

Um Sistema para Visualização Holográfica

ELOÍSA BERTINI¹
C. F. X. DE MENDONÇA N.^{1*}
J. J. LUNAZZI^{2†}
P. L. DE GEUS^{1‡}

¹Instituto de Computação - UNICAMP
Av. Albert Einstein, 1251
caixa postal: 6176
13083-970 Campinas SP Brasil
`bertini,xavier,paulo@dcc.unicamp.br`

²Instituto de Física - UNICAMP
13083-970 Campinas SP Brasil
`lunazzi@ifi.unicamp.br`

Abstract. This work reports the prototype development of a 3D visualization system based on “Holoprojection”, a depth coding technique. The prototype is built using easily available devices and is capable of generating a composition of 3D image slices.

Keywords: holoprojection, diffraction grade, holoprojection screen, visualization

1 Introdução

O mundo espacial em que vivemos é tridimensional onde desde cedo aprendemos as noções de perto, longe, ao lado, à frente, etc. Entretanto, estas noções simples da vida cotidiana não se aplicam às interfaces gráficas mais comumente usadas tais como: a TV e o terminal do computador.

Há muitas maneiras de abordar este problema, uma delas é utilizar-se técnicas de sombreamento e fonte luminosa virtual gerando a sensação tridimensional (conhecida como “2.5D”). Embora seja a técnica mais usada nos dias de hoje, esta solução não é absolutamente tridimensional. Uma outra técnica possível é o uso de estereoscopia que abrange o uso de mecanismo visual do ser humano para dar a sensação visual de 3D. Esta técnica é muito superior à técnica anterior, entretanto, exige o uso de óculos polarizadores, olhar divergente (estereogramas), ou capacete de realidade virtual. Qualquer que seja o caso, esta técnica implica sempre em algum desconforto ao observador. Uma das técnicas mais modernas é a holografia que permite ao observador a sensação visual de um objeto 3D sem o desconforto causado pelas técnicas anteriores.

Esta técnica é realmente capaz de representar objetos em 3D, pois proporciona ao observador to-

dos os indicadores de profundidade, de modo que, ao movimentar-se (dentro de um certo campo de visão) o objeto aparece sob um ponto de vista diferente.

Como toda técnica de produção de informação, a holografia pode ser vista sob vários aspectos, citamos alguns: hologramas “hard copy”, àqueles reproduzidos em chapas ou filmes fotográficos, e cópias virtuais. Dentro de cópias virtuais podemos citar três técnicas.

A primeira destas técnicas denominada *Holografia Eletrônica*, conforme [Ben91], baseia-se na simulação computacional do resultado da interação de dois feixes de laser, um funcionando como objeto e o outro como referência. O grande problema desta abordagem é que uma imensa quantidade de computação é necessária para reconstruir o efeito luminoso da imagem ponto a ponto da superfície do objeto.

A segunda técnica denominada *Varredura Volumétrica* baseia-se no resultado da interação de um feixe de laser que projeta os pontos do objeto sobre uma tela giratória. Esta técnica tem grandes vantagens sobre a anterior, pois o efeito visual do objeto não depende de um processamento por transformada de Fourier ponto a ponto, reduzindo assim drasticamente a demanda computacional da Holografia Eletrônica, mais ainda, a imagem é realmente projetada em um meio físico 3D. O problema desta técnica reside numa dificuldade mecânica, pois

*Suporte financeiro FAPESP e Proj. Integrado CNPq

†Suporte financeiro FAPESP

‡Suporte financeiro FAPESP

o meio físico em que a imagem é exibida deve ser movido em todo o volume da exibição. Quando este meio é constituído de fumaça ou vapor, o problema consiste no fato do feixe todo ser visível o que elimina a imagem por falta de contraste.

