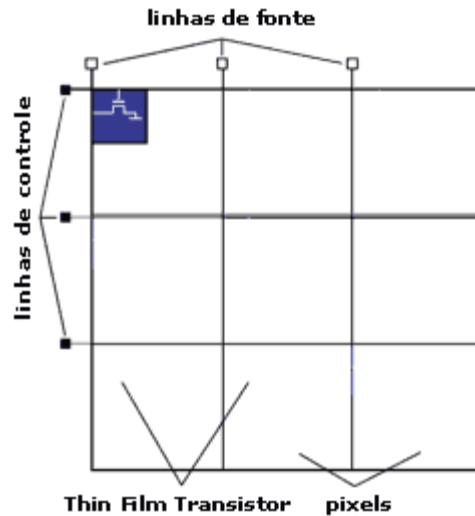
Apesar de também produzirem imagens bem definidas, as telas de matriz de passiva são suscetíveis a flicker (Confira mais detalhes sobre esse efeito na parte 2 do Samsung Responde). Para reduzir esse efeito, o cristal líquido usado nessa solução apresenta baixo tempo de resposta, ou seja, depois que as moléculas são orientadas pela carga elétrica, demoram para retornar ao seu estado anterior, desalinhado. Essa característica pode ser associada à persistência do fósforo usado em monitores de tubo de raios catódicos. A resposta lenta do cristal faz com que cenas em movimento não sejam muito nítidas, fato que desaconselha o uso da matriz passiva, por exemplo, em situações de conteúdo dinâmico, como em jogos e filmes ou na movimentação do cursor do mouse na tela.

Além disso, o endereçamento usado pelos monitores de matriz passiva também é responsável por um outro efeito indesejável: quando um pixel é ativado, pode haver alguma influência sobre os pixels vizinhos na mesma linha e coluna. Esse efeito é conhecido por crosstalk, um distúrbio causado por campos elétricos que afetam circuitos ou sinais adjacentes, afetando diretamente a aparência dos pixels próximos. Uma solução encontrada pelos fabricantes para reduzir esse sintoma foi dividir a tela em uma metade inferior e outra superior, de modo a fazer a varredura em cada uma delas independentemente. Esse tipo de tela é chamada de DSTN (Dual Scan Twisted Nematic). Alguns modelos ainda contam com um recurso extra, que faz um endereçamento simultâneo de duas linhas.



Endereçamento passivo

As telas de matriz passiva ainda são usadas hoje em pagers e telefones celulares. A maioria das telas LCD usadas em notebooks e em monitores adotam uma outra tecnologia de matriz ativa, que reserva um transistor, chamado TFT (Thin-Film Transistor) para alimentar cada pixel separadamente, podendo ativar ou desativá-lo de modo independente. Esse método permite que a corrente que alimenta os pixels seja menor e, portanto, possa ser gerada ou interrompida mais rapidamente, afastando os problemas com imagens dinâmicas. Assim, quando o ponteiro do mouse se move pela tela, os monitores LCD de matriz ativa conseguem refletir o movimento de modo mais rápido.



Endereçamento ativo

Por outro lado, por serem capazes de endereçar cada pixel individualmente, as telas LCD de matriz ativa não apresentam problemas de crosstalk. Esse é um dos motivos pelo qual o texto nessa categoria de monitores é mais bem definido do que nos CRT que, quando apresentando problemas de foco no canhão de elétrons, podem excitar pixels vizinhos, prejudicando a qualidade do texto.

Outro benefício alcançado pelo fato de cada pixel nas telas LCD de matriz ativa ser alimentado separadamente, e pode ser ativado ou desativado de modo independente é a eliminação do efeito flicker, responsável por uma cintilação da imagem exibida na tela.

A tecnologia de matriz ativa também permitiu que se produzissem telas LCD maiores do que 10 polegadas, que pudessem reproduzir imagens com qualidade comparável à dos monitores CRT.

A principal desvantagem dos monitores de cristal líquido TFT é a complexidade extra no processo de fabricação; o substrato de vidro onde os transistores são montados é, na verdade, um único chip, com 10 a 20 polegadas na diagonal. Como o LCD é geralmente construído sobre um único substrato, por razões de custo, o grau

de atenção no processo de fabricação deve ser muito alto. Apenas para efeito de comparação, um substrato com quatro painéis de resolução de 800 por 600 pontos usa cerca de 5,8 milhões de transistores, mais do que o volume usado pelo processador Pentium.

