

VISUALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL DE GRANDES VOLUMES DE INFORMAÇÃO

C. Russo dos Santos¹, P. Gros, P. Abel
Institut Eurecom, Multimedia Communications Dept.
BP 193 - 06904 Sophia-Antipolis Cedex - France
{russo,gros,abel}@eurecom.fr

Na actual era da informação o difícil não é produzir ou mesmo aceder a informação; encontrar e recuperar informação relevante entre a imensidade de informação disponível é a parte mais árdua. Grandes esforços estão a ser efectuados para atacar este problema. Motores de busca mais poderosos e inteligentes estão a ser desenvolvidos numa tentativa de simplificar o problema de data mining. Mas esta não é a única dificuldade e conduz directamente à seguinte questão: uma vez conseguido o acesso à informação, como poderemos tirar partido dela? A visualização da informação é uma das melhores soluções. Este artigo descreve como utilizar a visualização tridimensional de informação para apresentar e interagir com grandes volumes de dados.

1. INTRODUÇÃO

A visualização, enquanto campo de investigação, é definida em [McCormick et al., 1987] como “o estudo de mecanismos nos computadores e nos seres humanos que lhes permitem concertadamente perceber, utilizar e comunicar informação visual.” Assim, o objectivo da visualização é representar dados de modo que estes sejam perceptíveis pelo utilizador. Esta é a razão pela qual percepção é talvez a palavra mais adequada, embora o termo visualização esteja já estabelecido e o seu uso disseminado. A maior parte da investigação feita até ao momento neste campo tem abordado a representação de dados científicos, visualização científica. Mas os dados científicos possuem frequentemente um carácter espacial, o que facilita o seu mapeamento em representações tridimensionais (3D).

A visualização de informação é um conceito mais abstracto. Os dados a serem visualizados podem não possuir qualquer representação espacial natural e a sua complexidade é aumentada devido às grandes quantidades de informação geralmente em causa. Estes dados podem ser estruturados (e.g. em hierarquias ou redes), ou não possuir qualquer estrutura. A informação abstracta não é, portanto, inerentemente espacial. Contudo, e como vivemos num mundo físico, é mais fácil compreender a informação se esta for apresentada no espaço físico familiar.

1. Assistente do DEE/ISEP

Este artigo descreve como se pode tirar partido de interfaces gráficas tridimensionais para apresentar e interagir com grandes volumes de informação multidimensional. Na primeira secção discutimos a motivação para utilizar visualizações tridimensionais para apresentar dados ao utilizador. Na secção seguinte apresentamos algumas das técnicas de visualização mais utilizadas, e mostramos exemplos do uso de algumas dessas técnicas. A seguir procuramos lançar alguma luz sobre um dos maiores problemas que a visualização 3D da informação enfrenta hoje em dia: navegar e interagir com os dados. A última secção contém as conclusões.

2. PORQUÊ UTILIZAR VISUALIZAÇÃO 3D?

Nos últimos anos assistimos a substanciais avanços técnicos em computação gráfica e a uma proliferação de computadores *desktop* significativamente mais poderosos com a possibilidade de gerar gráficos complexos 3D. Adicionalmente, também se assistiu a um grande aumento na acessibilidade a informação e na ligação a redes de comunicação. Estes factores tornaram possível novas formas de apresentar visualmente e, portanto, comunicar informação. Esta secção apresenta a motivação para utilizar visualização tridimensional quando se pretende veicular informação.

A visualização de informação em duas dimensões (2D) tira partido de parâmetros visuais disponíveis em 2D (e.g., cor, tamanho, posição, forma) para representar características e propriedades dos dados. A visualização da informação em três dimensões acrescenta uma nova dimensão à representação dos dados, tornando assim possível uma utilização mais eficiente do espaço limitado disponível – o ecrã de computador. Isto é particularmente importante quando estamos a lidar com grandes quantidades de dados a serem visualizados.

A investigação em tecnologias de realidade virtual sugere que utilizar técnicas multimédia para codificar informação e apresentar esta informação num espaço perceptual 3D aumenta a quantidade de informação com a qual as pessoas são capazes de interagir [Robertson et al., 1991][Fairchild et al., 1988]. Mais ainda, se os objectos forem colocados numa representação 3D, em vez de 2D, a complexidade perceptível da informação apresentada é menor [Fairchild, 1993][Ware and Franck, 1994].

A visualização da informação em três dimensões também facilita a nossa compreensão dos dados através da utilização de novos parâmetros visuais (e.g., material, luminosidade, transparência) e novas técnicas de interacção (e.g., rotações geométricas 3D, “passeios” através dos dados) que convidam os utilizadores a explorar e manipular sistemas de informação grandes e complexos. Estes sistemas de informação podem ir desde catálogos de bibliotecas às quotações diárias das acções na bolsa ou aos arquivos de voos de uma companhia de aviação.

3. TÉCNICAS DE VISUALIZAÇÃO

De modo a tirar o maior partido dos meios gráficos para apresentar informação em três dimensões, técnicas de visualização 3D foram investigadas e implementadas para ajudar a veicular informação.

