
インターフェイスの街角 (7)

情報視覚化技術

増井俊之

今回は、このところ注目を集めつつある情報視覚化 (Information Visualization) に関する技術を紹介します。

情報の視覚化

最近、個人でも大量のデータを計算機で扱う機会が増えてきました。量が少ないうちは表示方法に配慮しなくてもさほど問題はありますが、膨大なデータの性質を直感的に把握するには、データを計算機の画面上にうまく表示する視覚化 (Visualization) 技術が必要になります。

従来は、視覚化といえばシミュレーション結果などの大量の数値データを対象とする、いわゆるサイエンティフィック・ビジュアリゼーションが主流でした。しかし、個人が扱うデータが多様化し、量も膨大になってきたため、文書や画像、地図、データベースなどのデータを視覚化する情報視覚化技術が注目され始めました。

たとえばディレクトリのファイルを眺める場合、UNIX のシェルでは `ls` コマンドなどを使うのが普通ですが、パーソナル・コンピュータのファイルブラウザでは、ファイルをアイコンとして表示 (視覚化) して探しやすくする手法が用いられています。これはごく単純な視覚化の例ですが、ファイルのサイズやディレクトリ構造などの情報うまく表現すれば、さらに使いやすいファイルブラウザが作れるかもしれません。扱う情報の量は今後ますます増えると思われるので、効果的な情報視覚化システムが求められるのは当然のなりゆきでしょう。

情報視覚化の用途

情報視覚化技術は効果的な検索に有用です。たとえば、長期間アクセスされていないファイルや巨大なファイル、

`core` や `junk.*`、`*.log` などのファイルを探して消す場合、`ls` や `find` などの一般的な UNIX コマンドでは、これらの条件を組み合わせて該当するものを見つけるのは容易ではありません。情報視覚化システムによって、すべてのファイルのサイズ、名前、アクセス頻度などが一目で分かるようになれば、これらの作業ははるかに簡単になります。

情報視覚化は、プログラムのデバッグやアルゴリズムの理解を助けるために従来からよく利用されています。たとえば、ソーティング・アルゴリズムの挙動をソースプログラムを目で追うだけで理解するのは困難ですが、並べ替えの様子をアニメーションとして示せば理解しやすくなります。

情報視覚化技術は、データ間の関係の発見に有効な場合もあります。最近、「データマイニング (Data Mining)」という言葉をよく耳にします。これは、大量のデータのなかから意味のある情報を抽出する技術です。たとえば、コンビニエンス・ストアの膨大な販売データを解析して、「パンを買う人は牛乳も買うことが多い」「雨の日は傘がよく売れる」といった知識を取得します。一般に、このような規則はデータの統計処理によって得ますが、たんなる統計処理では上のような単純な規則もなかなか得られません。一方、情報視覚化技術を用いて雨の日と晴れの日の売上データを比較・表示することができれば、天候と売上との意外な関連性が見つかるかもしれません。今後、このような分野でも、対話的な情報視覚化によるデータマイニングが有効になるのではないのでしょうか。

情報視覚化の特徴

サイエンティフィック・ビジュアリゼーションとは異なり、情報視覚化システムには次のような特徴があります。

ユーザーの幅が広い

サイエンティフィック・ビジュアライゼーションのユーザーは科学者やエンジニアがほとんどで、多少使いにくいシステムでも我慢しながら利用していました。しかし、一般の人がひろく使う可能性のあるファイルの視覚化システムなどは誰でも簡単に利用できなくては困ります。

視覚化手法の選択範囲が広い

シミュレーション結果の視覚化などでは計算の対象が実際の2次元/3次元物体であることが多く、そのまま視覚化すればすむことが多いようです。たとえば、雲の流れをシミュレーションで計算して視覚化する場合は、雲の形をそのまま3次元表示したほうが直感的に理解しやすいでしょう。しかし、情報視覚化では対象が現実の物質ではないほうが普通で、どのように視覚化するかは完全にシステム次第です。たとえば、ディレクトリやファイルの階層構造は木の枝のようにも表現できれば、パーソナル・コンピュータのデスクトップのようにアイコンとウィンドウで表現することもできます。さらに、後述のようにまったく異なる表現形式にすることも可能です。このように、視覚化にあたって任意の表現方式を選べるのは利点でもありますが、半面、直感的な視覚化手法を選択するのは容易ではありません。

