

Tridimensional Visualization Through Optical Illusion

Vinícius E. M. Silva
Universidade Federal de
Pernambuco
Recife – Pernambuco –
Brasil
vems@cin.ufpe.br

Mozart W. S. Almeida
Universidade Federal de
Pernambuco
Recife – Pernambuco –
Brasil
mwsa@cin.ufpe.br

João M. Teixeira
Universidade Federal Rural
de Pernambuco
Recife – Pernambuco –
Brasil
jmxnt@cin.ufpe.br

Veronica Teichrieb
Universidade Federal de
Pernambuco
Recife – Pernambuco –
Brasil
vt@cin.ufpe.br

Abstract

Holography is a technique that uses the properties of light as a way of registering and representing three-dimensional scenes and objects. However, holography is not the only technique that makes it possible to visualize in three dimensions. In this work will be detailed another form of three-dimensional visualization based on an invention of the late 19th century. Different applications that use this approach will be presented, as well as their results that are quite similar to those of holography. A solution involving hardware/software for 3D visualization through optical illusion is proposed. Using a prism with specific geometric proportions, is possible project the generated content with the developed tool to visualize objects and even 3D point clouds relating to faces captured with the Microsoft Kinect sensor.

Categories and Subject Descriptors

H.5.1 [Information Interfaces and Presentation]: Multimedia Information Systems – Video.

General Terms

Documentation, Design, Experimentation.

Palavras Chaves

Holografia; Fantasma de Pepper; Ilusão de Ótica; Kinect; Visualização.

1. Introdução

Holografia (*holos*, de integral, global, e *graphos*, de desenho) é uma técnica teorizada por Dennis Gabor no fim da segunda guerra mundial. Ela consiste no registro de objetos e cenas em três dimensões que, ao serem projetados, permitem uma visão espacial de diferentes ângulos de visão dando uma impressão de realismo [1]. Embora datadas dos anos 40 do século XX, as técnicas holográficas só puderam ser realmente aplicadas nos anos 60. Isto ocorreu por Leith e Upatnieks com o desenvolvimento do laser, uma fonte de luz com as propriedades adequadas (contínua, monocromática e direcional) para o registro holográfico [2].

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from permissions@acm.org.

WebMedia '14, November 18–21, 2014, João Pessoa, Brazil.
Copyright © 2014 ACM 978-1-4503-3230-9/14/11...\$15.00.
<http://dx.doi.org/10.1145/2664551.2664582>

O processo de holografia pode ser dividido em duas etapas: o registro e a projeção. O primeiro é realizado por um conjunto de um laser, espelhos, lentes e um anteparo. A luz proveniente do laser é dividida em dois caminhos; um deles atinge diretamente o anteparo, enquanto o outro reflete no objeto real antes de atingir o anteparo, que registra a interferência dos dois raios de luz provenientes da mesma fonte e assim forma o holograma. Este esquema é representado na Figura 1. Na projeção, o anteparo contendo os registros das interferências de onda é iluminado diretamente pelo laser. Assim, as frentes de onda de luz refletidas pelo objeto são replicadas, gerando a imagem do objeto [3].

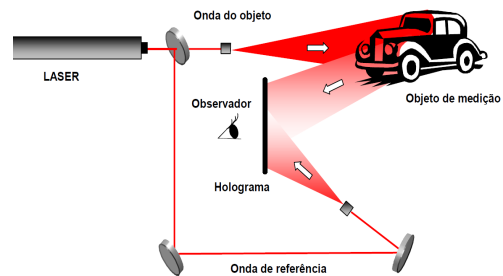


Figura 1. Esquema para a criação de hologramas.

Contudo, a holografia não é a única forma de gerar uma visão tridimensional de uma cena ou objeto. Existem abordagens bem mais antigas que as bases teóricas da holografia que descritas mais a frente. Além disso, existem técnicas ainda em desenvolvimento que são capazes de criar efeitos visuais que dão a impressão de profundidade real a objetos e cenas.

Uma das técnicas de efeitos visuais capaz de passar a impressão de profundidade é o anamorfismo. Tal impressão ocorre dependendo do ângulo que se observa; um exemplo de aplicação desta técnica é uma esfera anamórfica pintada por Andrea Pozzo na catedral de San Ignazio, em Roma. Esta pintura engana o observador, pois dá a impressão de haver uma cúpula na catedral [4]. Atualmente, esta técnica é utilizada por artistas como Nagai Hideyuki para criar imagens com profundidade para certo ângulo de visualização [5].