As técnicas de visualização em 3D podem ser divididas, grosso modo, nas seguintes categorias: mapeamento de atributos, codificação geométrica, sonorização, mapeamento no espaço de visualização, técnicas de apresentação, e técnicas dinâmicas. Esta classificação é apenas uma tentativa aproximada – existem casos onde é claro que as técnicas podiam facilmente ser classificadas em mais do que uma categoria. Por exemplo, as paredes de perspectiva podiam também ser consideradas uma técnica dinâmica de visualização e as *cityscapes* ser classificadas na categoria de técnicas de apresentação de informação.

3.1 Mapeamento de atributos

Este método é um dos métodos mais comumente utilizados para visualizar dados multidimensionais. O método define uma estrutura de primitivas geométricas (e.g., o contorno) e a seguir mapeia os valores dos dados nos atributos das primitivas geométricas [Wegenkittl et al., 1997]. O atributo mais utilizado é a cor.

Codificação da cor. Este método mapeia os valores dos dados na cor das primitivas geométricas. Este método não é verdadeiramente útil para conjuntos de dados com um grande número de dimensões, uma vez que o número de possibilidades disponíveis através da codificação da cor não é elevado.

Uma vantagem da codificação da cor é que é um método com o qual as pessoas estão, de um modo geral, familiarizadas uma vez que é comumente empregue (e.g., nos mapas meteorológicos) mas entre as desvantagens podemos referir a ausência de uma ordem intrínseca nas cores, o que as torna desadequadas para apresentar conjuntos ordenados (a menos que alguma informação extra seja fornecida) e o facto que algumas pessoas sofrem de alguma espécie de cegueira na distinção de cores.

3.2 Codificação geométrica

A codificação geométrica utiliza objectos geométricos para codificar dados que possuem um elevado número de dimensões numa estrutura de baixas dimensões. Os objectos são representados nesta estrutura e os valores dos dados são mapeados nos atributos gráficos dos objectos. A seguir, os objectos mais frequentemente utilizados na codificação geométrica são apresentados.

Glyphs. *Glyphs* são objectos gráficos que representam valores através de parâmetros visuais que podem ser espaciais (posição x ou y), retinianos (cor e tamanho), ou temporais [Chuah and Eick, 1998]. A complexidade de um *glyph* está directamente relacionada com o número de parâmetros visuais que disponibiliza para codificação. Assim, um *glyph* pode ser tão simples como um ponto num diagrama de pontos ou tão complexo como um facsímile de um computador, por exemplo. Com base nos valores dos dados mapeados nas suas características, o *glyph* adapta a sua aparência de acordo com os valores respectivos. Alguns dos atributos mais comumente utilizados para o mapeamento de variáveis em glyphs 3D são a cor, a forma, a transparência, o tamanho e a posição.

Icons. Outra técnica de visualização e uma das mais utilizadas, usa icons como codificadores geométricos, tirando partido dos seus atributos visualmente perceptíveis como cor, forma e textura. [Levkowitz, 1991] explora o facto que a cor e a forma são características perceptualmente diferentes, para codificar através da cor seis variáveis em seis formas de linhas distinguíveis, colocadas dentro de um quadrado (icon). Como a codificação da cor pode ser utilizada para codificar até três variáveis diferentes, o método pode ser utilizado para codificar até dezoito variáveis.

Faces Chernoff. As faces Chernoff são um modo de visualizar dados multidimensionais, desenvolvido por Chernoff [Chernoff, 1973], que tira partido da capacidade humana inata para distinguir características faciais. Chernoff mapeou atributos dos dados em características faciais com a intenção de utilizar conhecimentos comuns, uma vez que as pessoas estão habituadas a distinguir expressões faciais na vida diária. O problema das faces Chernoff é que embora sejam bastante úteis para mostrar tendências em dados multidimensionais, os valores dos dados propriamente ditos têm que ser apresentados adicionalmente, uma vez que aquelas não transmitem qualquer informação sobre os reais valores com as quais se relacionam. No entanto, a capacidade de ilustrar tendências não é desprezível, dado que pode ser usada, por exemplo, para ilustrar sobre que parte dos dados a atenção deve ser focada. A Figura 1 apresenta alguns exemplos de faces Chernoff com dez parâmetros disponíveis para codificação dos dados.

Figura 1. Faces Chernoff. Exemplo tirado de <http://www.hesketh.com/schampeo/Faces/leftBrain.html>. Os parâmetros



disponíveis para codificação dos dados são: excentricidade da cabeça; excentricidade, espaçamento e tamanho dos olhos; tamanho das pupilas; curvatura das sobrancelhas; tamanho do nariz; e largura, abertura e *offset* vertical da boca.

3.3 Sonorização

O uso do som na visualização de informação para codificar variáveis de dados não é, regra geral, corrente, o que não é de todo surpreendente uma vez que estamos a tratar de visualização de informação. No entanto, a utilização do som pode ser atractiva, neste contexto, de duas

formas: para transmitir informação codificada nos seus parâmetros e pelo facto de que, apelando a outros estímulos sensoriais, ajuda a evitar sobrecarregar o sistema visual.

