

ユーザの「視点」に基づく適応的な情報視覚化

寺岡 照彦[†] 丸山 稔^{††}

本論文では、ユーザが与える「視点」に基づいて、ハイパーメディア情報を適応的に視覚化する手法と、そのための3次元ユーザインタフェースを提案する。ユーザが与える「視点」を多次元の特徴ベクトルで表現し、その視点選択のためのインタフェースCVIを、多次元特徴ベクトルを単位球面上に写像することによって構築する。また、その視点の選択に応じて、情報間の関連を把握できるように視覚化し、ナビゲーションを行うためのインタフェースRF-Coneを提案する。ユーザはこれらの3次元インタフェースを用いることによって、情報に対する視点を変えながら、検索・ナビゲーションができるようになる。さらに、提案手法を用いた、WWW視覚化のプロトタイプシステムについても紹介する。

Adaptive Information Visualization Based on the User's Multiple Viewpoints

TERUHIKO TERAOKA[†] and MINORU MARUYAMA^{††}

This paper introduces the adaptive information visualization method for the hypermedia and the WWW based on the user's multiple viewpoints. We propose two graphical interfaces, the CVI and the RF-Cone. The CVI is the interface for interactive viewpoint selection. We can select viewpoint reflecting our interests and purposes by using the CVI. According to the given viewpoint, the RF-Cone adaptively organizes the 3D representation of the hypermedia so that we can understand the semantic and structural relationship among the hypermedia information and easily retrieve the interesting information. Combining these methods, we have developed the WWW navigation system. The system can provide the highly efficient navigation which can cope with the user's multiple and varying viewpoints.

1. はじめに

インターネットの急速な普及に見られるように、様々な情報が電子化されその量はますます増大しているのに対して、情報を効率良く収集して利用するための技術は不十分であり、ユーザの負荷が増大する結果となっている。このような問題に対して、コンピュータグラフィックス(CG)を用いて、情報を直感的に分かりやすく見せるための情報視覚化(Information Visualization)という技術が最近注目を集めており、情報検索などの分野に応用されている^{1),2)}。

情報視覚化では、情報に色や形を与えて幾何学的な物体として表現・配置することによって、情報群の中に潜む“近さ”、“重要性”、“階層性”といった特徴・関

連を直感的に把握しやすいようにするものである。ただし一般に、情報は色や形などの属性を持たないために、視覚化する形態は様々であるが、従来の視覚化手法では、情報提供者あるいはシステム作成者の「見せ方」に委ねられた画一的な情報提示を行うものがほとんどである。したがって、ユーザは提示された視覚表現を無条件に受け入れて作業をする以外になかった。通常、ユーザによって目的や興味は異なるために、あるユーザにとって“適切”な視覚表現が、他のユーザにとって必ずしも効果的であるとはいえない。また個々のユーザにとっても、目的や興味は変化するために、それに応じて“適切”な視覚表現も変化すると思われる。これらに対処するためには、ユーザの要求や目的に応じて適応的に情報の視覚表現を修整・再構築できるようなユーザ主導型の情報利用技術が必要である。

本論文では、情報を扱う際のユーザの要求や目的を「視点」としてとらえ、「視点」の変更を情報の多次元特徴空間におけるベクトルの変更として扱う。対象とする情報として、WWW(World Wide Web)に代表

[†] 三菱電機先端技術総合研究所
Advanced Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation

^{††} 信州大学工学部

Faculty of Engineering, Shinshu University

されるハイパーメディアを扱い、視点の選択によって関連情報の取捨選択を行う方法、およびその視点選択のための3次元インタフェース、CVI (Crystal View Interface) を提案する。さらに、その視点選択に応じた情報の視覚化手法、RF (Relationship Focused)-Cone を提案する。最後に適用例として、WWW の3次元視覚化による検索支援システムについて説明する³⁾。

2. 従来の情報視覚化

本章では、従来の情報視覚化について簡単に述べる。

Cone tree はディレクトリ構造などの階層構造の視覚化手法である⁴⁾。Cone tree では各情報をノードで表現し、円錐状にノードを配置することによって、階層構造を3次元的に表示する。2次元表示では大規模な構造は画面からはみ出すが、Cone tree は画面内に表示できる。

Navigational View Builder は、ハイパーメディアのOverviewを提供し、情報検索を支援するシステムである⁵⁾。このシステムの特徴は、複雑なハイパーメディアを階層化することにある。各ページの属性に基づいて階層化が行われているが、各ページのトピックス等の特徴はマニュアルで入力する必要がある。