対話性が重要

さきほど述べたように、情報視覚化の目的は視覚化そのものではなく、情報検索や規則の発見にあることが多いので、データを見る方向や視覚化の手法を変えたり、データを絞り込んでさらに別の視覚化を繰り返すといった“対話性”が重要なポイントになります。

情報視覚化に必要な技法

大量の情報を効果的に視覚化して扱えるようにするには、次のような技法が必要です。

データの画面へのマッピング技法

まず、データを画面上でどのように表現するかを決めなければなりません。1次元的に並んだデータであればリストのように、階層的なデータなら木の枝のように表現することが多いでしょう。しかし、構造が複雑になると視覚化に適した表現方法がかならずあるとはかぎりません。たと

えば Web のハイパーリンクのように、複雑にポイントが絡まったデータ構造を視覚化するにはどうすればいいのでしょうか。各ページを2次元空間に配置して、そのあいだを線で結んだり、あるいはページを3次元座標中の球として表現することもできそうですが、スパゲッティ状のグラフになって分かりにくくなるおそれがあります。複雑な構造を画面上で分かりやすく表現するには、上手な視覚化手法を考える必要があります。3次元グラフィックスを使う方法以外にも、色の濃淡や透明度、テクスチャなどを利用したり、アニメーションによって動きを表現するなど、多種多様な視覚化手法が考えられます。

必要なものだけを表示する技法

データを画面上にどのように配置するにせよ、データをすべて表示するのは不可能なので、なんらかの手段によって表示するデータの量を制限する必要があります。たとえば、文字端末を利用した従来の情報検索システムや grep コマンドなどでは、キーワードを用いたフィルタリングによって制御しますし、スクロールバー付きのテキスト・ウィンドウや more コマンドなどでは、データをすこしずつ表示して制限します。

文字端末ではこの程度ですが、グラフィックス端末ならさらに工夫ができます。たとえば、重要度に応じて大きさを変更して表示するだけでも、単純に並べるよりも多くの情報が得られます。データをすべて3次元空間にマッピングすれば、視点に近いものほど大きく、遠いものほど小さく表示するといった処理が自然に実現できるので、このようなフィルタリングも比較的簡単です。3次元表示以外の方法でも、データに重要度の重みづけをおこない、表示量を制御できるでしょう。

全体像と細部を同時にみる手法

大量のデータを視覚化する場合、データの全体像と局所的な状況を同時に参照したいことがあります。スクロールバーを用いた多くのテキスト編集プログラムでは、テキストが局所的に表示され、スクロールバーのスライダの部位によってその部分が全体のおおむねのあたりに位置するかが分かります。情報の全体像と細部とを同時に把握するには、複数の画面を使う方法のほか、画面を歪ませて注目を拡大して表示したり、あるいは透明な画面を重ねて両者を同時に表示するという手法も考えられます。

自動配置手法

データを画面に配置する方針が決まっても、そのためのプログラムが簡単に作れるとはかぎりません。たとえば、階層的なデータを木構造として表現するにしても、画面上に木の枝や葉を適切に配置するには複雑な計算が必要な場合があります。審美的な要素も含めると、自動的に配置を計算して視覚化するのは容易ではありません。

操作しやすいインターフェイス手法

前述したように、情報視覚化においては、ユーザーとの対話的なやりとりによって表示を簡単に変更されることが求められるので、使いやすいインターフェイス手法の採用が重要です。小さな画面に大量のデータを表示するには、3次元表示が好都合かもしれません。しかし、ペンやマウスなどの一般的な入力装置で3次元に視覚化されたデータを操作するのは困難なので、数多くの対話的な操作が必要な情報視覚化においては3次元視覚化は不利かもしれません。いずれにせよ、一般的なGUIの場合と同様、視覚化インターフェイスにおいても直接操作や動的検索、連続的操作、可逆的操作などのテクニックが重要です。