As variáveis dos dados podem ser codificadas através do som fazendo uso dos seus parâmetros, como o tom ou o volume. O perigo reside no ouvido humano não conseguir distinguir estes dois parâmetros confundindo, por exemplo, uma eventual modificação no tom com uma modificação em ambos, tom e volume. Isto significa que deve ser tomado cuidado na codificação através do som, não a levando além das capacidades auditivas humanas.

3.4 Redução da dimensão

Através da redução da dimensão de um conjunto de dados de elevada dimensionalidade, podemos visualizar os dados numa grelha de dimensão reduzida. Vários métodos podem ser usados para conseguir a redução da dimensão. Nos parágrafos seguintes, dois dos métodos geralmente utilizados são descritos.

Focagem. Por focagem entendemos, neste contexto, visualizar apenas um subconjunto do conjunto original de dados. A focagem pode ser obtida através de mudanças na maneira como a informação é apresentada, através da projecção da informação ao longo de um eixo, reduzindo deste modo a dimensão, ou ainda através simplesmente da escolha de um subconjunto do conjunto original de dados para visualizar.

Encadeamento. Um dos métodos de visualizar informação por partes e contudo conservar uma percepção global de todo o conjunto de dados é através do encadeamento da informação. Isto pode ser feito ou através de visualizações sequenciais de subconjuntos dos dados ou apresentando concurrentemente diferentes visualizações dos subconjuntos. Visualizações sequenciais de subconjuntos podem ser usadas, por exemplo, numa visita guiada. Apresentações em paralelo de visualizações de subconjuntos podem ser feitas através de janelas múltiplas, permitindo fornecer uma visualização global de todo o conjunto de dados.

3.5 Coordenadas paralelas

Coordenadas paralelas representam dimensões em eixos paralelos, uniformemente espaçados na visualização e posicionados ortogonalmente em relação a uma linha horizontal [Inselberg and Dimsdale, 1990]. Cada um dos valores do conjunto de dados corresponde a uma linha múltipla (*polyline*) que intersecta os eixos paralelos nos valores das coordenadas do dado respectivo. É um método particularmente útil para detectar valores que fojem à regra e aglomerados de dados, através da inspecção dos padrões produzidos pelas linhas múltiplas.

3.6 Mapeamento no espaço de visualização

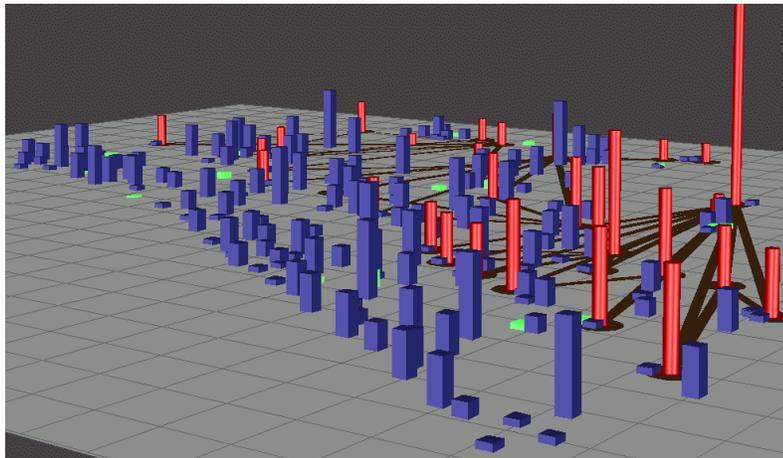
As seguintes técnicas de representação de informação em 3D usam um mapeamento entre as características dos dados e os atributos visuais da apresentação.

Diagramas de superfície. Os diagramas de superfície são uma extensão para 3D dos populares grafos em 2D. Os valores dos dados são então traçados ao longo dos três eixos de

coordenadas: **X**, **Y** e **Z**. Usualmente, os eixos **X** e **Z** são traçados horizontalmente e o eixo **Y** representa a altura. Os tríplexes de dados são geralmente ligados de modo a formarem uma malha, utilizando-se frequentemente codificação da cor. Este tipo de representação torna fácil identificar picos e valores mínimos, e extrair padrões.

Cityscapes. *Cityscapes* são uma técnica de visualização 3D que utiliza como metáfora o aspecto dos arranha-céus numa cidade. De facto, *cityscapes* são a transposição para três dimensões dos conhecidos gráficos de barras em 2D. Podemos também ver estas visualizações como uma forma particular dos gráficos de superfície, mas com uma granularidade superior. Nas visualizações através de *cityscapes*, os valores dos dados são mapeados nos atributos das barras 3D, os “arranha-céus”, e colocadas num plano 2D horizontal (ver Figura 2). Os valores dos dados podem ser mapeados nos atributos dos “arranha-céus” como altura, cor, transparência, ou ainda em características como o estilo arquitectural.

Figura 2. Exemplo de uma visualização do tipo *cityscape*, tirada de [Chuah et al., 1995]. Os “prédios” representam



dados e o utilizador pode mudar interactivamente a visualização de diferentes partes da cidade de acordo com as suas necessidades (e.g., usar uma gralha transparente para elevar prédios baixos escondidos atrás de prédios altos).

Espaço Benediktine. Introduzido por Michael Benedikt [Benedikt, 1991] o espaço benediktine é baseado em dois princípios, quando avaliado do ponto de vista da dimensão: *O Princípio da Exclusão* e *O Princípio da Máxima Exclusão*.