Galaxy of News は、ニュース記事を空間的に表示するシステムで、空間的に配置されたキーワードにズームしていくと、徐々に関連記事のヘッドライン、内容が表示されるものである⁶⁾。

また、WebBook と WebForager は本のメタファを使ってWWWのページを視覚化し、閲覧できるものである⁷⁾。LyberWorld は NavigationCone と RelevanceSphere という2種類の視覚化を提供し、キーワードによる情報検索をビジュアルに支援する⁸⁾。さらに、納豆ビューはWWWのリンク構造を基に、着目するノードを引っ張りあげることで周囲のリンク関係を眺めるものであり、またピカソビューは納豆ビューで提供される全体図の一部を切り出し、局所的に視覚化するものである⁹⁾。

上記をはじめ一般に、情報視覚化は情報検索への適用が多く見受けられる。視覚化を用いる利点は、マウス操作などによって、キーボード入力とは異なる直接的なインタフェースを与えることができることや、情報空間での自分の位置の把握ができること、情報全体の視認性/一覧性が向上できること、などがあげられる。逆に、情報視覚化の問題点として、構造がほぼ一意にしか与えられないことと、システム側/情報提供者側に主導権があり、ユーザ側には視覚表現を変える手

段が十分に与えられていないことがある。あらかじめ準備された構造や視覚表現だけではなく、ユーザ特有の視点を反映して視覚化できれば、そのユーザにとって有用な情報利用ができると思われる。本論文では、ユーザに主導権を与え、ユーザが「視点」というトリガーを与えることによって、適応的に視覚表現を変化させることを考えた。

3. 適応的な情報視覚化

本論文では、ハイパーメディアをノードとエッジからなるグラフとして扱う。つまり、各ノードは文書ページに対応し、エッジはページ間のリンクを表すものである。各ページはその文書の内容とグラフ構造から特徴づけることができる。本章では最初に、それら特徴量と「視点」を定義し、それをもとに視覚図形を変形する概念について説明する。さらに、視点の選択と視覚化を実現するための2つの3次元ユーザインタフェースを提案する。

3.1 ハイパーメディアの特徴と「視点」の定義

3.1.1 意味的特徴の定義

各ノードの意味的特徴を、キーワードに対する重みからなる多次元ベクトル w で表現する。この重みは、TFIDF (Term Frequency \times Inverse Document Frequency)¹⁰⁾によって計算される。これはキーワード(ターム)の頻度と分散に基づき、全体での出現頻度に比べてそのノードにおける頻度が相対的に高いものに大きな値を与え、次式によって定義される。

$$\begin{cases} w_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{iL}) \\ w_{ik} = \frac{tf_{ik} \cdot \log \frac{N}{m_k}}{\sqrt{\sum_{j=1}^L (tf_{ij})^2 \cdot \left(\log \frac{N}{m_j}\right)^2}} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 L はキーワードの総数、 tf_{ik} はノード i におけるキーワード k の出現回数、 N はノードの総数、 m_k はキーワード k を含むノードの数を示す。

3.1.2 「視点」の定義

ユーザの情報に対する「視点」を、意味的特徴と同様に、キーワードに対する重みベクトルによって表現する。つまり「視点」の変化は、各キーワードに対する重要度の変化に対応する。「視点」 i の特徴ベクトル v_i を、次のように定義する。

$$v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iL}), \quad (2) \\ (0 \leq v_{ij} \leq 1, \|v_i\| = 1)$$

3.1.3 関連度の定義

以上の特徴量によって、ノード n_i とノード n_j の

“意味的関連度” $D_N(n_i, n_j)$ と、視点 v_i とノード n_j の“意味的関連度” $D_V(v_i, n_j)$ を以下のように定義する。

$$D_N(n_i, n_j) = \sum_{k=1}^L w_{ik} w_{jk} \quad (3)$$

$$D_V(v_i, n_j) = \sum_{k=1}^L v_{ik} w_{jk}$$

3.1.4 構造的特徴の定義

一般にハイパーメディアの構造は非常に複雑であり、分かりやすく表示するためには前処理が必要である。本論文では、グラフ理論上の距離に基づいて、ハイパーメディアを階層化することを試みる。まず、視点 v を与え、ルートノード n_c を次式に従い求める。