情報視覚化のトレンド

情報視覚化という言葉が広まる前は、グラフなどを2次元画面に自動配置するシステム、プログラムを美しく印刷するためのプリティプリンタ、プログラムの動作を理解するためのプログラム・ビジュアライゼーションやアルゴリズム・アニメーションなどの研究がさかんにおこなわれていました。しかし、最近ではデザイナーなどの協力を得て、3次元CG表示や動的なズーム・システムなどの見栄えのよさを重視したシステムの研究開発が主流のようです。さらに、これらの研究成果をふまえた、Perspecta¹やInxight²、IVEE³などをはじめとする数多くのベンチャー企業の登場も目立ちます。

各種の視覚化システム

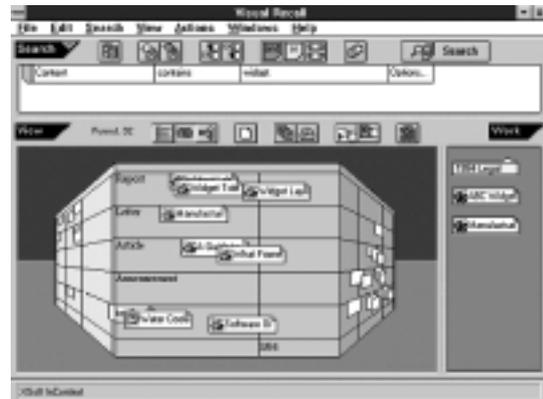
比較的最近になって提案された情報視覚化システムをいくつか紹介します。

1 <http://www.perspecta.com/>

2 <http://www.inxight.com/>

3 <http://www.ivee.com/>

図1 Perspective Wall



3次元視覚化システム

3次元空間には、2次元空間よりも大量のデータを置くことができ、表示も直感的に理解しやすいという特徴があります。このため、情報を3次元空間に配置する“3次元視覚化システム”の研究は早くからおこなわれてきました。

Xerox PARC (Palo Alto Research Center) では、“Information Visualizer”という名称で各種の3次元視覚化システムが提案されています。Perspective Wall[2]は、3次元空間上の曲がった壁の上に長いリストを貼り付けて、視点に近いものは大きく、遠いものは小さく表示できるシステムです(図1)。中央のデータは大きく、周縁のデータは小さいもののその存在は分かるように表示されます。たとえばスケジュールを表示する場合、当日以降の直近のスケジュールは大きく、すでに過ぎたものや将来のものは小さく表示されます。

Cone Trees[2]は、大きな階層構造を3次元空間上の円錐の組合せで表示するシステムです(図2)。大きな木構造を2次元空間上に配置するのは大変ですが、3次元空間上に配置することによって、より多くの情報が表示できます。円錐の向こう側の情報が見にくくなっていますが、クリックすると回転して手前にくる仕組みになっているので、ナビゲーションは意外に簡単です。

Cone Treesを情報検索に活用するために、Cat-a-Coneというシステム[4]も作られています(図3)。Cone Treesはそのままでは情報のフィルタリングに使いにくいので、Cat-a-Coneは、キーワードによる情報検索の結果とカテゴリー階層を表すCone Treesを3次元空間に表

図 2 Cone Trees

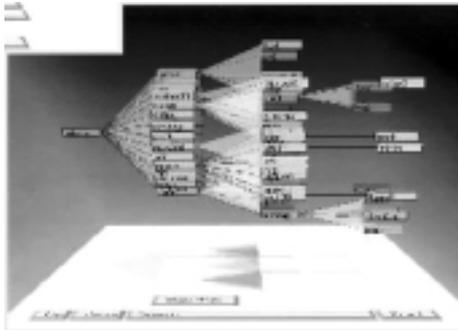
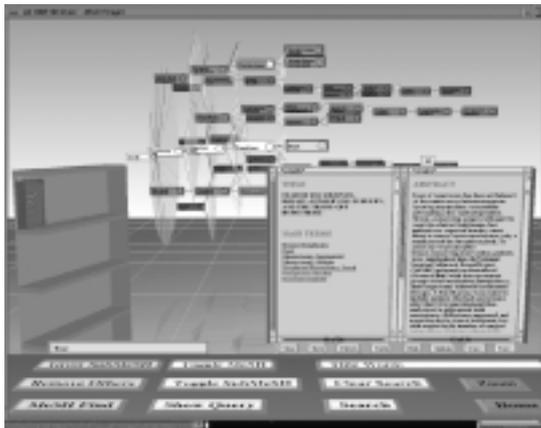