Benedikt avança com a ideia de duas classes de dimensões, intrínsecas e extrínsecas, admitindo que o comportamento de um sistema pode ser caracterizado por variáveis ou dimensões. Nesta nomenclatura, dimensões extrínsecas referem-se à localização espaço-temporal do ponto/objecto (e.g., coordenadas carteseianas). Dimensões intrínsecas estão codificadas no carácter intrínseco do ponto/objecto (e.g., tamanho, forma, cor).

O Princípio da Exclusão declara que dois objectos diferentes não podem coexistir no mesmo espaço e ao mesmo tempo, o que na classificação de Benedikt significa que dois objectos diferentes não podem ter as mesmas dimensões extrínsecas.

Princípio da Exclusão – O caso de dois objectos não idênticos possuírem os mesmos valores de dimensões extrínsecas, quer ao mesmo tempo, ou incluindo o tempo como uma dimensão extrínseca do conjunto, é proibido, independentemente de quaisquer outras comparações que possam ser feitas entre as suas dimensões intrínsecas e valores.

No sentido de definir o que constitui uma “boa” visualização (i.e., uma visualização mais imediatamente inteligível e/ou em última análise satisfatória) Benedikt enuncia o Princípio da Máxima Exclusão. Este princípio constitui uma heurística para ajudar a encontrar a “melhor” visualização, uma vez que todas as representações do mesmo conjunto de dados, presumindo que nenhuma informação é perdida, são matematicamente equivalentes, mas não são necessariamente funcionalmente equivalentes.

Princípio da Máxima Exclusão – Dado um qualquer estado com N dimensões de um fenómeno, e todos os valores – actuais e possíveis – de essas N dimensões, devem escolher-se como dimensões extrínsecas – como “espaço e tempo” – o conjunto de (duas, três ou quatro) dimensões que irá minimizar o número de violações do Princípio da Exclusão.

3.7 Técnicas de apresentação da informação

As seguintes técnicas acentuam o lado da apresentação da informação, reforçando a aparência e a acessibilidade dos dados no sentido de fornecer uma interface mais amigável ao utilizador.

Paredes de perspectiva. A parede de perspectiva é uma técnica desenvolvida por Mackinlay [Mackinlay et al., 1991] para visualizar grandes volumes de informação ordenados ao longo de uma única dimensão, como, por exemplo, as entradas de um directório ordenadas alfabeticamente. Tipicamente este é um caso onde a largura da estrutura de informação é muito mais pequena que o seu comprimento.

A técnica da parede de perspectiva “embrulha” uma visualização 2D numa parede 3D. A parede de perspectiva é constituída por um painel no centro para fornecer uma vista detalhada da região de interesse, e um painel de perspectiva em cada um dos lados para providenciar o contexto da totalidade do conjunto de dados. A região de interesse permanece sempre no centro, de forma que o utilizador possa sempre obter uma vista detalhada. A Figura 3 mostra um exemplo da utilização de uma parede de perspectiva para representar ficheiros de acordo com a data da última mudança do ficheiro.

Esta técnica permite apresentar uma visão global numa única visualização, permitindo integrar uma vista detalhada e reter o contexto da informação. Uma das insuficiências da parede de perspectiva é que só consegue lidar com bases de informação ordenada ao longo de uma única dimensão.

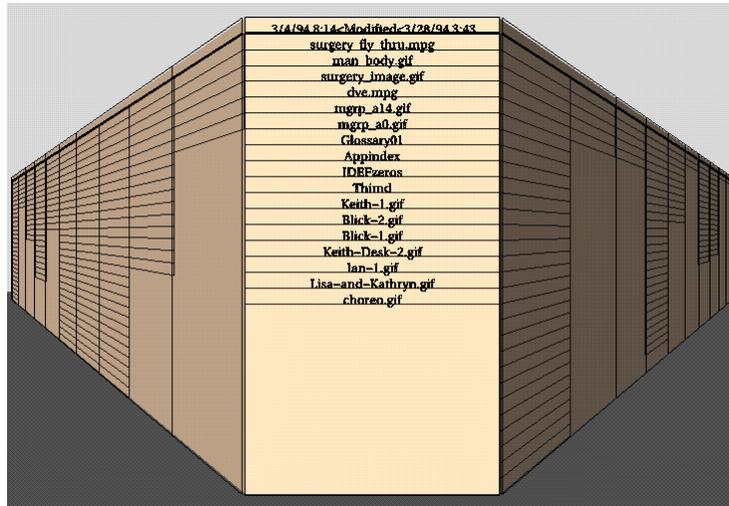


Figura 3. Exemplo de uma parede de perspectiva tirado de [Mukherjea et al., 1995]. A visualização apresenta ficheiros de acordo com a última data de modificação. Cada uma das paredes apresenta ficheiros que foram modificados dentro do mesmo intervalo de tempo.