$$D_V(v, n_c) = \max_k D_V(v, n_k) \quad (4)$$

これに基づき、各ノードの構造的特徴を n_c からの最短パスの距離によって定義する。この構造的特徴は、視覚化の際にノードの階層の深さに反映する。

3.2 CVI (Crystal View Interface)

前節の定義により、各情報および視点は、 L 次元の多次元特徴空間内の点として表現され、視点の選択は、その空間内で点を選択することになる。しかし通常、特徴空間の次元数は大きいため、ユーザがその高次元空間を頭に思い描いて点を選択することはほとんど不可能である。人間が空間的に認識できるのはたかだか3次元にすぎないからである。そこで本論文では、多次元の特徴空間を3次元球面上に写像し、その3次元空間での回転によって高次元の視点ベクトルを与えることを考えた。元の特徴空間の構造を反映して低次元に写像することができれば、その低次元空間を元の特徴空間の“ミニチュア”として利用し、視点を選択することが可能となる。

本節では、ミニチュア空間を利用した視点選択のためのインタフェースである Crystal View Interface (CVI) を提案する。CVIは球状のインタフェースであり、多次元の特徴ベクトルがSOFM (Self Organizing Feature Map)¹¹⁾を用いてその球面上に写像されたものである。CVIでは、単位球の表面が領域分割され、それぞれの領域に L 次元の重みベクトル λ が対応づけられる。SOFMでは、空間的に近い領域には近い重みベクトルを持つように特徴空間でのベクトルの近さが保持されて写像され、特徴空間のミニチュア空間が構築される。アルゴリズムの詳細は付録 A.1 に示す。

「視点」の位置を示すカーソルがCVIの上を移動す

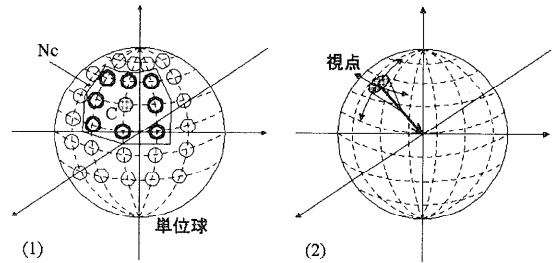


図1 (1) 球面上の領域分割 (各円はその中心), (2) CVI
Fig. 1 (1) The divided regions on the sphere, (2) The CVI.

ると(図1(2)), 視点ベクトル v はカーソルが含まれる領域の重みベクトル λ に設定される。これによって、高次元の視点ベクトルを、CVI上のカーソル移動によって与えることができる。つまり、3次元空間での視点カーソルの物理的移動が多次元特徴空間での「視点」の意味的変更に対応づけられることになる。

3.3 情報視覚化のプロセス

提案する視覚化は以下の手順で実現する。

- (1) 視点ベクトル v を、
 - CVIによって与える。あるいは、
 - キーワードを選択し、重みを直接入力する。このとき、ベクトル v は正規化する。
- (2) 以下のような情報を集め、集合 S とする。

$$S = \{n_i \mid D_V(v, n_i) > \varepsilon\}, \quad (5)$$

(ε : しきい値)

- (3) 集合 S の中で、最も関連の強いノードを基準ルートノード n_c とする。

$$D_V(v, n_c) = \max_j D_V(v, n_j), \quad j \in S \quad (6)$$

- (4) グラフの横型探索によって、 n_c の子孫のノードに対して、構造的特徴(式(4))を求める。これら子孫のノードを集合 S_0 とする。
- (5) 集合 S の中で、 n_c からは到達不可能なノードの構造的特徴をゼロとする。これらのノードは基準ルートノードとは別のルートノードとする。これらルートノードの子孫で S_0 に含まれないノードについて、同様に横型探索から構造的特徴を計算する^{*}。
- (6) 次節で述べる視覚化アルゴリズムによって、3次元階層オブジェクトとして描画する。

この手順によって、「視点」に関連する情報群 S と、 S に含まれる情報と構造的に関連する情報が選択され

^{*} これらは別の島のコーンとして視覚化される。

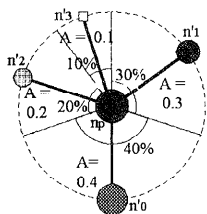


図2 RF-Coneにおけるあるレイヤのノード配置例
Fig.2 An example of a layer of a RF-Cone.