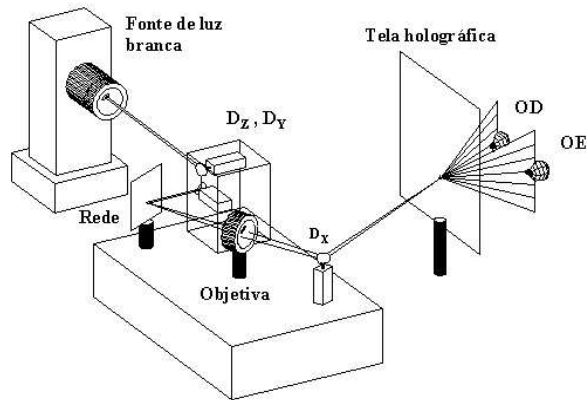


Figura 1: visão geral do Holoprojetor

A terceira técnica denominada *Holoprojeção*, discutida neste trabalho, consiste em projetar a imagem, que partindo de uma fonte luminosa passa por um arranjo óptico, sobre uma tela holográfica, descrita em [Lun93]. Esta configuração permite uma imagem muito maior que a gerada pela Holografia Eletrônica, pois depende somente do tamanho da tela holográfica e da intensidade da fonte luminosa. O sistema tem baixa demanda computacional uma vez que grande parte do processo depende do arranjo óptico, e é de baixo custo, podendo ser construído a partir de componentes comumente encontrados no mercado, exceto obviamente com relação a tela holográfica. O primeiro protótipo foi elaborado por Lunazzi e Diamand em [Dia94] pode ser visto na figura 1.

O sistema de exibição de imagens proposto neste trabalho também se baseia na Holoprojeção e na Tela Holográfica do sistema anterior, acrescentando a possibilidade de tratamento de figuras relativamente mais complexas. Para alcançar tal objetivo, o sistema é reestruturado permitindo que, a partir de seções planas de um objeto real, descrito em um certo padrão, seja possível projetar sua imagem com a terceira dimensão restaurada. O projetor de televisão de cristal líquido acoplado a um cartão videográfico é sincronizado ao movimento de um espelho ajustado a um motor, ambos conectados a um computador o qual coordena a exibição volumétrica final, sobre a tela holográfica (veja figura 3).

Uma aplicação possível, na área médica, conforme [Mye94] está em submeter os cortes produ-

zidos em tomografia, ou ressonância magnética, ao sistema em questão, a fim de que o órgão alvo de análise, seja volumetricamente demonstrado, facilitando, desse modo, o diagnóstico de doenças. Uma outra aplicação, não menos importante, conforme [Lun91] consiste em melhorar a interface de aplicativos tal como o 3D-Studio ou o Autocad, para que não seja necessário o esforço mental para compor tridimensionalmente os resultados das projeções.

Este trabalho está dividido como segue: a seção 2 expõe tópicos relevantes sobre a terceira dimensão; a seção 3 descreve a Holoprojeção e os trabalhos anteriormente propostos; a seção 4 descreve o protótipo desse trabalho; e a seção 5 exalta algumas perspectivas e conclusões finais.

2 A terceira dimensão

A holografia está intimamente relacionada com a visualização tridimensional. Uma observação adequada é que o público, em geral, não está habituado à observação da terceira dimensão uma vez que os meios de exibição mais comumente utilizados são bidimensionais, faltando oportunidade para exercitar e estimular as habilidades baseadas na visão espacial, e a sensação ilusória de profundidade é obtida nesses meios através de cálculos matemáticos - por exemplo, por computação gráfica - de alguns indicadores primários de profundidade tais como:

- perspectiva linear: os objetos distantes parecem menores;
- perspectiva aérea: os objetos distantes parecem mais escuros e menos distintos;
- oclusão: objetos mais próximos escondem objetos mais distantes;
- tonalização e sombreamento: indicam a posição do objeto em relação a fonte;
- paralaxe temporal: produz efeito de profundidade pelo movimento de objeto 3D.

Tendo em mente o comportamento do sistema visual humano (cada posição dos olhos fornece ao cérebro duas visões ligeiramente diferentes) é possível concluir outros indicadores que, quando associados aos anteriores, conferem uma noção mais precisa de profundidade e não podem ser caracterizados nos meios de exibição convencionais tais como: a acomodação (alteração da distância focal entre a lente e o olho) e a convergência (rotação interna dos olhos). O cérebro tenta manter os dois olhos atentos na visualização de um objeto o qual se movimentava para mais perto ou mais longe do observador. Quando o

objeto se aproxima, as linhas imaginárias tendem a convergir; quando ele se afasta, tendem a divergir. O cérebro está muito atento à posição dos olhos e usa isso para avaliar a distância entre aquele que observa e o objeto que está sendo observado. Outro indicador é denominado por disparidade binocular o qual caracteriza as diferenças entre as imagens captadas pelos dois olhos: como os olhos ficam localizados em pontos diferentes da cabeça, eles não vêem sempre a mesma coisa, necessariamente. E por final existe o indicador paralaxe de movimento, ou seja, mudanças na imagem devido ao movimento do observador.