Conetrees e Camtrees. *Conetrees* [Robertson et al., 1991] são provavelmente a técnica mais disseminada para visualizar informação hierárquica em três dimensões. Fundamentalmente, *conetrees* (árvores de cones) são a tradução para 3D das populares árvores hierárquicas 2D. Esta técnica permite a representação visual de grandes quantidades de informação de uma maneira intuitiva, uma vez que as relações entre a informação visualizada, nomeadamente o seu carácter hierárquico, é evidente. *Camtrees* são similares às *conetrees* com a única diferença de serem representadas horizontalmente, em vez de verticalmente.

A construção de uma árvore de cones é feita através do posicionamento do nó raiz no vértice de um cone e colocando todos os nós filhos igualmente espaçados na base do cone. Este processo é então iterado para cada um dos nós na árvore que possui nós filhos. A altura dos cones e o diâmetro das suas bases tem que ser calculado de modo a poder acomodar toda a informação no espaço disponível, e da maneira mais agradável do ponto de vista visual. Na maior parte das implementações de visualização de informação a partir de árvores de cones, o utilizador pode interagir com a visualização através da escolha do nó que deseja examinar mais detalhadamente e a árvore roda suavemente de modo a que o cone escolhido apareça na frente. A rotação suave é importante para que o modelo cognitivo do utilizador não seja destruído através de mudanças bruscas. A Figura 4 mostra um exemplo de uma visualização baseada em árvores de cones para representar informação topológica de uma rede informática.

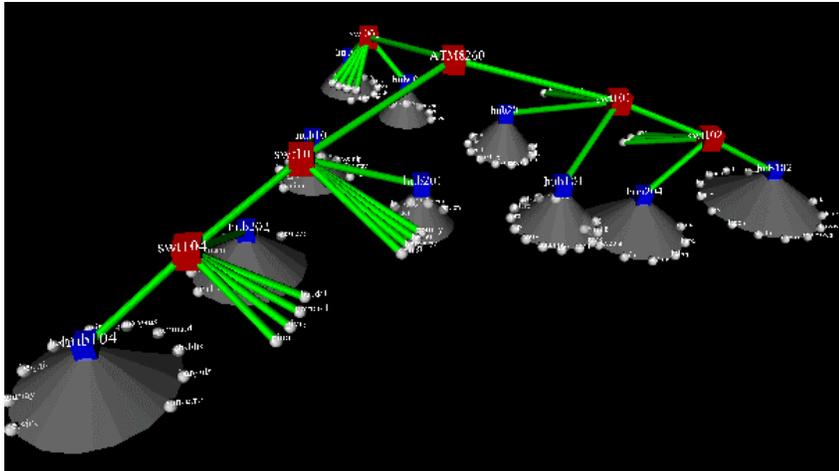


Figura 4. Exemplo de uma árvore de cones utilizada para apresentar informação topológica da rede informática de Eurecom (<http://www.eurecom.fr/~abel/cybernet>).

Rooms. 3D *rooms* (salas 3D) [Robertson et al., 1993] permitem a exploração de um sistema de informação através da apresentação da informação em salas virtuais tridimensionais. Cada um dos subconjuntos do conjunto global de informação é apresentado numa sala específica e o utilizador pode navegar entre as diferentes salas através de portas que ligam as salas. O utilizador pode mover-se de uma sala para a outra através de uma porta de ligação entre ambas, e pode refazer os seus passos abandonando a sala através da “porta das traseiras”. Para que o utilizador possa navegar rapidamente entre todas as salas, é fornecida a planta de todas as salas, permitindo ao utilizador deslocar-se directamente para a sala que deseja, sem ter que passar através de um sem número de portas para chegar à sala pretendida. A planta das salas também fornece informação sobre a informação presente em cada uma das salas. Usualmente as paredes das salas são também usadas como um ecrã 2D para apresentar informação.

3.8 Técnicas dinâmicas

As técnicas dinâmicas conferem propriedades dinâmicas às visualizações correspondentes, fazendo com que estas reajam automaticamente a acções do utilizador ou a mudanças nos dados.

Vistas Fisheye. Na fotografia uma lente do tipo *fisheye* é uma lente com um ângulo muito aberto que aumenta os objectos que estão próximos, enquanto mostra os objectos circundantes cada vez com menos detalhe. As vistas *fisheye* permitem assim aumentar o nível de detalhe para um particular subconjunto da informação, sem perda do contexto global.

O conceito de vistas *fisheye* foi introduzido por Furnas [Furnas, 1986] mas foram Sarkar e Brown que implementaram as primeiras vistas *fisheye* para visualizar grafos 2D [Sarkar and Brown, 1992]. Uma visualização deste tipo permite apresentar um grande volume de informação numa única vista. Mais ainda, permite visualizar em detalhe uma subregião específica do conjunto de dados, mantendo o contexto global dos dados. O utilizador define o conjunto particular de dados que lhe interessa ver com mais detalhe, i.e., o foco. A Figura 6 mostra uma vista do tipo *fisheye* da informação apresentada na Figura 5.