Essa enorme quantidade de componentes é outro fator que dificulta a produção de monitores TFT perfeitos. Pequenos problemas de fabricação podem fazer com que alguns pixels fiquem permanentemente claros ou escuros. Cada fabricante adota seu próprio índice aceitável de qualidade, que reflete o número de pixels defeituosos por monitor. Pode-se verificar a existência de defeitos na tela, preenchendo-a com um fundo branco ou preto uniforme; procure pontos que se destacam dos demais.

7.3.3 Monitores FED

Numa comparação direta entre os monitores CRT e LCD atuais, os CRT perdem de goleada. Praticamente o único motivo para ainda usarmos estes monitores antiquados, que mantém o mesmo princípio de funcionamento, descoberto no início do século é mesmo o preço. Pouca gente ainda compraria um CRT se os LCDs custassem o mesmo.

Infelizmente, este ainda é um futuro distante. Ainda demorará vários anos até que o custo dos monitores LCD caia a este ponto. Isso considerando a possibilidade disto realmente chegar a acontecer.

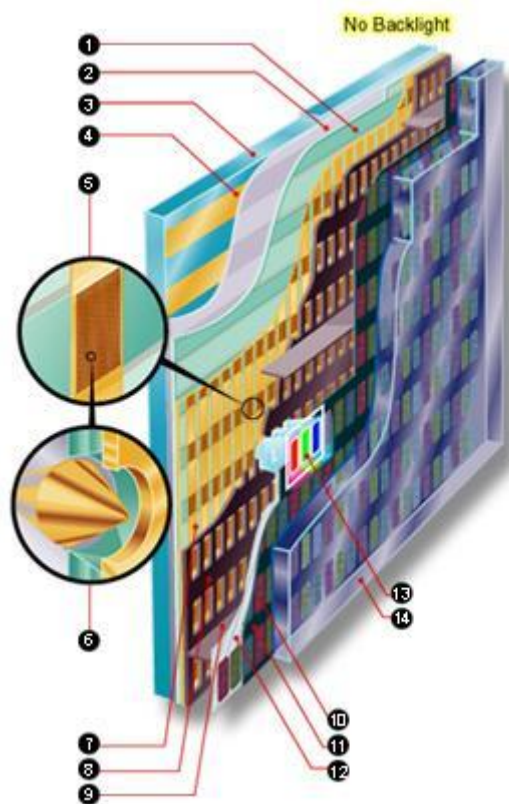
Mas, existe uma tecnologia promissora, que pode servir muito bem como um meio termo, ou até mesmo como substituta para ambas as tecnologias. São os monitores FED, ou field emission displays (monitores de emissão de campos).

O princípio de funcionamento é o mesmo dos monitores CRT. Despejar elétrons sobre as células de fósforo do monitor que transformam a carga em luz, gerando a imagem. A diferença é que ao invés de um único e poderoso canhão de elétrons que se desloca para atualizar

uma a uma todas as células de fósforo, como temos nos monitores convencionais, cada célula de fósforo passa a ser alimentada por um conjunto de mini-canhões, na forma de pontas metálicas minúsculas.

Existem duas grandes vantagens nesta técnica. A primeira é a possibilidade de produzir monitores CRT quase tão finos quanto os LCDs atuais e a segunda é uma brutal diminuição no consumo elétrico, pois não existe todo o desperdício feito pelo canhão de elétrons. Cada micro-ponta utiliza apenas a energia necessária para manter a imagem.

Veja no esquema abaixo como funciona um monitor FED:



Cortesia da Candescent Technologies

1. Dielétrico

2. Camada resistiva
3. Catodo (emite cargas elétricas negativas)
4. Linhas de metal
5. Conjunto de micro pontas
6. Uma das micro pontas em destaque
7. Colunas de metal
8. Grade de metal (impede que as emissões destinadas a uma célula de fósforo atinjam também a vizinha, melhorando a qualidade de imagem)
9. Parede de vidro
10. Célula de fósforo
11. Matriz preta
12. Camada de alumínio com cargas positivas (Anodo)
13. Pixel aceso
14. Camada de vidro

Os monitores FED apresentam vantagens até mesmo sobre os monitores LCD, pois não existem limitações no ângulo de visão e o consumo elétrico é muito baixo, menos de 5 watts para um FED de 14 polegadas.

Já existem algumas empresas produzindo monitores FED, entre elas a Candescent, que fabrica monitores entre 4.4 e 13.2 polegadas, destinadas a várias aplicações. Por enquanto, os monitores FED ainda são bem mais caros até mesmo que os monitores LCD, mas esta

tecnologia tem potencial para cair bastante de preço nos próximos anos.