Lasers também geram efeitos que formam imagens tridimensionais em pleno ar. Isto acontece porque quando um gás é ionizado por lasers de alta potência transforma-se em plasma, estado da matéria formado por íons positivos pela liberação de elétrons [6]. Neste caso uma luz branco-azulada é produzida e, se comportando ordenadamente, gera uma imagem em pleno ar [7].

Visualizações em três dimensões também podem ser formadas por efeitos de reflexão da luz em certas superfícies, em técnicas chamadas de ilusão de ótica. Um exemplo de aplicação desse tipo

de técnica pode ser encontrado no Mirascope, um brinquedo que usa reflexões de raios de luz nas suas paredes internas [8].

Outra aplicação de ilusão de ótica foi exibida pela primeira vez no fim do século XIX por um professor chamado John Henry Pepper e por um engenheiro chamado Henry Dircks, criando a ilusão de um fantasma em apresentações teatrais. Ela gera a impressão de uma imagem tridimensional e é baseada na reflexão da luz em um espelho ou superfície semi-refletora. A técnica se baseia na reflexão de um objeto em um espelho inclinado de 45° , gerando uma imagem virtual do mesmo inclinado de 90° , e ficou conhecida como “Fantasma de Pepper” [9].

Este trabalho descreve a utilização do truque de John Pepper em combinação com um sistema hardware/software para assim compor uma nova forma de visualização em três dimensões. Esta solução, pelo seu modelo simples e direto, permite uma variedade de aplicações com resultados satisfatórios.

O restante do artigo é organizado conforme segue. A seção 2 lista os principais trabalhos relacionados, entre eles o que nomeia à técnica do fantasma de Pepper, além de trabalhos semelhantes ao que será apresentado nesse artigo. A seção 3 apresenta a solução hardware/software proposta. Os resultados obtidos e as dificuldades encontradas são discutidos na seção 5. Por fim, a seção 6 conclui o trabalho e aponta direcionamentos para trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

As técnicas de projeção tridimensional são utilizadas em um grande número de aplicações. Uma das primeiras técnicas utilizadas foi um truque de ilusão de ótica que ficou conhecido como o “Fantasma de Pepper” (popularizado no Brasil por um tipo de show, utiliza a mesma ideia da apresentação original, “A Casa de Monga”) [10].

Desde as suas primeiras aparições, o truque de Pepper continuou sendo utilizado em várias outras aplicações tanto industriais como ainda na área de entretenimento. Nos dias de hoje, o truque de ilusão de ótica por trás do fantasma ainda é utilizado pela sua eficiência e simples implementação, um posicionamento de espelho ou superfície refletora combinada com uma projeção adequada, como pode ser visto na Figura 2.

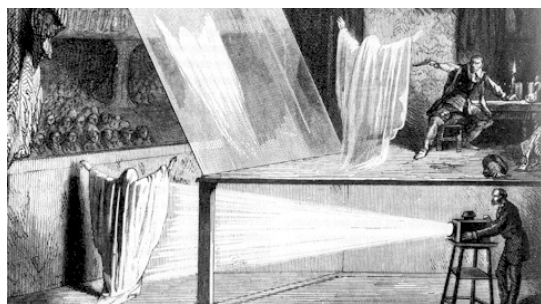


Figura 2. “Fantasma de Pepper” original.

O trabalho apresentado em [11] utiliza um conjunto formado por um projetor, uma lente e um espelho para permitir que pilotos tenham um acesso mais rápido às informações do voo. Elas são projetadas diretamente no visor da janela da aeronave, que funciona como superfete refletora para o truque de Pepper, em uma técnica conhecida como Realidade Aumentada Projetiva [12].

O truque de Pepper é utilizado também em algumas apresentações pelo fato de produzir marcantes. Exemplos disso podem ser vistos em [13] onde são apresentados shows que geram efeitos especiais em plena apresentação. Há casos onde toda a banda é projetada, como ocorre com o grupo *Gorillaz*.

Além disso, existem aplicações de entretenimento que utilizam esta técnica como base de desenvolvimento. Em [14], o truque de Pepper transforma um smartphone em uma tela 3D pela combinação de três superfícies parcialmente refletoras trabalhando em conjunto. Outra aplicação pode ser vista em [15], uma ideia semelhante à tratada nesse artigo, e que será explicada posteriormente. Outro dispositivo recentemente desenvolvido e que ainda utiliza o mesmo princípio de Pepper, trabalhando com um conjunto de espelhos parcialmente reflexivos em seu visor, é o Google Glass [16], [17].