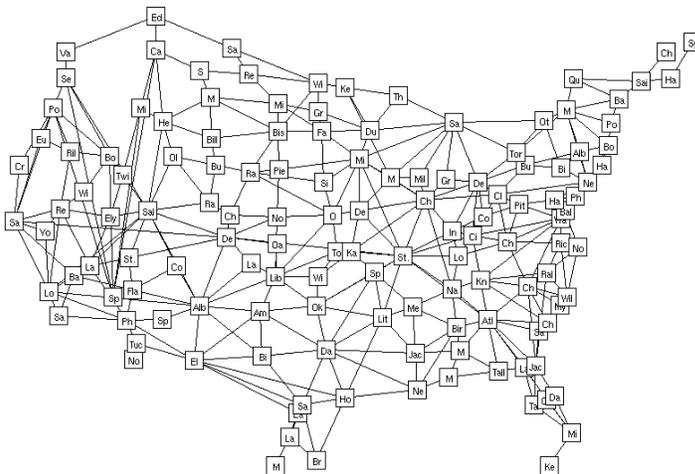


Figura 5. Grafo representando as principais cidades dos Estados Unidos, com linhas a ligar cidades vizinhas. Contém 134 nós (cidades) e 338 ligações [Sarkar and Brown, 1992].

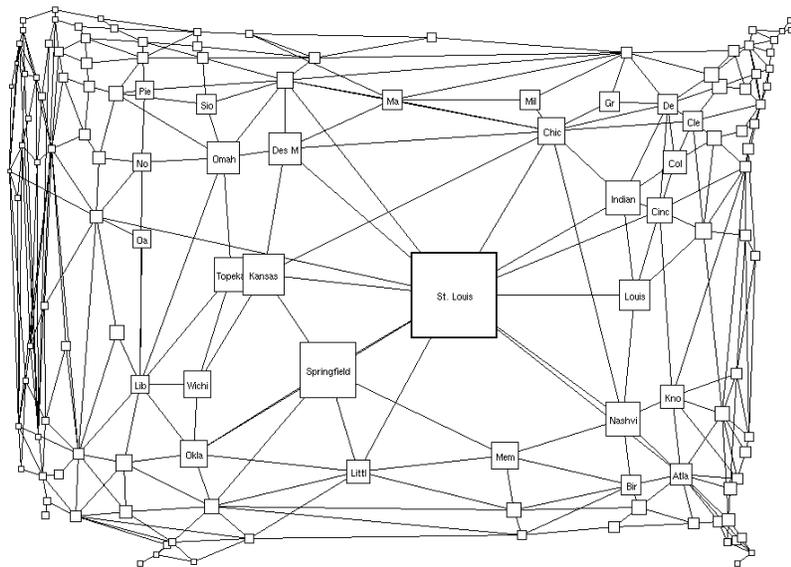


Figura 6. Vista do tipo *fish-eye* da informação apresentada na Figura 5 com foco em St. Louis [Sarkar and Brown, 1992].

Rubber sheet. A técnica *rubber sheet* (folha de borracha) foi desenvolvida por [Sarkar et al., 1993] como uma tentativa de ultrapassar alguns dos pontos fracos de outras técnicas de visualização de grandes volumes de informação num espaço reduzido, como vistas *fish-eye* e paredes de perspectiva.

Esta técnica, como o nome sugere, utiliza uma metáfora de uma folha de borracha para “esticar” a visualização, com foco definido pelo utilizador. Esta técnica, como as vistas *fish-eye* e as paredes de perspectiva, permite ver com detalhe uma parte da informação retendo o contexto global (ver Figura 7). Os maiores avanços desta técnica, quando comparada com as duas técnicas

citadas, incluem permitir ao utilizador definir focos múltiplos e controlar com precisão o espaço alocado a cada um dos focos.

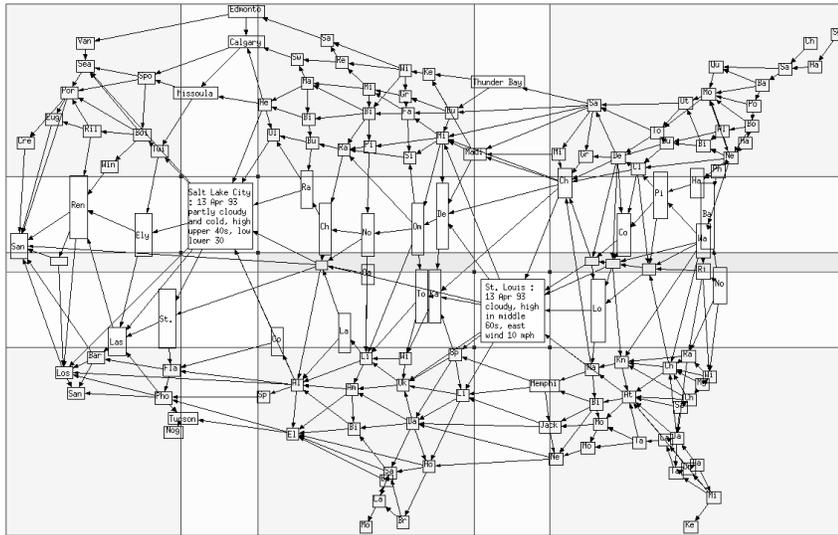


Figura 7. Uma vista “esticada” da informação apresentada na Figura 5 na página 10, com foco em St. Louis e em Salt Lake City. Exemplo tirado de [Sarkar et al., 1993].