図 3 Cat-a-Cone



示します。

3次元視覚化を用いて対話的に情報検索をおこなうシステムとして、慶應義塾大学の塩澤秀和さんが作った「納豆ビュー」⁴があります(図4)。このシステムは、関連のあるデータをリンクで結んだグラフを視覚化と検索の対象にします。最初は、すべてのデータが1つの平面上に配置されるのでやや見にくいのですが、ユーザーが興味のあるノードを上方に引っ張りあげると、関連するノードがその関連の度合いに応じて(納豆のように)くっついて引き上げられていきます。この操作によって各ノードの関係が体感できるため、静的な視覚化よりも情報が探しやすくなります。

非線型ズームング・システム

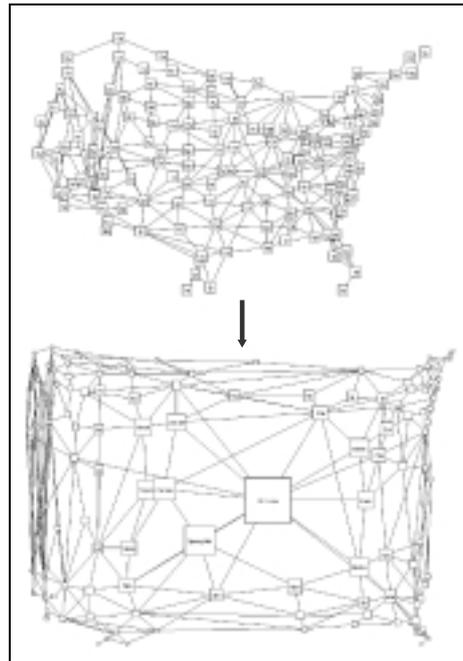
全体の構造を把握しながら局所的な情報も詳しくみるために、データの一部だけを拡大して表示する方法として、

4 <http://www.myo.inst.keio.ac.jp/groups/IPS/>

図 4 納豆ビュー



図 5 FisheyeView Graph



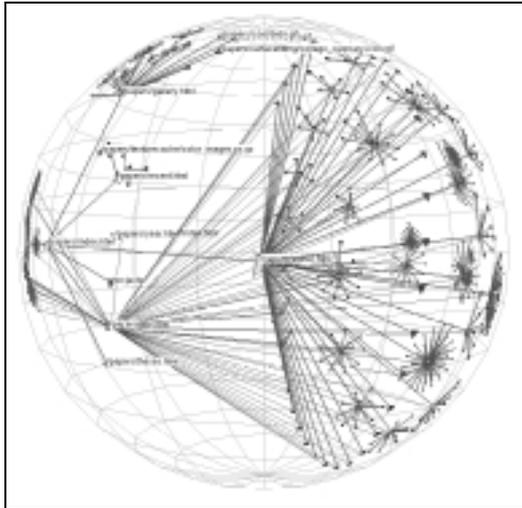
各種の非線型ズームング・システムが考案されています。

たとえば FisheyeView Graph というシステム [9] では、2次元画面上に描いた地図を部分的に拡大し、米国全体の形を保ちながら局所的に都市を拡大して見られます

図 6 Hyperbolic Tree



図 7 H3



(図 5) このように、重要度に応じて部分的に画面を拡大して視覚化する手法を Fisheye View[3] 方式と呼びます。

また、Hyperbolic Tree というシステム [5] では、非ユークリッド空間である “Hyperbolic Space” に配置した情報を 2 次元空間にマップすることにより、大量のデータが 1 つの円のなかに表示される仕組みになっています。遠くのものほどデータの数が多くなりますが、小さく表示されるので、原理的には無限に多くのデータを表示することができます(図 6)