3 Holoprojeção

É um sistema para visualização holográfica composto principalmente por uma fonte de luz, rede de difração, tela holográfica e um computador que coordena o funcionamento do processo e fornece as imagens a serem apresentadas em três dimensões. Em particular, a Holoprojeção por Codificação Cromática permite a visualização tridimensional: as imagens se formam parte à frente (imagem real) e parte atrás (imagem virtual) da tela holográfica.

Um modelo desse tipo foi desenvolvido por Lunazzi e Diamand no Laboratório de Óptica da Unicamp, conforme [Dia94], recebendo o nome de “Holoprojetor Versão 1.0”. Para compreendê-lo é interessante acompanhar o percurso da luz e entender como é feita a atribuição das coordenadas X , Y e Z de cada elemento volumétrico (voxel). Em linhas gerais, as duas primeiras coordenadas são selecionadas diretamente com o auxílio de espelhos ortogonalmente dispostos para desviar horizontal e verticalmente o feixe de luz, enquanto que a coordenada Z depende de duas etapas: codificação e decodificação, as quais serão descritas subsequentemente. Esse sistema é basicamente composto por um simples PC-XT, um software de interface para motores de passo (driver), uma fonte de luz branca, obturador, defletores de feixe, rede de difração, lente objetiva, tela holográfica, além do próprio sistema visual humano. A figura 1 apresenta uma visão geral do sistema, obtida a partir do projeto tridimensional feito em AutoCAD. Os olhos direito (OD) e esquerdo (OE) de um observador recebem raios de cores diferentes (por exemplo verde e laranja) que o cérebro funde numa cor intermediária durante a percepção visual.

A luz parte da fonte na forma de um feixe convergente o qual é desviado por dois defletores (Y e Z) antes de atingirem a rede de difração. Optou-se por primeiro defletir a luz verticalmente (em Y) para aproveitar a concentração do feixe e assim operar com espelhos pequenos. Sobre a própria rede forma-se a primeira imagem - é a imagem reduzida

do filamento da lâmpada; essa diminuição é importante pois a imagem sofrerá posterior ampliação antes de atingir a tela holográfica. Conforme descrito em [Oca94], ao atingir a rede, o feixe de luz convergente é difratado gerando uma mancha difusa multicolorida chamada de região de difração. Esse leque espectral corresponde a uma segunda imagem do objeto original só que agora cheio de listas coloridas. Cada comprimento de onda que compõe a luz branca possui uma direção ligeiramente diferente dos demais fazendo com que a cor da imagem varie conforme o ângulo de observação.

Nessa etapa ocorreu a codificação da coordenada Z , baseando-se na posição relativa entre a rede de difração e o objeto a ser projetado tridimensionalmente. Conforme este posicionamento, o leque espectral irá se formar sobre a malha difrativa, atrás ou à frente desta, sempre no ponto de convergência dos raios luminosos vindos da fonte de luz (foco), constituindo diferentes dispersões cromáticas as quais resultarão, no momento da decodificação, em diferentes profundidades.

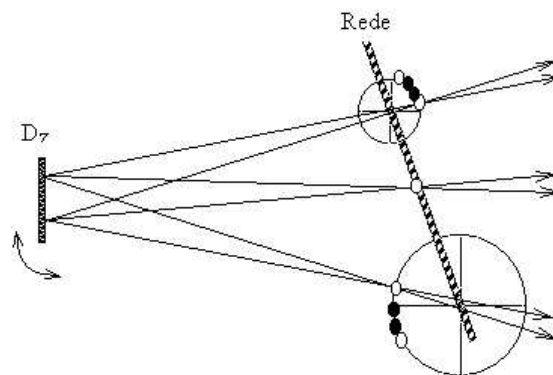


Figura 2: Esquema do “seletor angular com rede fixa”