視覚化される。

3.4 RF (Relationship Focused)-Cone

この節では Cone-tree を拡張した、新しい階層型視覚化手法、RF (Relationship Focused)-Cone を提案する。RF-Cone では、階層化する際に、式 (3) で定義した親ノードとの関連度を反映して子ノードを円周上に配置し、ノードの色は視点との関連度を反映するように設定する。アルゴリズムの詳細は付録 A.2 に示す。図 2 に、ある層のノードの配置例を示す。親ノードとの関連度に応じて大きくなる占有度 A の値に応じて、円周上の占有角度およびノードの大きさが増加するしくみになっている。また、与えられた視点と関連の強いものは色が濃く表示されるようになっている。これらの設定により、ある視点の下で

- 各情報の重要度が色で判別できる
- リンク先のノードの関連度が把握できる

という効果がある。従来の Cone tree では、リンク関係が把握できるだけで、このような示唆は得られない。

4. 適用例：3次元 WWW 視覚化システム

提案手法を用いて、WWW の 3 次元視覚化システムを試作した。本プロトタイプシステムは、JavaTM および Liquid RealityTM☆で記述したものであり、Windows95TM 上の Internet ExplorerTM 上で動作する☆☆。図 3 にシステムの画面例を示す。

本システムは以下のような機能を持つ。

- (1) 視点に基づく情報の選択
ユーザが与えた視点に基づいて関連のあるページを適宜、取舍選択する。
- (2) 対話的/適応的な情報視覚化
選択された情報から VRML 空間、つまり RF-Cone を適応的に構築する。その情報空間を自由にウォークスルーできる。
- (3) 全体表示と詳細表示の対話的切替え

全体表示や細部の詳細表示 (“ローカルビュー”) をマウス操作で対話的に切り替えることができる。画面が煩雑な場合は、マウス操作で特定のノードやリンクを非表示にすることもできる。

- (4) 図形の直接操作による情報の呼び出し
RF-Cone 上のノードをマウスでクリックすることによって、対応するページをブラウザの右フレームに呼び出すことができる。
- (5) ユーザが選択したキーワードに基づく CVI
CVI はユーザが選択したキーワード集合に基づいて構築することができる (通常はシステムに用意されているキーワードで構築)。
- (6) 検索履歴の画面上での保存と、情報の再呼び出し
ユーザの検索履歴は様々な形態で画面上に保存され、そのタイトルをクリックすることでページの再呼び出しが可能になる。

次に WWW を視覚化する過程を説明する。最初にシステムが、用意されたキーワード集合をポップアップ画面上 (図 3 右) に提示する。以下の例では 52 のキーワードをあらかじめ準備した。ユーザは画面上で不要なキーワードは消去し、また、新たに必要キーワードを追加することができる。ユーザによって確認と修正がなされたキーワード集合は、各ページの意味的特徴、ユーザが与える視点および CVI 構築のために利用される。次に、ユーザは視覚化する WWW ネットワークの起点となるページの URL と、そこからどれだけの深さのリンクまでたどるかを指定する。システムはページを読み取り、それにともなって式 (1) で定義した各ページの意味的特徴を計算する。次に CVI を構築するが、以下の例では簡単のため、読み取ったページの意味的特徴ベクトルを特徴空間のユニットベクトルとした。初期画面として、図 4 左のような起点ページをルートにした Cone tree をブラウザの左フレームに表示し、右フレームには起点ページを表示する。ユーザが CVI あるいはポップアップ画面上で視点ベクトルを与えれば、RF-Cone を適宜、再構築する。なお、CVI で与えた視点ベクトルの要素の値はポップアップ画面上で確認できる。

次に、システムが提供する視覚化機能について説明する。図 5 は対象とした WWW ネットワークのすべてのノードとリンクを平面上に表示したもので、図 4 は 3 次元の Cone tree 型表示の例である。ページ総数は 195 であった。この程度の規模の WWW サイトでも、すべてを平面上に表示したのでは構造の把握ができないばかりではなく、検索に何らかの効果があると

☆ VRML¹²⁾シーンを Java で記述するためのクラスである¹³⁾。
☆☆ 現在は、Java とブラウザのセキュリティの問題のために、システムはイントラネット上で動作させている。