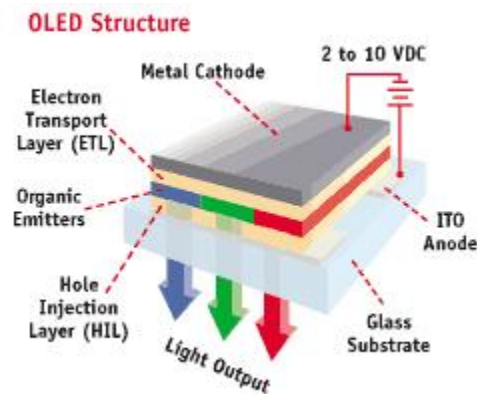
7.3.4 Monitores OLED

OLED vem de Organic Light Emitting Diode (ou Diodo Orgânico Emissor de Luz). Esta tecnologia promete telas planas muito mais finas, leves e baratas que as atuais telas de LCD. A idéia é usar diodos orgânicos, compostos por moléculas de carbono que emitem luz ao receberem uma carga elétrica. A vantagem é que ao contrário dos diodos tradicionais, estas moléculas podem ser diretamente aplicadas sobre a superfície da tela, usando algum método de impressão. Acrescentados os filamentos metálicos que conduzem os impulsos elétricos a cada célula, está pronta a tela a um custo bastante baixo.

Este tipo de display pode ser produzido até mesmo usando uma impressora jato de tinta, equipada com as "tintas" corretas. É uma técnica muito barata, que combina bem com displays de baixa densidade, como os usados nos aparelhos de som automotivos e nos celulares mais populares. Como estas telas são muito simples, esta tecnologia apresenta um custo bem inferior ao cristal líquido. Outro possível uso seria o tão aguardado e-paper, um tipo de tela flexível, barata o suficiente para ser usada em livros digitais ou leitores descartáveis para jornais e outras publicações que seriam vendidas em formato digital.

Outra possibilidade é a construção de telas mais elaboradas, capazes de bater de frente com os monitores LCD. OS OLEDs podem ser utilizados tanto em telas de matriz passiva, quanto de matriz ativa, onde o que muda nas duas técnicas é basicamente o uso ou não de um transistor por célula, e não o material em si. A Kodak, junto com outras companhias, vem trabalhando em telas semelhantes à do diagrama abaixo, onde temos OLEDs de três cores, prensados entre um Catodo, emissor de cargas negativas e um Anodo, carregado

com cargas positivas. A combinação das duas camadas faz com que as cargas elétricas passem pelos OLEDs, produzindo luz:



Cortesia da Kodak Company

Esta tecnologia, bem mais revolucionária, pode ser usada em microdisplays, telas de duas ou três polegadas de diâmetro, mas com alta resolução, que podem ser usadas em várias áreas, como projetores - onde uma fonte de luz instalada atrás da tela se encarrega de projetar a imagem na tela - ou mesmo em aparelhos mais avançados, como, por exemplo, óculos onde são mostradas imagens geradas por um computador portátil, que serão comuns quando os computadores de vestir começarem a se tornar populares. Isso tudo sem falar na próxima geração de celulares, que serão capazes de exibir vídeos.

Não está descartado o uso em monitores no futuro, mas o grande problema é construir monitores de matriz ativa, com uma qualidade de imagem semelhante à dos monitores LCD. Neste caso o baixo custo dos monitores OLED fica comprometido, pois é necessário construir toda a estrutura da tela, incluindo o transístor para cada pixel, os circuitos de controle etc. É mais provável que no futuro os OLEDs sejam mais utilizados em telas de palmtops, celulares e outros tipos de aparelhos portáteis, com telas de baixa densidade.

Os fabricantes também vêm enfrentando problemas com a durabilidade dos materiais usados para fazer telas coloridas. A Cambridge

Display por exemplo, apresentou um protótipo de tela colorida, onde o azul se perdia depois de apenas 1.000 horas de uso, deixando as cores completamente desbotadas.

7.3.5 Monitores EL (eletroluminescent)

Os monitores EL utilizam um tipo especial de fósforo que emite luz ao receber uma carga elétrica. Com excessão do material usado, o design destes monitores é semelhante ao dos monitores LCD de matriz passiva, com linhas e colunas de filamentos que ativam as células de fósforo, filtros coloridos verdes, vermelhos e azuis, onde cada trio é responsável por um pixel da imagem e uma camada de vidro sobre tudo.