Existem várias técnicas para codificar a profundidade, descritas em [Dia94]. A forma adotada no “Holoprojetor Versão 1.0” é chamada de “Seleção Angular com Rede Fixa”, a qual permite produzir diferentes dispersões cromáticas. Um dos motivos para a escolha desta técnica está na preocupação de não afetar a velocidade do sistema pelo movimento da rede através de um motor de passo. Para obter diferentes focos - local da dispersão cromática - uma malha difrativa fica inclinada em relação a um espelho móvel, cuja localização determina o posição do espectro. Como mostrado na figura 2, um feixe convergente ao incidir num espelho em movimento angular horizontal produzirá um foco se deslocando por

uma região aproximadamente plana. Se uma rede for posicionada de forma a cruzar esta região, haverá variação da dispersão cromática, nula no ponto de interseção. Esta técnica adotada na solução do problema permitiu a substituição do movimento longitudinal da rede pelo movimento angular de um espelho. A velocidade de resposta mecânica, tão importante para a qualidade das figuras geradas, tornou-se potencialmente compatível com a de um sistema bidimensional (tipo show de laser), sendo um espelho defletor a única parte móvel necessária ao controle de Z .

A luz espectral intercepta uma lente objetiva, adequadamente posicionada, para efeito de ampliação e direcionamento a um terceiro defletor (horizontal) o qual define o valor da coordenada X . Este defletor também é encarregado de compensar o deslocamento lateral anteriormente introduzido pelo defletor de Z , a fim de obter o grau de seleção cromática desejado. A luz então atinge a tela holográfica a qual permite que os vários comprimentos de onda sejam redistribuídos no espaço – decodificação de Z –, gerando os vários pontos de vista, cada qual de uma cor, percebidos com paralaxe horizontal contínua pelo observador, último estágio do sistema.

O programa computacional é responsável pelo comando do arranjo óptico acima descrito, de forma que seja produzido um ponto de luz correspondente a cada vértice de uma figura simples, descrita por um arquivo de vértices. O desenho completo é formado através da movimentação desse ponto de luz – o holocursor – de um vértice a outro. O programa deve atuar diretamente sobre os defletores X e Y e Z para obter o vértice desejado. Além disso deve controlar o obturador, que nada mais é que um “tampão” colocado na saída da fonte luminosa, sendo controlado por um motor de passo, com a finalidade de tornar invisível certos retrazos do holocursor. O trabalho descrito serviu como estímulo para a proposta descrita a seguir.

4 Uma nova proposta

O objetivo principal deste trabalho consiste em criar um sistema para exibição de figuras tridimensionais tendo a Holo projeção como base do processo. Esse protótipo, esquematizado na figura 3, é composto por um projetor de TV de cristal líquido (XG-400U da Sharp) conectado a um computador PC-AT 486 DX-2 de 66Mhz o qual nele introduzirá a imagem em termos de suas componentes RGB (Red, Green, Blue). Diferentemente do trabalho anterior, no qual o feixe de luz precisa ser desviado em X e Y , o sistema em questão gera, passo a passo, fatias de uma imagem tridimensional como aquelas produzidas em

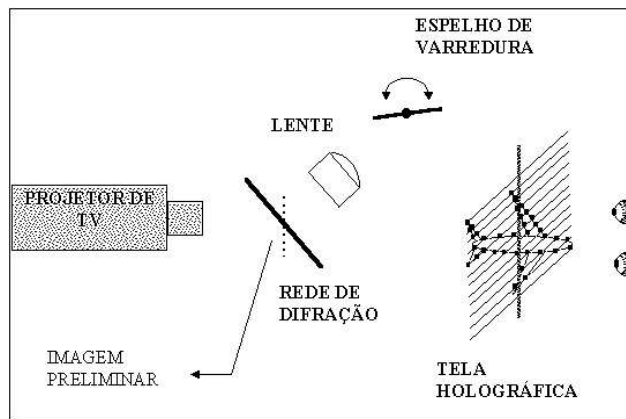


Figura 3: Proposta do novo HoloProjetor.

tomografia ou ressonância magnética. Dessa forma a necessidade de seleção em X e Y fica eliminada e o quadro é projetado na tela holográfica.

Cada fatia proveniente do projetor passa por uma rede de difração, para codificação da coordenada Z , por um pacote de lentes, que entre outras coisas funciona como ampliador, e um espelho em movimento oscilatório, cuja função é deslocar transversalmente cada holoimagem, antes de atingir o estágio de decodificação da profundidade, dada pela tela final. Este espelho posiciona cada fatia vinda do projetor numa posição transversal à tela holográfica de forma que o conjunto de fatias exibidas componha o volume de exibição. Este espelho está fixado a um motor, cujo movimento e sincronismo com as demais partes do sistema também são controlados pelo computador.