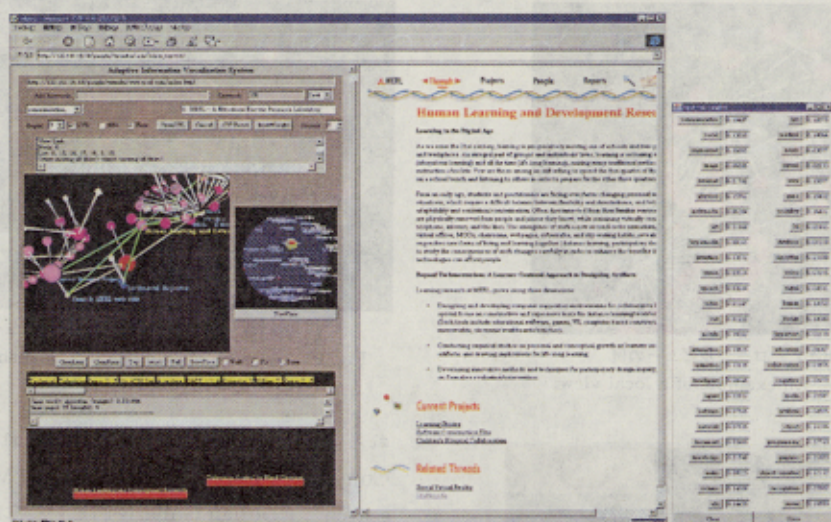


図3 システムの画面例。右は「視点」入力/確認のためのポップアップ画面
Fig. 3 A screen image of our system.

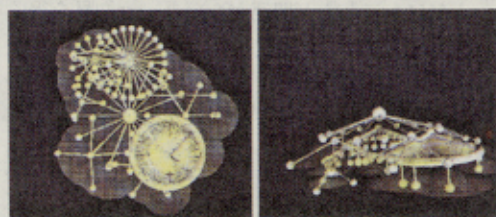


図4 3次元表示の例（ルートは起点ページ）

Fig. 4 Examples of the 3D overview of the WWW.

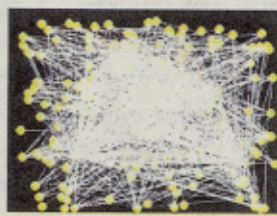


図5 対象としたWWWの2次元表示の例

Fig. 5 An example of the 2D overview of the WWW.

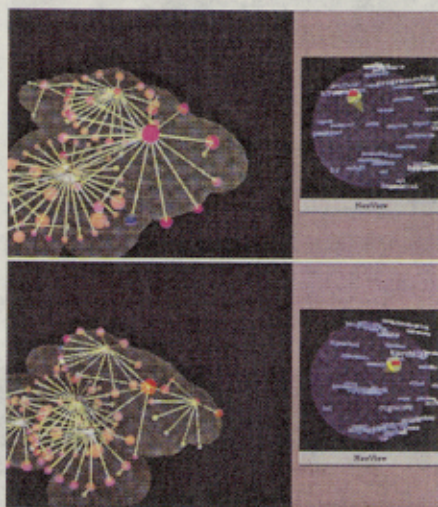


図6 異なった「視点」からの見え方の変化例

Fig. 6 Examples of the views from the different viewpoints.

は考えにくい。これに対して Cone 型表示では、全体構造の概要をより容易に把握できることが分かる。

図6は異なる2つの「視点」からの見え方の違いの例を示したものである。視点を変えると、階層構造やノードの重要度、関連度が変化していることが分かる。また、図7はローカルビューの例である。ユーザが特定のノード（例では、“Design Galleries”というノード）を画面上で指定して詳細な表示を要求すると、そのノードのリンク先のすべてのノードのタイトルとリンクがハイライト表示される。このローカルビューの

表示/非表示はボタン操作で可能になっているので、煩雑な場合は必要な情報を得てから非表示にできる。さらに、図8はユーザの検索履歴を様々な形で保存し表示した例である。CVI上には赤で過去の視点カーソルの記が残り、画面中央にはたどったページの順序リストがそのタイトルとともに表示されており、そのタイトルをクリックすれば対応するページを再び呼び出すことができる。また、“Local bookmark window”には、検索の過程で重要であるとユーザが判断したページへのリンクを一時的に保存しておくことができる。

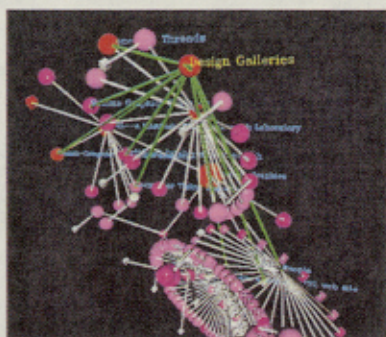


図7 ローカルビューの例

Fig. 7 An example of a local view.