Ícons emotivos. Ícons emotivos são ícons que mudam dinamicamente o seu comportamento quando na presença de um utilizador no mundo virtual [Walker, 1995]. Por exemplo, podem agir agressiva ou passivamente, avançar ou recolher, crescer ou encolher, dependendo do perfil do utilizador e da importância que os dados ou acções que os ícons representam têm para esse utilizador. Ícons emotivos podem também reagir à presença de outros ícons. Por exemplo, ícons representando informação de natureza similar podem mover-se para junto uns dos outros, enquanto os que representam dados de natureza distinta se afastam entre si.

No contexto da visualização 3D de informação, os ícons emotivos poder ser utilizados para aumentar a interactividade de uma apresentação de informação, tornando-a mais dinâmica e tornando mais fácil para o utilizador compreender a informação apresentada. O objectivo é aumentar o impacto e eficácia da interface com o utilizador numa visualização complexa.

4. INTERACÇÃO E NAVEGAÇÃO

Após termos visto algumas técnicas de codificação e de apresentação visual de grandes volumes de informação, uma questão pertinente subsiste: uma vez a informação representada num mundo virtual 3D, como interagir com a informação e navegar no mundo virtual? Muito provavelmente a visualização de grandes volumes de informação, independentemente da técnica utilizada, não permitirá apresentar toda a informação numa única vista global e com o nível de detalhe desejado. Deverá, assim, ser possível ver informação que aparece “longe” no espaço virtual, examinar um conjunto de dados particular muito de perto, observar os dados de um outro ângulo particular, etc.

A navegação é definida em [Furnas and Jul, 1997] como “o processo pelo qual as pessoas determinam onde estão, onde está tudo o resto, e como chegar a objectos ou lugares específicos”. A navegação em mundos virtuais de grande dimensão persiste como uma das áreas de investigação onde existe ainda muito a fazer. De facto, as pessoas que exploram sistemas de informação em 3D muito frequentemente experimentam a sensação de estarem perdidas no ciberespaço.

Um dos métodos mais populares para navegar num mundo virtual é através da utilização de pontos de observação (*viewpoints*). O utilizador pode “saltar” de um ponto de observação para outro, deslocando-se assim no mundo virtual. Este método é restritivo atendendo a que limita a navegação a alguns pontos de observação dentro do mundo 3D. Outra técnica de navegação consiste no uso “muralhas” (*ramparts*), que no fundo não são mais do que um número de pontos de observação predefinidos e ligados entre si de modo a definir um caminho específico – a muralha. O utilizador pode mover-se no mundo percorrendo a muralha.

Alguma investigação sobre navegação em mundos virtuais é baseada no facto de que o que já é conhecido sobre a navegação no mundo real também se aplica aos ambientes electrónicos, uma vez que os seus princípios são independentes do tipo de espaço [Darken and Sibert, 1995]. Uma técnica directamente derivada da navegação no mundo real é a utilização de marcos de referência (*landmarks*) em mundos virtuais interactivos. Os marcos de referência fornecem informação acerca da posição no espaço e são relativamente fáceis de adicionar aos mundos virtuais.

Outra técnica de navegação, de alguma forma relacionada com o uso de marcos de referência, é a marcação de trilhos (*trailblazing*). A marcação de trilhos envolve deixar pistas no mundo virtual como estratégia para marcar ou codificar posições [Edwards and Hand, 1997]. As pistas fornecem um método de facilmente encontrar locais específicos no futuro e/ou podem acrescentar significado ao ambiente. As pistas funcionam de uma forma similar aos marcos de referência, mas enquanto as últimas são colocadas pelo *designer* do mundo virtual, as primeiras são criadas pelos utilizador.

Como conclusão, pensamos que a navegação está fortemente ligada à metáfora visual utilizada para representar a informação e, conseqüentemente, ao paradigma de interacção utilizado. Por exemplo, numa metáfora de cidade (i.e., a aparência do mundo virtual assemelha-se a uma cidade, com edifícios, ruas, etc) a navegação pode ser implementada através de um “táxi” que o utilizador apanha para se mover até ao destino pretendido, eventualmente especificando o caminho que pretende seguir. O que sentimos que falta são novas metáforas e novos paradigmas de interacção, adequados a mundos 3D, que tornem a visualização, navegação e interacção de grandes sistemas de informação uma tarefa intuitiva e simples.

5. CONCLUSÕES

Graham Walker [Walker, 1995] identificou quatro grandes desafios na visualização de informação: um volume crescente de dados com conteúdo de informação em declínio; ferramentas e modelos de análise de dados cada vez mais complexos; dados e assuntos cada vez mais abstractos; e uma audiência cada vez maior e menos especializada. É nossa convicção que a

visualização tridimensional da informação pode ser a resposta acertada para fazer frente a estes desafios.

A visualização de grandes volumes de informação é facilitada pela dimensão adicional introduzida, quer através do aumento do espaço disponível e de parâmetros visuais para codificar os dados, quer através de novos paradigmas de interacção/navegação só possíveis em 3D. A complexidade da visualização dos dados pode ser reduzida, através de novas técnicas de visualização. O problema dos níveis crescentes de abstracção pode ser atacado através da utilização de novas metáforas baseadas no mundo real, promovendo assim a transferência de conhecimentos que o utilizador já possui para o mundo virtual. E, finalmente, a tarefa de comunicar com uma audiência cada vez mais abrangente pode ser melhorada e facilitada através de visualizações mais realistas e atractivas.