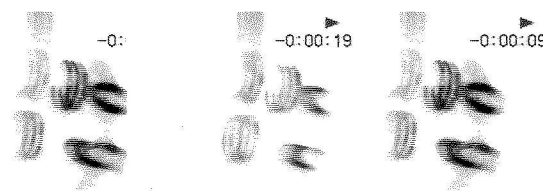


Figura 4: Um exemplo de resultado obtido.

O sistema interpreta um conjunto de cortes de profundidade de uma cena tridimensional feitos em padrão AutoCad - com imagem de saída adequada a placa gráfica usada - os quais são consecutivamente lançados a uma rede de difração. No lugar da mancha espectral há uma lente objetiva para ampliação da imagem em cujo foco existe um espelho em movimento oscilatório. Tal movimento permite a projeção, sobre a tela holográfica, de seqüências de cortes os quais são exibidos a uma taxa de restauração constante permitindo a observação da cena tridimensio-

nal. A figura 4, no final dessa seção, é o par estéreo de um dos resultados obtidos. A seguir serão descritos os conceitos básicos envolvidos nesse projeto.

4.1 Holografia

A holografia, de acordo com [Cat74, CBL71, Har84] é uma técnica constituída de três etapas principais: formação, processamento fotográfico e reconstrução. Na fase de formação do holograma o fenômeno físico básico envolvido é a interferência entre ondas luminosas; uma onda luminosa é completamente descrita através de dados sobre sua amplitude e fase, as quais, ao serem registradas em material fotográfico de excelente resolução, representam um objeto em sua totalidade, significado - vindo da palavra grega “holos” - do termo holograma. A amplitude corresponde a um valor de intensidade luminosa e, sem os dados da diferença de fase dos raios componentes, contém informação suficiente apenas para produzir imagens de duas dimensões. Para obter essas duas informações sobre o objeto iluminado, é preciso particionar a luz vinda da fonte em dois raios: um que ilumina o objeto (raio objeto) sendo por ele difratada, e outro que provém diretamente da fonte (raio referência) o qual preserva as informações de fase permitindo a recuperação volumétrica. A interceptação desses dois raios constitui um padrão de interferência que contém toda a informação do objeto holografado; tal padrão, ao incidir no material de registro, produz franjas de interferência: uma área de franjas claras (concordância de fase) e escuras (discordância de fase), correspondendo a codificação das características do objeto iluminado.

Após o processamento fotográfico do resultado da primeira etapa, o material é submetido a fase de reconstrução holográfica. Nesse momento o registro das franjas de interferência é iluminado com uma onda similar a que foi usada na obtenção do holograma e a imagem do objeto é restaurada, mantendo todas as características da cena inicial. Isso é possível devido ao principal fenômeno físico embutido nesta etapa: a difração da luz. Denomina-se difração o desvio sofrido pela luz ao passar por um obstáculo pequeno, da ordem de poucos micrometros, tal como as bordas de uma fenda. Pode-se ver este fenômeno na prática diária em objetos que apresentam cores iridescentes como as matizes luminosas refletidas de um CD ou a cauda de um pavão.

Portanto, pode-se dizer que a holografia é um congelamento (“freezing”) da onda procedente do objeto e não um registro da imagem, como é feito na fotografia. Em outras palavras, na fotografia, o que, se registra ponto-a-ponto no filme é a função “brilho”; na holografia, registra-se a função “interferência”

(amplitude da soma de duas ondas mais informação sobre o desvio de fase). Em consequência, não se perde o caráter tridimensional. É interessante notar que não existe correspondência ponto-a-ponto entre objeto e imagem, como ocorre em fotografia: a cada ponto do holograma está associada a informação de todos os pontos do objeto. Como resultado, se um holograma é em parte danificado, ainda assim é possível observar o objeto em sua totalidade, embora com um número menor de perspectivas.

4.2 A tela Holográfica

A tela holográfica, descrita em [Lun93] é uma rede de difração com propriedades focalizadoras: o padrão produzido pela interferência da luz na primeira etapa, após gravação, pode ser grosseiramente definido como um conjunto de fendas ou orifícios chamado de rede de difração. Quando um feixe de luz passa por essa camada fina de material, ele é defletido em direções particulares. Uma dessas direções é dita região de difração de ordem um (as outras ordens não são de interesse) e é o lugar onde ocorre a formação da imagem. Se a fonte de luz for branca, essa imagem possuirá as cores do arco-íris, chamando esse processo de formação da imagem por dispersão cromática.