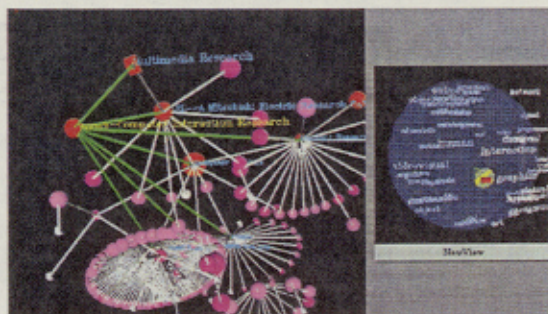


図10 図9におけるローカルビューの例

Fig. 10 A local view in the example shown in Fig. 9.

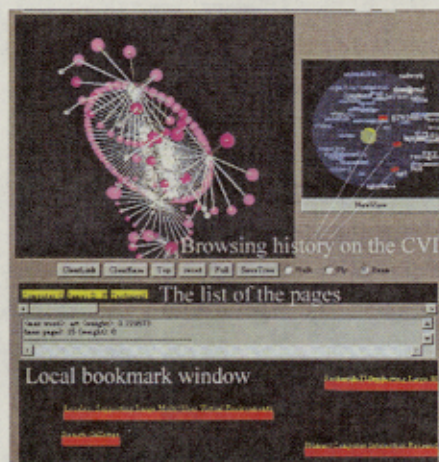


図8 ユーザの検索/閲覧履歴の表示例

Fig. 8 The user's browsing history as various form.



図9 RF-ConeとCVI

Fig. 9 An example of the RF-Cone and the CVI.

図9は、ある視点におけるRF-ConeとCVIであるが、この例では、CVI上の視点は“graphics”、“interaction”といったランドマークキーワードの近くに位置する。このとき、ルートに選択されたのは、図からも分かる通り、“Computer Graphics”とタイトルのついたページとなった。さらに、図10はルート以外で「視点」に強い関連度のあった濃い赤色で示されたノードに着目したローカルビューである。こ

れら濃い赤色で示されたノードはそれぞれ“Human-Computer Interaction Research”、“Multimedia Research”、“Design Galleries”といったタイトルのページに対応していた。また図9から、タイトルが“People”や“Search MERL web site”といったノードは真白で占有角も小さく、このときの視点にも親ノード（ルート）にもほとんど関連がないという知見を得ることができる。これらの視覚表現を利用して、対象にしているWWWサイトを様々な角度からナビゲーションできる。

5. 考察

本プロトタイプシステムを利用した結果、以下のような点が明らかになった。

まず、WWWサイトを3次的に視覚化すること、および自由に拡大/縮小/回転ができることは、従来の特定の1ページだけの表示に頼ったブラウジングと比較して、対象にしたWWWサイトの中で自分がどこを見ているか、この先にどのようなページがあるかなどを理解できるようになった。また、ページ上のリンクをクリックしなければ気づかなかった関連のありそうなページも、視覚的にみつけてチェックすることができるようになった。また、形状が変化すると特定のノードを見失う場合があるという見解もあったが、これについては、ノードに特定の色や形状を対話的に与えておいたり、タイトル入力によるノードのハイライト表示、あるいはアニメーションによる連続変形、などの機能を追加することによって解決できるものと考えられる。さらに、一部画面がノードやリンクによって煩雑になることもあるが、前述のように図形編集で消すことも可能であり、あるいは、関連度をすべてゼロにして大きさと色を統一すれば、通常のCone Treeと同様の視覚表現が得られるので、利用者は好みに応じて選択できる。

提案手法・システムの特長をまとめると以下のようになる。

- 利用者側に主導権のある手法で、情報群を様々な「視点」から視覚化できる。
- 視点と情報との関連度および情報間の関連を配置に反映している。
- 自由な拡大/縮小/回転機能により、画面からのあふれを問題にしない。
- CVIでは視点カーソルを移動するだけで多次元の特徴ベクトルを与えることができる。
- 従来のWWWブラウザと統合されたシステムであり、特別なブラウザをつくる必要がない。
- 本手法は明確に検索候補を与えるのではなく、視覚表現によってユーザの直感性に訴え、その検索を支援したり新たな発見を誘発したりするものである。

6. おわりに

本論文では、ユーザが対話的に「視点」を与えて、それに応じて形状の変化する情報視覚化手法を示し、そのための2つの3次元ユーザインタフェースを提案した。球状のインタフェースであるCVIを利用することによって、多次元の検索パラメータ（「視点」）を容易に与えることができるようになった。また、RF-Coneはユーザが与えた視点を反映したナビゲーションのための3次元図形であり、情報の関連を直感的に把握できるようにになっている。