A vantagem dos ELs é o fato dos materiais serem menos sensíveis à impurezas que os LCDs. Isso permite que estes monitores sejam fabricados fora das salas limpas, que respondem por uma porcentagem considerável dos custos dos fabricantes de LCDs.

Assim como os OLEDs, esta é uma tecnologia emissiva, que têm um ângulo de visão muito parecido com os monitores CRT. Justamente por isso, esta tecnologia é cogitada como um substituto de baixo custo para os telões de plasma.

∴ Monitores FSA

Esta é uma tecnologia que ainda está sendo desenvolvida, mas promete para o futuro. Nos monitores LCD de matriz ativa, toda a tela é tratada com silício amorfo, ou poli-silício, para construir os transístores que criam a imagem. O monitor vira então uma espécie de chip gigante, caríssimo de se produzir, já que o custo de produção de chips é proporcional ao seu tamanho.

Ao mesmo tempo, este vidro tratado não é um material tão bom para a construção de transístores quanto o waffer de silício usado em processadores. Surge então o segundo problema, que é um índice

muito alto de transístores com defeito. Cada transístor defeituoso fará com que um ponto da tela fique com sua cor alterada, sempre aceso, ou sempre apagado, que claro, será notado pelo usuário ao ver uma imagem predominantemente branca ou escura. Estes são os chamados bad pixels.

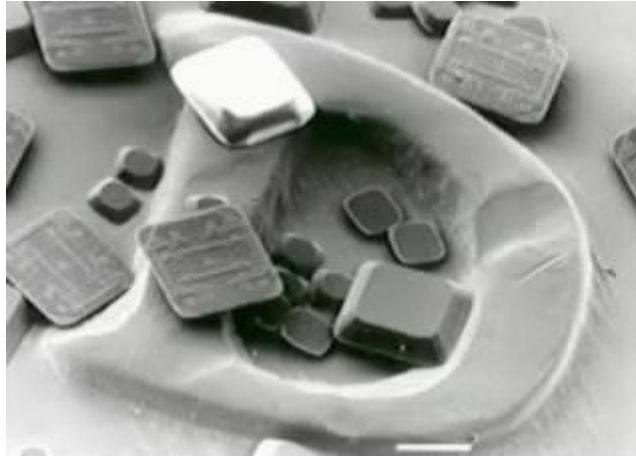
Como um monitor LCD tem três transístores para cada pixel (um para cada uma das três cores), e um monitor de 1024 x 768 tem 786.432 pixels, são mais de dois milhões de transístores ao todo. É complicado construir monitores sem um único transístor defeituoso.

Os fabricantes estabelecem então um número máximo de pixel defeituosos "toleráveis". Alguns fabricantes optam por vender apenas monitores sem nenhum bad pixel, outros estabelecem um número entre um e cinco. Os monitores que não atendem ao controle de qualidade são simplesmente descartados, o que representa um grande prejuízo, que acaba repassado aos consumidores.

A tecnologia FSA (fluidic self-assembly) desenvolvida pela Alien Technology pode ser a resposta para este problema. Nesta tecnologia, ao invés de construir os transístores diretamente na camada de vidro, são fabricados waffers de silício tradicionais, com milhões de transístores, que são posteriormente separados.

Como neste caso é utilizado um material mais adequado, o número de transístores defeituosos é muito mais baixo e ao mesmo tempo existe a possibilidade de testar os transístores individualmente, descartando os problemáticos.

Estes transístores, chamados nanoblocks, podem ser produzidos em vários tamanhos, de acordo com a aplicação. Na foto abaixo por exemplo estão nanoblocks de 185 e de 70 microns sobre uma moeda:



Cortesia da Alien Technology

Note que a parte inferior dos nanoblocks possui um formato diferenciado. Esta inclinação é conseguida através de uma pequena mudança no ângulo de corte do waffer. A idéia desta inclinação é fazer com que os nanoblocks possam ser encaixados em pequenas depressões feitas na base da tela, substituindo os transístores que são feitos diretamente sobre o vidro nos monitores de LCD.

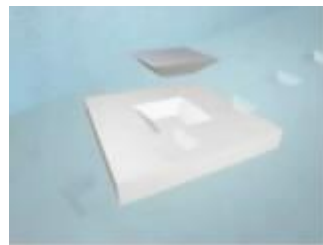
Seria complicado encaixar as pecinhas uma a uma, por isso desenvolveram uma técnica que permite aplicar todas de uma vez com a ajuda de um líquido especial. Basicamente, uma quantidade muito grande de nanoblocks é misturada no líquido, que em seguida é jogado sob pressão sobre a superfície onde eles serão fixados. Com isto, os nanoblocks naturalmente encaixam-se nas depressões. Terminado o processo, o líquido é recolhido e usado novamente para formar outra tela. Como os nanoblocks não são danificados no processo, é possível reutilizar o líquido várias vezes.