A tela holográfica (1,14m de altura * 0,75m de largura), desenvolvida pelo professor J.J. Lunazzi, possui papel fundamental na transformação de imagens bidimensionais, sejam slides ou cenas de televisão, em holoimagens, e portanto possuindo a terceira dimensão. Além disso, esta tela ainda é capaz de manter a paralaxe da imagem, oferecendo visão estereoscópica sem o auxílio de ferramentas de visualização. Uma característica peculiar é o efeito de paralaxe contínuo, cromaticamente codificado, que pode ser notado quando o observador altera sua posição a longo de um percurso horizontal diante da tela. Os olhos direito e esquerdo recebem raios de cores distintas as quais são fundidas pelo cérebro numa cor intermediária durante a percepção visual. Em cada trecho, a imagem possui uma cor diferente.

4.3 O projetor de televisão

O sistema de projeção SharpVision incorpora três painéis LCD (Liquid Crystal Display). Cada LCD é classificado como sendo de matriz ativa, mais comumente chamado de tecnologia TFT (Thin Film Transistor). Esse tipo de LCD atribui um transistor a cada pixel (o transistor funciona como um relé), o qual é representado por uma intersecção numa malha de condutores horizontais e verticais. Quando uma pequena corrente é enviada através desta grade que compõem o painel, o transistor é acionado usando

uma corrente muito maior para ativar o pixel. A vantagem do projeto de matriz ativa é que uma corrente menor precisa atravessar a malha de modo que cada pixel seja ligado e desligado mais rapidamente. A desvantagem é que ela requer a fabricação de um transistor para cada pixel da tela.

4.4 O adaptador gráfico TARGA 64 +

A conexão entre o projetor e o equipamento computacional – PC AT 486 DX2-66 – utiliza um hardware gráfico apropriado, de acordo com [Tru93]. A placa utilizada e adequada ao propósito em questão é denominada TARGA + (TrueVision) que oferece capacidade para captura e exibição de imagens. Ela permite o gerenciamento dos sinais RGB necessários ao projetor além de possuir velocidade e resolução espacial adequadas ao uso da computação gráfica e da holoprojeção proposta.

4.5 O AutoCad 3D release 12

O AutoCad 3D release 12 ([Omu92]) foi o software escolhido para sintetização ou captação das fatias a serem holoprojetadas. Além de oferecer compatibilidade de funcionamento com a placa TARGA +, este software trabalha verdadeiramente em três dimensões – baseado nos dois grupos de indicadores de profundidade anteriormente citados – embora sendo necessário visualizar e trabalhar em um lado do desenho por vez. Este processo, visto através da tela do computador, exige uma nova maneira de pensar, uma vez que a representação do todo deve ser mantida em mente. A vantagem de usar o AutoCad 3D com projeção holográfica está na economia de trabalho mental ao ter que imaginar, por meio de cenas planas sequenciais, qual é a verdadeira forma e volume do objeto criado. Tendo uma interface mais natural, o trabalho pode ser feito de modo mais rápido e eficaz. Pode ser útil na medicina para representar órgãos, sua variação de forma e volume e a posição de elementos internos, ajudando cirurgiões médicos a visualizarem em todos os ângulos os órgãos antes de uma operação [Mye94].

4.6 O refletor

O espelho empregado no sistema está acoplado a um motor de passo de um disk floppy. A movimentação do espelho é baseada em instruções para detecção de trilhas. O comando “seek” utilizado apenas posiciona a cabeça do floppy retornando um erro, irrelevante ao propósito em questão, uma vez que as características do dispositivo em sua função original são desconsideradas. A implementação é bastante

simples, podendo ser feita em poucas linhas de linguagem assembly – conforme código descrito – ou então em código que faz referência direta a BIOS.

```

Procedure seek(T:Byte);assembler;
asm
PUSH DS          { salva a pilha      }
MOV ah,05h      { tem que ser 05h    }
MOV al,0        { setores por trilha }
MOV ch,T        { número da trilha   }
MOV dh,0        { número da cabeça   }
MOV dl,1        { número do drive    }
INT 13h         { tem que ser 13h    }
MOV XX,ah       { código do resultado }
POP DS          { restaura a pilha    }
end;