3. Desenvolvimento do Sistema

A solução desenvolvida neste trabalho foi criada baseando-se na combinação de um prisma e softwares geradores de conteúdo. O prisma é espelhado e montado na forma de tronco de pirâmide quadrada e os softwares geram conteúdo em um formato que, utilizando o prisma, se tem o efeito tridimensional para o usuário.

3.1 Prisma

O prisma utilizado na solução é formado por quatro faces semi-reflexivas, uma pequena base de apoio e uma base maior que mantém as faces no lugar, representado na Figura 3. As faces do prisma têm uma inclinação de 45° que permite, por efeito de refração da luz, que uma imagem real exibida abaixo do prisma forme uma imagem virtual em um plano com uma inclinação de 90° em relação ao plano da imagem real. Assim o usuário tem a impressão de que há um objeto tridimensional no interior do mesmo. O fato das faces do prisma serem feitas de plástico semi-reflexivo gera uma melhor impressão de realidade, pois qualquer outro material com uma taxa de reflexão muito alta geraria uma imagem virtual não só da imagem real específica, mas também de todo o ambiente externo próximo.

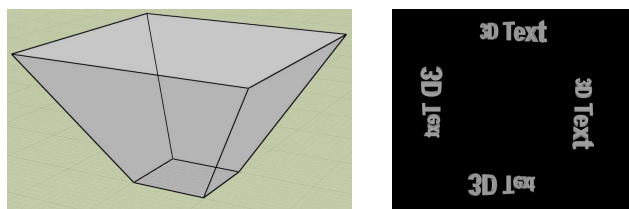


Figura 3. Representação da forma do prisma (esquerda) e visões do objeto 3D a ser projetado (direita).

A reflexão que cria a imagem virtual é possível pelo fato de que o ângulo limite entre o ar e o material utilizado é em torno de $41,5^\circ$. Esse ângulo limite é determinado pela lei de refração, descoberta por Willebrord Snell em 1621 e representada na Figura 4. Nela, o seno do ângulo de incidência aparece na equação, e tem valor igual ao arco-seno do índice de refração do meio de entrada do raio de luz dividido pelo índice de refração do meio de saída, quando o ângulo do raio refratado é igual a 90° em relação à reta normal [18]. Com um ângulo de inclinação maior que o ângulo limite, o raio de luz é totalmente refletido e como a imagem virtual tem uma inclinação duas vezes maior que a inclinação do espelho em relação ao plano da imagem real, esta é projetada em um ângulo de 90° em relação ao plano da imagem real, dando assim ao usuário uma visão frontal da imagem virtual.

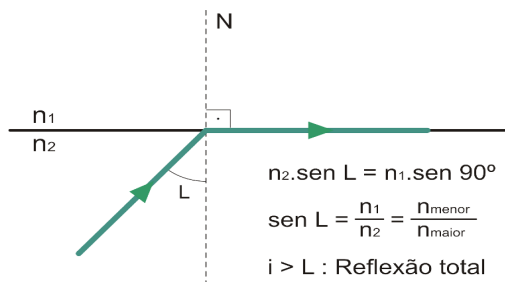


Figura 4. Formulação da Lei de Snell e Representação do ângulo limite.

3.2 Ferramentas de Software Desenvolvidas

Foram desenvolvidas duas ferramentas para a geração de conteúdo. A primeira delas carrega um modelo tridimensional de um objeto e exibe quatro visões distintas do modelo referentes a cada face do prisma. A segunda ferramenta de software faz uso de um sensor de profundidade para que assim possa gerar em tempo real as quatro visões que serão projetadas no prisma.

3.2.1 Modelos 3D

O software recebe um modelo tridimensional completo do objeto que será exibido no prisma e exibe um posicionamento de visão diferente para cada uma das quatro visualizações referentes a cada uma das faces do prisma, como pode ser visto na Figura 3.

O fato do modelo de entrada ser uma representação tridimensional completa dá a liberdade de uma maior movimentação do modelo na sua projeção. Por exemplo, é possível realizar a rotação do modelo em torno do próprio eixo.

3.2.2 Captura com Kinect

O segundo software captura e exibe em tempo real uma representação tridimensional de uma área específica do corpo do usuário, como o rosto por exemplo.