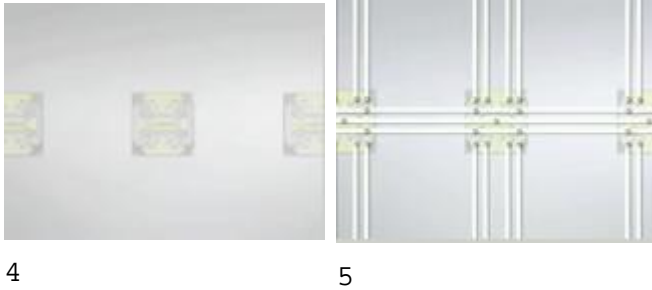
1



2



3



Cortesia da Alien Technology

Na fase 4 temos os nanoblocks já devidamente encaixados na base da tela. Em seguida são construídos os filamentos metálicos responsáveis por alimentar os transistores.

Neste caso os transístores não geram a imagem, apenas controlam as cargas elétricas como num processador. Para obter a imagem, é necessário adicionar o material que gerará a luz apartir destes impulsos.

Seria possível utilizar cristais líquidos, criando um monitor LCD de matriz ativa um pouco mais barato que os normais, mas a melhor idéia neste caso seria utilizar um material eletrosensível, como a dos monitores OLED ou EL, que poderia ser aplicada usando uma técnica de impressão.

Os nanoblocks podem ser montados sobre praticamente qualquer superfície, não necessariamente vidro. Isto abre mais uma possibilidade para esta tecnologia, que é a construção de displays flexíveis, feitos de plástico, bastante finos e baratos:



Este tipo de display é mais adequado para celulares, Palm, Pagers, Smart Cards etc, mas nada impede que a mesma tecnologia não seja utilizada para construir grandes monitores coloridos. Nada impede que o atual método de fabricação dos monitores LCD não possa ser substituído pelo uso de nanoblocks, o que diminuiria consideravelmente os custos de produção, mantendo as mesmas características dos monitores atuais. Já seria o suficiente para os LCDs ficarem 30 ou 40% mais baratos.

Infelizmente, esta é uma tecnologia proprietária, por isso, a adoção ou não desta tecnologia dependerá mais da maneira como a Alien administrar sua política de licenças do que da eficiência da técnica.

7.4. Dispositivos 3D

Uma das técnicas utilizadas para representação de objetos 3D é a projeção de visão perspectiva 3D ou estereoscópica, ao invés da visão planar usada em ambientes *desktop*. A percepção de profundidade está diretamente associada à visão estereoscópica, em que cada olho registra uma imagem diferente e o cérebro usa o pequeno deslocamento lateral destas imagens para medir a profundidade de objetos próximos. A percepção de profundidade pode ocorrer, entretanto, com dois olhos ou com apenas um. Quando apenas um olho é usado, a profundidade é percebida baseada em características inerentes à imagem, como perspectiva linear, sombras, oclusões (objetos mais distantes são bloqueados por objetos mais próximos), texturas e detalhes do objeto. Também importante na visão monocular é o "motion parallax": quando se move a cabeça, objetos mais próximos movem-se mais depressa do que objetos mais distantes [PIN99]. Além disto, são usadas informações sobre a rotação de cada olho, ou da chamada "convergência", para determinar a real posição de um objeto.

Dispositivos como óculos estereoscópicos e capacetes de Realidade Virtual utilizam visão estereoscópica para produzir efeitos tridimensionais.

7.4.1. Tipos de dispositivos de entrada e saída utilizados em ambientes 3D:

7.4.1.1 Luvas eletrônicas

As luvas eletrônicas surgiram da necessidade de manipular objetos no ambiente virtual. Elas tentam capturar os movimentos das mãos (e dos dedos) e usá-los como forma de interação com o usuário. A mais famosa de todas as luvas de uso doméstico, a "Power Glove" (Figura 13), criada pela empresa Mattel para a Nintendo, é uma luva que usa tinta condutiva para aferir o movimento dos dedos.