図 8 TableLens

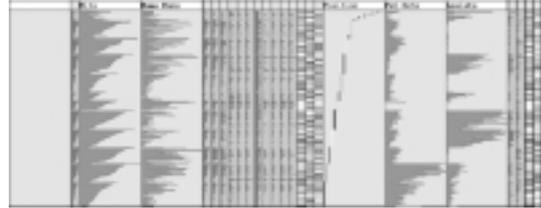
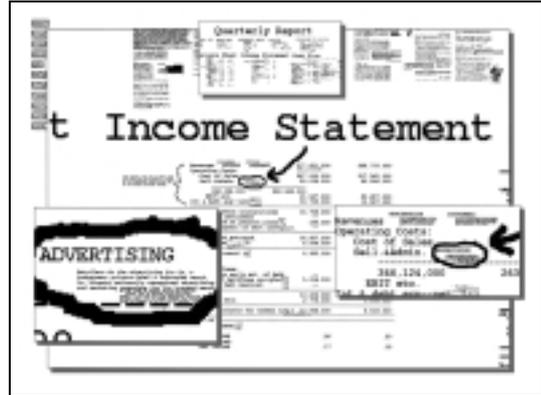


図 9 Pad



Perspective Wall や Cone Trees、Hyperbolic Tree などは、Xerox の子会社の Inxight で製品化されています。このほかに、Hyperbolic Tree の技法を 3 次元視覚化と組み合わせて球面にマッピングした H3 というシステム [6] も提案されています(図 7)

図 8 の TableLens システムは、表形式のデータの軸を拡大することによって巨大な表データを小さな画面で扱えるようにしたシステムです。図 8 では、何百行もの表データが視覚化により棒グラフのように小さな場所に表示されています。

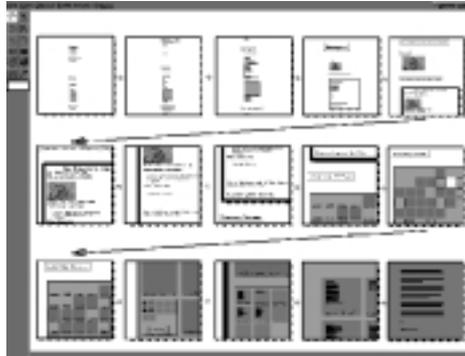
線型ズーム・システム

非線型ズーム・システムはデータの一部だけを拡大するので、どうしても画面が歪んでしまいます。しかし、大量のデータを視覚化する場合も簡単な操作で高速に拡大・縮小できるようにしておけば、拡大画面と縮小画面を往き来して全体と部分とを両方とも参照しながら大量のデータが扱えるようになります。

図 9 の Pad システム [7] はこのような線型ズーム・システムの草分け的存在で、2 次元画面を滑らかに、かつ高速に拡大・縮小できます。図 9 には、大小さまざまな文

図 10 Pad++

(a) 文書ファイルの拡大



(b) キーワード 検索の結果を強調表示



字やウィンドウが表示されています。このままでは文字が読めない部分もたくさんありますが、そのような箇所を高速に拡大したり、もとの状態に縮小したりする操作を繰り返して、大きなデータをブラウジングしたり、中身を編集することができます。

Pad++[1] は Pad に各種の拡張を施したものです。表示データにフィルタツールを重ねて表示を変化させたり、ズームが可能なボタンやスライダなどのツールキットを使ったり、Tel/Tk スクリプトを用いたオーサリングができるようになってきました。図 10-a は 1 つの大きな文書ファイルを順次拡大していく様子を、図 10-b はキーワード検索に合致した箇所を強調して表示したものです。

Pad++のソースと実行系は、現在ニューメキシコ大学から配布されており⁵、各種の UNIX システム(IRIX、SunOS、Solaris、DIGITAL UNIX、AIX、HP-UX、Linux、FreeBSD)や Windows システムで動かすこと

⁵ <http://www.cs.umd.edu/hcil/pad++/>

図 11 DocSpace



ができます。

自動レイアウトを活用した視覚化システム

これまでに紹介したシステムは、どちらかといえば単純なデータ構造を対象にしたものであり、画面に配置するアルゴリズムも比較的単純でした。しかし、複雑な有向・無向グラフなどのデータを扱うには、自動配置のためのアルゴリズムが重要になります。