A área da face do usuário que é capturada é obtida utilizando-se o rastreamento tridimensional do rosto e uma representação em forma de esqueleto do corpo para limitar a área do rastreamento, sendo o rastreamento da face e o esqueleto corporal, feitos pelo Microsoft Kinect [19]. O Kinect é um sensor de profundidade desenvolvido pela Microsoft que contém entre suas ferramentas uma câmera RGB com resolução de 640x480, um emissor e um receptor infravermelho [20].

A câmera RGB é responsável pela captura de características como cores, enquanto a câmera de infravermelho é responsável pela interpretação da profundidade e da forma do ambiente com a formação de uma nuvem de pontos [21].

O Kinect SDK (*software developer kit*) cria um esqueleto do corpo do usuário formado por 20 pontos ou juntas. Dessa forma se pode estimar a localização de alguma junta caso o esqueleto seja reconhecido por completo previamente [22].

Assim como a câmera, os sensores e receptores infravermelhos tem resolução de 640x480, ou seja, em cada quadro capturado é gerada uma nuvem de pontos com 307.200 pontos, em um alcance entre 70 centímetros e 6 metros, e é essa nuvem de pontos que traz informações de profundidade da cena ou objeto. Combinando a câmera RGB com o receptor e emissor infravermelho tem-se, em cada quadro e numa taxa de 30 quadros por segundo, informações de profundidade e de cor que podem ser

interpretadas para formar uma reconstrução tridimensional da cena ou objeto desejado [23].

O formato de saída do software que utiliza o Kinect é semelhante ao que trabalha com modelos prontos, mas com adaptações pela falta de uma representação completa do modelo, conforme ilustrado na Figura 5.



Figura 5. Seleção da área do rosto a ser exibida e sua exibição.

4. Resultados

O sistema proposto neste trabalho gerou resultados com uma boa sincronia de forma entre o que o objeto real e o objeto virtual refletido, alcançando assim o efeito visual desejado. Foram utilizados modelos tridimensionais de um monumento turístico, farol da barra em salvador e uma logomarca representada com profundidade. Parte do resultado pode ser visualizada na Figura 6.



Figura 6. Resultado final: Objeto 3D (acima) e representação do rosto capturado com Kinect (abaixo).

Combinando o prisma com o software que trabalha com o Kinect se tem a exibição de um rosto humano tridimensional, ilustrado pela Figura 6. Esta visualização, levando-se em conta o fato de que não é um modelo completo, possui a mesma qualidade do efeito gerado pelo primeiro software.

Uma dificuldade encontrada está relacionada à forte influência do ambiente externo na projeção sobre o prisma, em que sob uma iluminação mais forte, a imagem projetada fica parcial ou totalmente oculta. Isso acontece porque o prisma não reflete apenas a luz da imagem alvo, mas também toda a luminosidade do ambiente que entra em contato com ele. Outro ponto a ser levado em conta são os limites do aparelho de reconstrução, no caso desse trabalho o Kinect tem uma pequena dificuldade em manter o rastreamento em um único rosto.

5. Conclusão

Nesse trabalho uma técnica de ilusão de ótica datada do século XIX foi aplicada para gerar visualização de conteúdo tridimensional. Foi proposta a utilização de um prisma em

formato de tronco de pirâmide e duas ferramentas capazes de gerar conteúdo para ele, formando assim um sistema de visualização tridimensional. Isso é possível através do efeito de ilusão de ótica baseada na reflexão da imagem em uma superfície semi-reflexiva e na propriedade da ótica geométrica onde uma imagem virtual inclinada em 90° em relação ao plano da imagem real é formada por um espelho inclinado em 45° em relação ao plano da imagem real. O resultado obtido pode ser visualizado em http://youtu.be/fGO21_PZbGI.

O sistema desenvolvido, assim como a ilusão de ótica em que se baseia, tem boa versatilidade e um desenvolvimento de baixo custo o que torna possível sua aplicação em vários outros projetos, o desenvolvimento de várias outras aplicações e um maior desenvolvimento do próprio sistema, principalmente pela possibilidade de se trabalhar com conteúdo em tempo real.

É possível incrementar a experiência do usuário adicionando uma forma de interação com o modelo 3D, em que seria possível mudar o ângulo de visualização do objeto no sistema. Esta funcionalidade poderia ser implementada de várias formas, desde a integração do sistema completo com algum dispositivo de interação ou da adição dessa funcionalidade no próprio sistema.

Uma vez que a projeção tridimensional formada é fiel às imagens que a formam, visto que estas seguem uma escala coerente com a imagem real, sem ou com quase nenhuma distorção, o sistema poderia ser aplicado para gerar uma ferramenta de visualização industrial, onde se tem uma imagem tridimensional de algum componente ou material de utilização industrial. Por exemplo, um componente para visualizar um projeto em escala reduzida, mas com as mesmas características e proporções do elemento original.