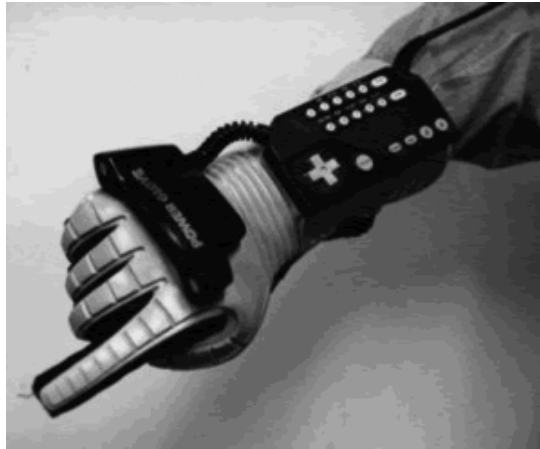


Figura 13. Power Glove: um dos modelos de *dataglove* vendidos comercialmente

7.4.1.2 Stereo Glasses ou Shutter Glasses

Úteis em aplicações como visualização científica ou cirurgias nas quais várias pessoas precisam observar a mesma imagem estéreo, estes dispositivos buscam gerar estas imagens a partir de uma tela de computador convencional. A idéia é colocar no usuário um par de óculos com lentes de cristal líquido capazes de bloquear sua visão quando necessário. Para o funcionamento do sistema, deve haver um controle que atua da seguinte forma: exibe-se na tela a imagem correspondente a do olho esquerdo e bloqueia-se a visão do olho direito. A seguir, faz-se o contrário. Nestes sistemas, a dificuldade é a garantia do sincronismo no processo de exibição e bloqueio.

7.4.1.3 Head Mounted Displays (HMD)

O capacete de visualização HMD cumpre a função de fornecer a imagem do ambiente virtual ao usuário. Quando o usuário veste o capacete, é como se ele se isolasse do mundo real e mergulhasse no ambiente virtual, ou seja, se o usuário olha para cima, por exemplo, espera ver o céu, se olha para baixo espera ver o chão, e

assim por diante. Portanto, o capacete possui as funções de entrada, já que detecta o movimento da cabeça, e de saída (fornece a imagem).

A idéia dos HMDs ou VPC (Visores Presos a Cabeça) é exibir em duas pequenas telas (uma para cada olho) imagens de uma cena virtual. Os HMDs são construídos, normalmente, usando dois tipos de monitores: os CRTs, ou os monitores de cristal líquido, os LCDs. Os monitores CRT, em função da avançada tecnologia disponível nesta área, podem exibir imagens de alta resolução com uma qualidade de cor excelente, mesmo em pequenas dimensões.

Entretanto, são relativamente pesados, volumosos e colocam altas voltagens muito próximas à cabeça do usuário. Os LCDs, por sua vez, são leves e podem ser usados com pequenas voltagens. Entretanto, a resolução ainda é baixa. Acoplados aos HMDs, em geral, existem sistemas de rastreamento da posição da cabeça para permitir que se atualize as imagens do mundo virtual de acordo com a direção de observação.

7.4.1.4 BOOM - Binocular Omni-Orientation Monitor

Em algumas aplicações de Realidade Virtual a qualidade da imagem é essencial. Nestas, torna-se essencial o uso de óculos baseados em CRTs. Para evitar, então, problemas com as altas voltagens necessárias e com o peso inerente a estes dispositivos, foram criados os BOOMs. O BOOM, assim como o HMD, oferece visão estereoscópica, mas possui uma estrutura de suporte para que o usuário não tenha que suportar o peso do dispositivo (Figura 14). Trata-se de pequenos monitores colocados em uma caixa dentro da qual o usuário pode olhar. Esta caixa fica suspensa por um braço mecânico, que leva a corrente elétrica necessária até os monitores. O braço mecânico é, em geral, articulado, permitindo que o usuário, segurando a caixa, possa girá-lo em qualquer direção. Se for colocado nas juntas deste braço mecânico um conjunto de sensores, este pode servir também como rastreador da

posição da cabeça. A empresa FakeSpace [FAK00] fabrica um BOOM de alta resolução (1280x1024) capaz de exibir imagens de 16 milhões de cores e que permite ao usuário 6 DOF (graus de liberdade).