```

5 Sugestões e tendências

- Uma idéia interessante consiste no aproveitamento dos outros dois painéis de LCD do projetor através da eliminação dos filtros usados na tricromia. Com isso cada painel pode ser relacionado a um subconjunto distinto de cortes da imagem o que permitiria exibir volumes com maior número de fatias e portanto com maior riqueza de detalhes. Além disso a taxa de exibição (refresh) do sistema seria aumentada consequentemente reduzindo a cintilação da imagem. É conveniente lembrar que isto pode ser feito pois as cores não assumem papel de relevo, uma vez que o esquema de codificação da profundidade é baseado na distribuição cromática. (as cores são usadas para obtenção de Z).
- Uma proposta de continuidade consiste na tentativa de captar imagens – por uma câmera – e projetá-las na tela holográfica de modo simultâneo; a placa TARGA + permite essa conexão. Tal fato constitui um indicador para a obtenção da televisão holográfica.
- Um projeto de TV tridimensional (baseada em cristal líquido) está sendo elaborado no laboratório de computação da Universidade de Cambridge. Este trabalho está direcionado principalmente à aplicações médicas com o objetivo de auxiliar os cirurgiões na observação dos órgãos internos durante uma operação, sem o auxílio de ferramentas de visualização (óculos). Os cientistas dessa eterna rival de Oxford estão prestes a fechar um acordo com uma empresa comercial interessada no desenvolvimento do projeto.

6 Conclusão

Segundo Nicholas Negroponte, professor de tecnologia do laboratório de mídia do MIT (Massachusetts Institute of Technology), em [Job95], uma cultura radicalmente nova já começou a emergir. Depois do telão, do satélite, do cinema em casa com som estéreo iniciou-se uma corrida para produzir televisão tridimensional. E a terceira dimensão, tão bem descrita pela holografia, é o ponto chave deste avanço: sua representação perfeita não permite discernir a realidade daquilo que se exhibe nos monitores computacionais ou aparelhos de TV.

O projeto proposto, sem dúvida nenhuma, consiste num alinhavo a mais, embora simples, para a realização da televisão tridimensional e, embora distante do estágio comercial, caminha em direção ao aprimoramento das técnicas nacionais, as quais fazem muito mais que engatinhar no campo tecnológico.

Referências

- [Ben91] S. A. Benton. Elements of Holographic Video Imaging. In *Proc. SPIE International Symposium on Display Holography*, number 1600, pages 82 – 95, Illinois, Julho 1991.
- [Cat74] W. T. Cathey. Optical Information Processing, Holography. *Wiley Series in Pure, Applied Optics*, pages 314–363, 1974.
- [CBL71] R. J. Collier, C. B. Burckhard, and L. H. Lin. *Optical Holography*. Academic Press, 1971.
- [Dia94] M. Diamand. Sistema para Visualização Holográfica de Figuras Geradas por Computador. Master's thesis, Faculdade de Engenharia Elétrica, UNICAMP, 1994.
- [Har84] P. Hariharan. Optical Holography – Principles, Techniques, Applications. *Cambridge Studies in Modern Optics*, pages 1–6, 116–130, 146–158, 174–203, 1984.
- [Job95] N. F. Jobim. Europa e EUA estão perto de viabilizar TV tridimensional. Technical report, Jornal do Brasil, Março 1995.
- [Lun91] J. J. Lunazzi. CAD com Visualização 3D por Tela Holográfica. In *XXIV Congresso Nacional de Informática, XI Feira Internacional de Informática, Sucesu 91*, pages 423–426, Parque Anhembi, São Paulo, 1991. Universidade Estadual de Campinas.
- [Lun93] J. J. Lunazzi. Pseudoscopic Imaging by Means of a Holographic Screen. In *proc. of SPIE, 16th Congress of the International Commission for Optics – Optics as a Key to High Technology*, number 1983 in Part Two, pages 583–584, Budapest, Hungary, August 1993.
- [Mye94] B. Myers. Use of Holography in Medicine. In *in proc. of SPIE, Fifth International Symposium on Display Holography*, number 2333, page 266, Illinois, 1994.
- [Oca94] J. M. J. Ocampo. Estudo de Imagens sob Luz Branca por uma Rede de Difração. Master's thesis, Instituto de Física Gleb Wataguim, UNICAMP, Março 1994.
- [Omu92] G. Omura. *Dominando o AutoCad versão 12*. Livros Técnicos e Científicos Editora, 1992.
- [Tru93] TrueVision, A RasterOps Company. *TARGA+, Installation, Reference Guide*, March 1993.