Outra possibilidade é a geração de conteúdo exclusivo para o sistema. Com uma nova forma de visualização pode-se gerar vídeos em um formato de exibição adequado, vídeos esses que podem ser publicados na internet e acessados via mobile para serem visualizados com o prisma como uma forma de simples entretenimento ou meio de publicidade.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Fantin, A. V. 2003 *Holografia Digital Complexa Utilizando um Interferômetro Shearing*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [2] J. M. Rebordão. Holografia: Física e Aplicações. Colóquio / Ciências, Vol 4, Fevereiro de 1989. Faculdade de Ciências. Universidade de Lisboa.
- [3] Laboratório de ensino de Óptica, Instituto de Física Gleb Wataghin. Universidade Estadual de Campinas. Disponível: <http://sites.ifi.unicamp.br/1f22/holografia-2/>. Acessado em 6/2014.
- [4] J. A. Parrilha, M. C. Danhoni Neves. 2011. A perspectiva anamórfica de Hans Holbein: o início da perspectiva preparatória de Galileu e Cigoli no Sidereus Nuncius. In *VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências* (december 2011, Universidade Estadual de Campinas).
- [5] Galeria online de Nagai Hideyuki. Disponível em: <http://nagaihideyukiart.jimdo.com/gallery/>. Acessado em 06/2014.
- [6] Ziebell, L. F.. 2004. O Quarto Estado da Matéria. Em *nº.15*, Ed. Série Textos de Apoio ao Professor de Física. Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, 1-30.
- [7] Burton Inc. Disponível em: <http://burton-jp.com>. Acessado em 6/2014.
- [8] Groentjes, T. *Holography and Kinect*. Trabalho de conclusão de graduação, LIACS – Leiden Institute of Advanced Computer Science, 2013.
- [9] John H. Pepper. 1890. *The true history of the ghost*. Cassell e Compaly.
- [10] Medeiros, Alexandre. 2006. *A história e a física do fantasma de Pepper*. Caderno Brasileiro De Ensino De Física. 23 (3): 329-344.
- [11] Air Power Australia. THE MODERN FIGHTER COCKPIT. Disponível em: <http://www.ausairpower.net/TE-Fighter-Cockpits.html>. Acessado em 6/2014.
- [12] Roberto, R. A. 2012. *Desenvolvimento de sistema de realidade aumentada projetiva com aplicação em educação*, Tese de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco.
- [13] MUSION. Disponível em: <http://musion.co.uk/>. Acessado em 6/2014.
- [14] Palm Top Theater. Disponível em: <http://www.palmtoptheater.com/>. Acessado em 6/2014.
- [15] HOLHO. Disponível em: <http://www.holhocollection.com>. Acessado em 6/2014.
- [16] LINS, Caio Novaes. TEIXEIRA, João Marcelo. ROBERTO, Rafael Alves. TEICHRIEB, Veronica. 2014. *Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada*, vol. 4. (May 2014), 167-188.
- [17] Suporte Google Glass. Disponível em: <https://support.google.com/glass/>. Acessado em 6/2014.
- [18] H. Moysés Nussenzveig. 1998. Curso de Física Básica 4. Edgard Blücher.
- [19] Silveira, M. A. 2011. *Técnica de Navegação em Documentos Utilizando Microsoft Kinect*. Trabalho de conclusão de graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Informática. Curso de Ciências da Computação.
- [20] Microsoft Developer Network. Disponível em: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131033.aspx>. Acessado em 6/2014.
- [21] Perafán, D. C. M. 2013. *Reconstrução 3D de Objetos Simétricos a partir de Nuvens de Pontos utilizando Modelos Paramétricos de Superquádricas para Reconhecimento por Visão Robótica*. Tese de Mestrado, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica.
- [22] G. S. Cardoso, A. E. Schmidt. 2012. Biblioteca de Funções para Utilização do Kinect em Jogos Eletrônicos e Aplicações NUI. In *XXVI conference on graphics, patterns and images* (august 2013, Arequipa, Peru).
- [23] Yamada, F. A. A., Cejnog, L. W. X., Dembogurski, R. A., Vieira, M. B., Souza, R. L. 2013. *Reconstrução de Objetos 3D utilizando Estruturas de Indexação Espacial com o Microsoft Kinect*. Universidade Federal de Juiz de Fora.