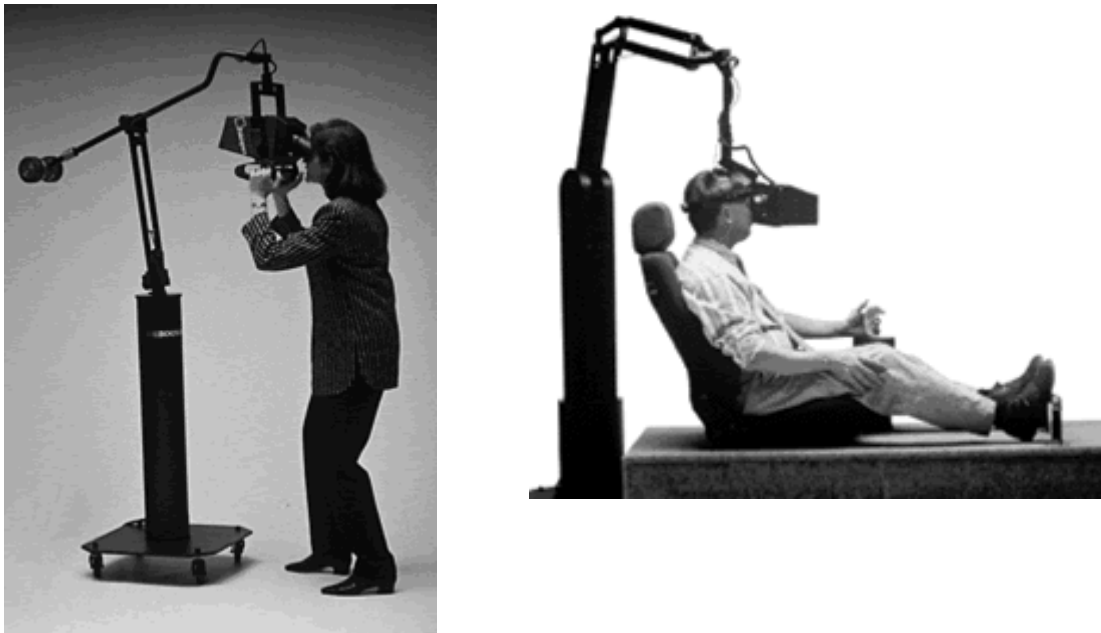


Figura 14. Modelos de boom vendido comercialmente

7.4.1.5 CAVE e WALL

O CAVE, ou *CAVE Automatic Virtual Environment*, foi criado por cientistas do Laboratório de Visualização Eletrônica da Universidade de Illinois em 1992. Ele constitui-se de uma sala escura na qual as imagens são projetadas nas paredes e no chão em alta resolução, incluindo áudio e visão estereoscópica. As imagens parecem flutuar no espaço. É usado para pesquisa, exploração, prototipação rápida, engenharia, design e marketing.

Vários centros de pesquisa e universidades no exterior desenvolvem trabalhos utilizando este tipo de interface, como é o caso do projeto da Universidade de Michigan, cujo objetivo é obter um ambiente para treinamento médico Virtual (*Reality-Enhanced Medical Readiness Trainer - MRT®* [MIC00]) que integre as mais

avançadas tecnologias, como simuladores de pacientes humanos, sistemas de realidade virtual imersivos CAVE, tecnologia Internet, vídeo conferência e alguns outros aspectos relacionados a sistemas virtuais distribuídos e compartilhados para o treinamento de emergências médicas. O WALL é um ambiente virtual semelhante, utilizado para apresentações em grupos ou trabalhos colaborativos que possui dois ou mais projetores de alta resolução e visão estereoscópica por shutter glasses.