今後の課題として、

- 視点や文書の特徴づけたり、CVIを構築したりするための適切なキーワードの自動抽出や選択
- 検索作業をもとにしたユーザモデルの自動構築とそのモデルに基づく情報の自動選択と視覚化
- 検索履歴やユーザモデルからのCVIの再構築
- 文字情報の少ないページの扱い手法
- 大量の文書やキーワードを扱うための効率化などがあげられる。

今後、様々なユーザや情報に対して本システムを適用し、さらに詳細な調査を実施したうえで、より使いやすいシステムとなるように改良を進める予定である。

参考文献

- 1) 小池英樹：ビジュアルライゼーション，*bit*別冊ビジュアルインタフェース，pp.24-44 (1996)。
- 2) Card, S.K.: Visualizing Retrieved Information: A Survey, *IEEE Comput. Gr. Appl.*, Vol.16, No.3, pp.63-67 (1996)。

- 3) 寺岡照彦, 丸山 稔: ユーザの視点に基づく適応型3次元インタフェース, *信学技報*, MVE96-52 (1996)。
- 4) Robertson, G.G., Mackinlay, J.D. and Card, S.K.: Cone Tress: Animated 3D Visualization of Hierarchical Information, *Proc. ACM CHI '91*, pp.189-194 (1991)。
- 5) Mukherjea, S., Foley, J.D. and Hudson, S.: Visualizing Complex Hypermedia Networks through Multiple Hierarchical Views, *Proc. ACM CHI '95*, pp.331-337 (1995)。
- 6) Rennison, E.: Galaxy of News: An Approach to Visualizing and Understanding Expansive News, *Proc. ACM UIST '94*, pp.3-12 (1994)。
- 7) Card, S.K., Robertson, G. and York, W.: The WebBook and the Web Forager: An Information Workspace for the World-Wide Web, *Proc. ACM CHI '96*, pp.111-117 (1996)。
- 8) Hemmje, M., Kunkel, C. and Willett, A.: LyberWorld - A Visualization User Interface Supporting Fulltext Retrieval, *Proc. ACM SIGIR '94*, pp.249-259 (1994)。
- 9) 塩沢秀和, 相馬隆宏, 野田純也, 松下 温: 切り取り操作による柔軟な情報選択ができるWWW視覚化, *情報処理学会研究報告*, ヒューマンインタフェース, 72-11 (1997)。
- 10) Salton, G., Allan, J. and Buckley, C.: Automatic Structuring and Retrieval of Large Text Files, *Comm. ACM*, Vol.37, No.2, pp.97-108 (1994)。
- 11) Kohonen, T.: The Self-Organizing Map, *Proc. IEEE*, Vol.78, No.9, pp.1464-1480 (1990)。
- 12) *VRML Specification*, <http://vag.vrml.org/>。
- 13) *Liquid Reality*, <http://www.microsoft.com/dimensionx/lr/>。

付 録

A.1 CVIの構築アルゴリズム

- (1) 特徴空間 F が L 次元のユニットベクトル μ_i ($\|\mu_i\| = 1, i = 1, \dots, T$) からなるとする。ここで、単位球の表面を ρ ($\gg T$) 個の領域に分割する (図1(1))。
- (2) 球面上の各領域に対して、 L 次元のベクトル λ_k ($\|\lambda_k\| = 1, k = 1, \dots, \rho$) を割り当てる。以下、これを重みベクトルと呼ぶ。重みベクトルの各要素の初期値は乱数で与える。
- (3) 特徴空間 F からベクトル μ_j をランダムに選択し、ベクトル μ_j に最も“関連の強い”重みベクトル λ_c を持つ領域 c を次式によって求める。

$$(\mu_j, \lambda_c) = \max_k (\mu_j, \lambda_k)$$

- (4) 領域 c とその近傍の領域 N_c (図 1(1)) の重みベクトルを次式に基づいて更新する.

$$\lambda_k(t+1) = \frac{\lambda_k(t) + \alpha(t)\mu_j}{\|\lambda_k(t) + \alpha(t)\mu_j\|}, \quad (k \in N_c)$$

ここで, $\alpha(t)$ は反復回数 t の単調減少関数.

- (5) $t \leftarrow t+1$. $\sum_k \|\lambda_k(t+1) - \lambda_k(t)\| < c$ (c はしきい値) となるまでステップ (3) から繰り返す.
- (6) 各キーワードを球面上に配置する. これらのキーワードは, 視点ベクトルを与える際のランドマーク (キーワード) となる.