Neste artigo atacamos essencialmente o primeiro desafio: visualizar grandes volumes de informação. Dentro deste contexto apresentamos a motivação para utilizar visualização tridimensional. Algumas das técnicas mais utilizadas para apresentar grandes volumes de informação no espaço limitado do ecrã de computador foram descritas. Exemplos para ilustrar algumas das técnicas foram apresentados. O problema da navegação num espaço tridimensional foi abordado através da apresentação de alguns métodos de navegação.

6. REFERÊNCIAS

- Benedikt, M. *Cyberspace: First Steps*, chapter Cyberspace: Some Proposals, pages 119–224. MIT Press. 1991.
- Chernoff, H. The use of faces to represent points in k-dimensional space graphically. *Journal of the American Statistical Association*, 68:361–368. 1973.
- Chuah, M. C. and Eick, S. G. Information rich glyphs for software management data. *IEEE Computer Graphics & Applications*, 18(4). ISSN 0272-1716. 1998.
- Chuah, M. C., Roth, S. F., Mattis, J., and Kolojejchick, J. SDM: Selective dynamic manipulation of visualizations. In *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 3D User Interfaces, pages 61–70. 1995.
- Darken, R. P. and Sibert, J. L. Navigating large virtual spaces. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 1995.
- Edwards, J. D. M. and Hand, C. MaPS: Movement and planning support for navigation in an immersive VRML browser. In Carey, R. and Strauss, P., editors, *VRML 97: Second Symposium on the Virtual Reality Modeling Language*, New York City. 1997.
- Fairchild, K. M. *Virtual Reality: Applications and Explorations*, chapter Information Management Using Virtual Reality-Based Visualizations, pages 45–74. Academic Press Professional. 1993.
- Fairchild, K. M., Poltrock, S. E., and Furnas, G. W. SemNet: Three-dimensional graphic representation of large knowledge bases. In Guindon, R., editor, *Cognitive Science and its*

Applications for Human-Computer Interaction, pages 201–233. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey, U.S.A. 1988.

Furnas, G. and Jul, S. Navigation in electronic worlds. In *Proceedings of ACM CHI 97 Conference on Human Factors in Computing Systems*, volume 2 of *Workshop 9*, page 230. 1997.

Furnas, G. W. Generalized fisheye views. In *Proceedings of ACM CHI'86 Conference on Human Factors in Computing Systems*, Visualizing Complex Information Spaces, pages 16–23. 1986.

Inselberg, A. and Dimsdale, B. Parallel coordinates: a tool for visualizing multidimensional geometry. In *IEEE Visualization'90 Proceedings*, pages 361–378. IEEE Computer Society. 1990.

Levkowitz, H. Color icons: Merging color and texture perception for integrated visualization of multiple parameters. In *Visualization'91*, pages 164–170. 1991.

Mackinlay, J. D., Robertson, G. G., and Card, S. K. The perspective wall: Detail and context smoothly integrated. In *Proceedings of ACM CHI'91 Conference on Human Factors in Computing Systems*, Information Visualization, pages 173–179. 1991.

McCormick, B. H., DeFanti, T. A., and Brown, M. D. Visualization in scientific computing - a synopsis. *Comput. Appl. Graph.*, 7(4):61–70. 1987.

Mukherjea, S., Foley, J. D., and Hudson, S. Visualizing complex hypermedia networks through multiple hierarchical views. In *Proceedings of ACM CHI'95 Conference on Human Factors in Computing Systems*, volume 1 of *Papers: Creating Visualizations*, pages 331–337. 1995.

Robertson, G. G., Card, S. K., and Mackinlay, J. D. Information visualization using 3D interactive animation. *Communications of the ACM*, 36(4):56–71. 1993.

Robertson, G. G., Mackinlay, J. D., and Card, S. K. Cone trees: Animated 3D visualizations of hierarchical information. In Robertson, S. P., Olson, G. M., and Olson, J. S., editors, *Proc. ACM Conf. Human Factors in Computing Systems, CHI*, pages 189–194. ACM Press. 1991.

Sarkar, M. and Brown, M. H. Graphical fisheye views of graphs. In *Proceedings of ACM CHI'92 Conference on Human Factors in Computing Systems*, Visualizing Objects, Graphs, and Video, pages 83–91. 1992.

Sarkar, M., Snibbe, S., Tversky, O. J., and Reiss, S. P. Stretching the rubber sheet: A metaphor for viewing large layouts on small screens. Technical Report CS-93-39, Department of Computer Science, Brown University. 1993.

Walker, G. Challenges of information visualization. *British Telecommunications Engineering Journal*, 14:17–25. 1995.

Ware, C. and Franck, G. Viewing a graph in a virtual reality display is three times as good as a 2D diagram. In *IEEE Conference on Visual Languages*, pages 182–183. 1994.

Wegenkittl, R., Löffelmann, H., and Gröller, E. Visualizing the behavior of higher dimensional dynamical systems. In *IEEE Visualization'97 Proceedings*, pages 119–125. IEEE Computer Society. 1997.