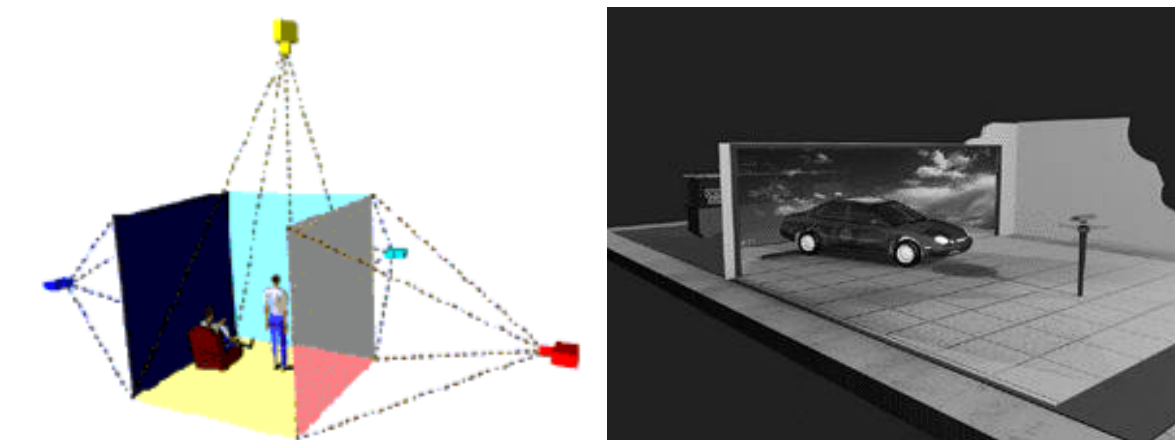


Figura 15: CAVE e Wall

8. Dispositivos de Entrada

Juntamente com os dispositivos de saída, os dispositivos de entrada gráfica permitem o estabelecimento da comunicação usuário-máquina. É importante que programadores de sistemas e aplicativos gráficos compreendam a natureza dos principais dispositivos de entrada, de forma a selecioná-los adequadamente em função da natureza das informações a serem tratadas, e da maior ou menor facilidade que oferecem aos usuários para exprimir informações.

8.1. Teclado

O teclado alfanumérico é o recurso mais utilizado na comunicação entre usuário e máquina, permitindo a entrada de textos e dados

numéricos. Um teclado alfanumérico estendido inclui teclas adicionais para a seleção de alternativas em menus ou para o disparo de funções específicas. Teclas de movimento de cursor podem ser usadas para seleção de coordenadas de um ponto em uma tela gráfica. Em geral, valores de coordenadas especificando posições de um cursor na tela são fornecidas para o computador por meio de dispositivos como a *light pen*, o joystick, o mouse e as mesas digitalizadoras (tablets).

8.2. Light Pen

É um dispositivo que funciona associado a um monitor de vídeo, e que é capaz de detectar luz. A caneta tem em sua ponta uma célula fotoelétrica e um interruptor de pressão. Ao ser pressionado contra a tela, o interruptor habilita a célula a detectar o pulso de luz emitido pelos fósforos que recobrem a tela no ponto sendo apontado.

Quando a *light pen* detecta um pulso de luz num terminal de varredura, o conteúdo dos registradores X e Y do controlador de vídeo é armazenado, e o processamento é interrompido. Através dos valores armazenados, o software gráfico determina as coordenadas do pixel apontado pela caneta. Quando detecta um pulso de luz num monitor vetorial, a caneta informa ao processador, a execução é interrompida, e o processador é capaz de detectar qual instrução de traçado estava em execução no momento que ocorreu a interrupção, e portanto qual segmento de reta foi apontado pelo operador. A caneta é uma tecnologia um tanto ultrapassada, por ser cansativa para o usuário e sujeita a falhas.

8.3. Joystick

É uma alavanca que admite movimentos para frente e para trás, esquerda e direita. Dois potenciômetros são responsáveis pela detecção dos movimentos na horizontal e na vertical. Sua manipulação fornece um par de valores numéricos em uma faixa

limitada fixa para cada posição da alavanca. É um dispositivo de baixo custo, bastante utilizado em microcomputadores. Entretanto, o *joystick* é um dispositivo de baixa resolução, e não é muito adequado para controlar a posição absoluta de um cursor na tela.

8.4. Mouse

O mouse é uma pequena caixa que pode deslizar sobre uma superfície plana. Na parte inferior, uma pequena esfera incrustada no mouse rola livremente a medida que este se movimenta. Os movimentos de rotação da esfera relativos à caixa são transmitidos mecanicamente a dois potenciômetros que medem o deslocamento do mouse em relação a dois eixos ortogonais fixos. Como o sistema de eixos é fixo em relação à caixa, o dispositivo é capaz apenas de detectar movimentos relativos à sua própria posição atual. Ele pode ser levantado da superfície, movido e colocado de volta sobre a superfície sem que a sua posição corrente no sistema seja alterada.

8.5. Mesa Digitalizadora (Tablet)

É o dispositivo mais adequado para entrada de dados geométricos. Consiste de uma superfície plana e um cursor que pode ser posicionado sobre a superfície. Por indução eletromagnética, a posição corrente do cursor, relativa a um referencial fixo à mesa, pode ser detectada e transmitida ao processador.

8.6. Touch Pannel

Dispositivo bidimensional de entrada que deve ser integrado a um terminal de vídeo. Ele consiste de uma tela transparente, sensível ao toque, que é sobreposta a tela do terminal. Este dispositivo possui baixa resolução, sendo utilizado apenas para seleção de objetos apresentados na tela. Um exemplo desse tipo de dispositivo pode ser encontrado em terminais eletrônicos de banco.