A.2 RF-Cone の配置アルゴリズム

ここでは, 階層構造におけるレイヤ間の基本距離を ℓ_0 , 第 i -層のコーンの底面の半径を r_i , あるコーンの頂点となる親ノードを n_p , その子ノードを n_0, n_1, \dots, n_{M-1} とする. ノード n_p と子ノード間のリンクは直線で表示する.

ノード n_p とその子ノードが与えられるとまずそれら子ノードをコーンの底面の円周上に配置するための角度を計算する. M 個のノードを, 関連度 D_N に基づいて円周上に並べるため, ノード n_p の子ノードを $D_N(n_p, n_j)$ の大きい順に並べたものを $n'_0, n'_1, \dots, n'_{M-1}$ とする. これらのノードは球として表示する. ただし, D_N がゼロのノードは, $D_N(n_p, n_j) = \beta \times \min_i D_N(n_p, n_i)$ ($0 < \beta < 1$) とし, 立方体として表示する. 円周上の占有度を計算する際, すべての D_N がゼロの場合は, 円周上の角度はすべて等しくする. それ以外の場合は, 次式に従い, 円周上の占有度 $A(\cdot)$ を計算する.

$$A(n'_i) = D_N(n_p, n'_i) \Big/ \sum_{j=0}^{M-1} D_N(n_p, n'_j)$$

この値は, そのノードが親ノードに対して意味的に強い関連を示す場合には大きな値になる. この占有度から以下のように角度を計算する.

$$\theta(n'_0) = 0$$

k が奇数のとき,

$$\theta(n'_k) = 2\pi \left(\frac{A(n'_0)}{2} + \sum_{j=1}^{\lfloor k/2 \rfloor} A(n'_{2j-1}) + \frac{A(n'_k)}{2} \right),$$

k が偶数のとき,

$$\theta(n'_k)$$

$$= -2\pi \left(\frac{A(n'_0)}{2} + \sum_{j=1}^{k/2-1} A(n'_{2j}) + \frac{A(n'_k)}{2} \right)$$

これより, 深さ (レイヤ) d_i のノード n_i の位置 (x_i, y_i, z_i) を次のように定める.

$$\begin{cases} x_i = x_{n_p} + r_{d_i} \cos \theta(n_i) \\ y_i = y_{n_p} + r_{d_i} \sin \theta(n_i) \\ z_i = z_{n_p} + \ell_0 \\ r_{d_i} = r_0 / (1 + d_i) \end{cases}$$

ここで, 基準ルートノードの位置を, $\mathbf{X}_0 = (0, 0, 0)$ とし, その他のルートノードの位置 $\mathbf{X}_1, \dots, \mathbf{X}_\kappa$ は次式によって定める.

$$\mathbf{X}_j = (x_j, y_j, 0), \|\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_j\| > 2r_0, \quad (i \neq j), (i, j = 0, \dots, \kappa)$$

また, ノード n_i の表示の際の半径は,

$$R_i = R_0 + g(D_N(n_p, n_i))$$

とする. ここで, R_0 は基準半径, $g(\cdot)$ は適当な単調増加関数とする. 本稿の例では, $g(\cdot) = \gamma \cdot \exp(\cdot)$ (γ は定数) とした.

さらに, 表示の際のノード n_i の色の濃淡を,

$$C_i = \Phi(D_V(v_c, n_i))$$

とする. ここで, $\Phi(\cdot)$ は適当な単調増加関数 (v_c は現在の視点を示す) とする.

(平成 9 年 6 月 30 日受付)

(平成 9 年 9 月 10 日採録)



寺岡 照彦 (正会員)

昭和 41 年生. 平成 4 年大阪大学大学院工学研究科精密工学専攻修士課程修了. 同年三菱電機 (株) 入社. 現在, 同社先端技術総合研究所勤務. ニューラルネットワーク, 多次元データ構造, 情報視覚化などの研究に従事. 電子情報通信学会, 人工知能学会, ACM, IEEE-CS 各会員.



丸山 稔 (正会員)

昭和 34 年生. 昭和 57 年東京大学工学部計数工学科卒業. 同年三菱電機 (株) 入社, 中央研究所勤務. 平成 2 年から 3 年にかけて米国 MIT 人工知能研究所客員研究員. 平成 8 年より信州大学工学部助教授. 3 次元物体認識, 学習などの研究に従事. 工学博士. 電子情報通信学会, ACM, IEEE 各会員.