DocSpace[10] は、文献とキーワードの関係を 2 次元空間上に視覚化し、配置を対話的に変更できるようにしたシステムです。各文献は複数のキーワードに関連があり、さらに各キーワードは複数のキーワードに関連があり、……といったぐあいに文献とキーワードのあいだには複雑な関係があり、相互の関係がよく分かるように視覚化するのは簡単ではありません。このような場合、関連が深いものほど近くに自動的に配置する手法がよく用いられます。しかし、関連が深いものをつねに同じ場所に配置するとかえって分かりにくくなってしまいます。関連を“ばね”のようなものと捉えて、適正長に対する変位に応じて逆向きの力が加わるようにしたときにエネルギーが最小となる配置を最適とする、いわゆる“ばねモデル”が使われています。DocSpace では、納豆ビューと同様に、ユーザーがキーワードなどの位置を対話的に操作することにより、文書とキーワードとの関連が把握しやすくなっています。

Galaxy of News[8] は、大量の NetNews 記事を自動的に分類・配置するシステムです。ニュースはさまざまなカテゴリーに分類できますが、近いカテゴリーのニュースが近くにくるようにカテゴリーを自動的に配置します。また、カテゴリー階層のズームによる視点の移動、透明

図 12 Galaxy of News



度の変化による階層移動、アニメーションなどにより、カテゴリー間を渡り抜けるようになっていきます。

おわりに

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)⁶の Computer Society⁷では視覚化に関する国際会議⁸を毎年開催していますが、1995年からは情報視覚化を中心テーマとした会議が開かれています。1995年の会議録は約150ページでしたが、1997年の会議録は350ページにもなり、この分野が現在いかに注目されているかが分かります。

一方、今回紹介したようなシステムの多くは依然として研究段階にあり、ひろく使われているものはあまりありません。もちろん、商用システムもまだまだこれからといったところです。しかし、Inxight や Perspecta などのベンチャー企業が開発した視覚化ツールが普及していけば、一般ユーザーも高度な視覚化を利用したブラウジングや検索を気軽におこなえるようになるでしょう。

今回は、Pad++を含む線型ズーム・システムの応用についてもう少し詳しく解説します。

(ますい・としゆき ソニー CSL)

[参考文献]

- [1] Benjamin B. Bederson and James D. Hollan, "Pad++: A zooming graphical interface for exploring alternate interface physics", *Proceedings of the ACM*

6 <http://www.ieee.org/>

7 <http://www.computer.org/>

8 <http://www.erc.msstate.edu/conferences/vis98/>

Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'94), pp.17-26, ACM Press, 1994

- [2] S. K. Card, G. G. Robertson and J. D. Mackinlay, "The Information Visualizer, an information workspace", *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'91)*, pp.181-188, Addison-Wesley, 1991
- [3] G. W. Furnas, "Generalized fisheye views", *Proceedings of the CHI'86 Conference on Human Factors in Computing Systems and Graphic Interfaces*, pp.16-23, Addison-Wesley, 1986
- [4] Marti A. Hearst and Chandu Karadi, "Cat-a-cone: an interactive interface for specifying searches and viewing retrieval results using a large category hierarchy", *Proceedings of the 20th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, pp.246-255, July 1997
- [5] John Lamping, Ramana Rao and Peter Pirolli, "A focus+context technique based on hyperbolic geometry for visualizing large hierarchies", *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'95)*, Addison-Wesley, 1995
- [6] Tamara Munzner, "H3: Laying out large directed graphs in 3d hyperbolic space", *Proceedings of the 1997 IEEE Symposium on Information Visualization*, pp.2-10, October 1997
- [7] Ken Perlin and David Fox, "Pad: An alternative approach to the computer interface", *ACM SIGGRAPH'93 Conference Proceedings*, pp.57-64, August 1993
- [8] E. Rennison, "Galaxy of news: An approach to visualizing and understanding expansive news landscapes", *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'94)*, pp.3-12, ACM Press, 1994
- [9] Manojit Sarkar and Marc H. Brown, "Graphical fisheye views", *Communications of the ACM*, Vol.37, No.12, pp.73-83, December 1994
- [10] 館村純一「Docspace: 文献空間のインタラクティブ視覚化」, 田中二郎(編)『インタラクティブシステムとソフトウェア IV』日本ソフトウェア科学会 WISS'96, pp.11-20, 近代科学社, 1996年12月