

RESEARCH REPORT ISIS-RR-94-5J

図的思考支援を目的とした
図ドレッシングについて

三末和男

April, 1994

Institute for Social Information Science,
FUJITSU LABORATORIES LTD.

Numazu office

140 Miyamoto, Numazu-shi, Shizuoka 410-03, Japan
Telephone: +81-559-24-7210 Fax: +81-559-24-6180

Tokyo office

9-3 Nakase 1-chome, Mihama-ku, Chiba-shi, Chiba 261, Japan
Telephone: +81-43-299-3211 Fax: +81-43-299-3075

図的思考支援を目的とした図ドレッシングについて

三末 和男

株式会社富士通研究所 情報社会科学研究所

misue@iias.flab.fujitsu.co.jp

概要

アイデアの組織化を図を利用して支援する対話型システムに関する要素技術について述べる。思考展開のために図を編集していく過程においては、図素の意味に応じた色分け、重要な部分の拡大強調、図の概略化や詳細化など、図の「見方」に対するユーザの要求は多様である。しかし、個々の要求ごとに個別に対応することは大変であり、統一的な対応法が望まれる。本稿では、図の多様な「見方」に統一的に対応できる図の「見かけ」の変更方式「図ドレッシング」を提案する。この方式は、図の「見方」を図素の「重要度」で統一的に表現し、「見かけ」の変更を図素の視覚属性の変更操作によって行うものである。その特徴として、(1) 要求への統一的な対応ができる、(2) 図が編集によって動的に変化しても「見かけ」を自動的に「見方」に合わせられる、(3) 複数の「見方」を組み合わせた要求にも統一的に対応できる、ことがあげられる。まず、図ドレッシングの一般的な構成を述べると共に、我々が図的思考支援に用いている複合グラフを例にして具体的な実現例を説明をする。さらに、実際の画面例を用いて図ドレッシングの適用例を示す。

On Diagrammatical Dressing for Computer Aided Diagrammatical Thinking

Kazuo Misue

FUJITSU LABORATORIES, ISIS

ABSTRACT

While the users are editing diagrams for thought using an interactive thinking support system, they often require to change ways of looking at the diagrams such as color-coding of components according to their semantics, and emphasizing important parts. Since these requirements are so various, they should be treated in a consolidated way. Proposed diagrammatical dressing is a consolidated method for changing appearances of diagrams to be suitable for various ways of looking at the diagrams. This method represents the ways of looking at diagrams as importance of each component, and changes appearances of diagrams by modifying visual attributes of components. This method has the following features: (1) applicable to various requirements generally, (2) suiting appearances of diagrams to a way of looking at the diagrams automatically even when the diagrams are dynamically changed by editing, (3) applicable to the requirements of combined two or more ways of looking at diagrams. In this paper, the general architecture of diagrammatical dressing is described. Then a practical example to implement it for compound graphs is explained. Some applications of it are also shown by using practical screen dumps.

1. はじめに

近年、計算機の高性能化や利用形態のパーソナル化にともない、人間の高度な思考活動を計算機を用いて支援しようとする発想支援の研究が盛んになってきた^{1),2)}。そのような研究は、(1)断片的なアイデアを整理組織化する過程の対話型支援を目指すもの、(2)発想の機械知能化を目指すもの、(3)人間の創造性を解明・支援しようとするもの、に分類できる¹⁾。対話型発想支援とも呼ばれる第1のアプローチにおいては、断片情報群の整理組織化のための高度でかつ柔軟な機能を持つユーザ・インタフェースの開発が重要である^{3),4)}。

我々は、対話型発想支援において図を人間と計算機の対話の媒体として用いることを試みている。発想法として知られているKJ法⁵⁾を図的思考展開技法³⁾とみなして、そこで行なわれる図的作業を支援するための基礎技法を研究し、図的発想支援システム^{6),7)}を開発してきた。まず、発想法で用いられる図解を数学的に複合グラフとして定義し、その自動描画法を開発した^{9),10)}。さらに、発想法で重視される図の一覧性を、サイズと解像度の限られたワークステーションの画面上で達成するという問題に対し多視点遠近画法を開発した^{11),12)}。

多視点遠近画法は、図の全体と視点部分の詳細を同時に見たいというユーザの要求に応じるために写像によって図の「見かけ」を変更する機能だと考えることができる。すなわち、視点部分を他の部分より重要とするユーザの図の「見方」に合わせて図の「見かけ」を変更するものである。思考展開のために図を編集していく過程においては、図の論理的な構造の変更や図素（図の各要素）の配置の変更だけでなく、このような図の「見方」に対する要求も多くある。たとえば、図素の意味に応じた色分け、重要な部分の拡大強調、図の概略化や詳細化などである。このように、図の「見方」に対するユーザの要求は多様であるため、個々の要求ごとに個別に対応することは大変であり、統一的な対応法が望まれる。

本稿では、多様な「見方」に統一的に対応できる図の「見かけ」の変更方式を提案する。この方式は、写像の代わりに属性操作を用いるもので、図の「見方」を図素の「重要度」で統一的に表現し、「見かけ」の変更を図素の視覚属性（色、形、サイズなど）の変更操作（「視覚属性操作」）によって行うものである。この統一的な視覚属性操作法は、ユーザの「見方」に応じて図に化粧を施すという意味から「図ドレッシング」と呼ばれる。図ドレッシングは、(1)要求への統一的な対応ができることに加え、(2)図が編集によって動的に変化しても「見かけ」を自動的に「見方」に合わせる、(3)複数の「見方」を組み合わせた要求にも統一的に対応できる、という特徴を備えている。

本研究の背景をなす図的思考支援の考え方や用語については文献¹³⁾を参照されたい。すでに発表している図の概略化法¹⁴⁾は図ドレッシングの一つの実施例として位置づけることができる。また、関連研究としてはFurnasによる魚眼視の一般化¹⁵⁾、Sarkarによ

る魚眼視のグラフ描画への適用¹⁶⁾があげられる。

以下、第2章では、まず図に関する用語として図素と属性について説明する。第3章では視覚属性操作を一般化して図ドレッシングの基となる形式的な表現を得る。第4章では複合グラフを例に図ドレッシングの実現例を説明をする。第5章では実際の画面出力を使って図ドレッシングの適用例を示す。最後に第6章でまとめを行う。

2. 図素と属性

本稿で取り扱う図に関する用語を説明する。

図素

図の構成単位は、点、線、面であり、これらを図素と呼ぶ¹⁷⁾。図は平面上に図素を配置したものである。

視覚属性

図素はいくつかの視覚属性（または視覚変数）をもち¹⁸⁾、視覚属性を変更することによって図は見かけ上様々に変化する。視覚属性は次のように論理的、質的、量的なものに分けられる。

視覚属性	{	論理的：可視性
		質的：きめ、模様、色、形
		量的：サイズ、濃淡

構造属性

図素はそれぞれ独立に存在するのではなく、全体としてある論理的な構造をもっている。したがって、図素は構造の構成要素としての側面から構造属性を持つ。一般に図の構造には、グラフ、行列、座標などが用いられる¹⁷⁾。本稿ではグラフを構造とする図を対象とし、それ以外の構造については第4章で簡単に説明する。

意味属性

実際の図においては、図素はしばしば特別な意味を表現している。したがって、図素はそれが表現するものとして意味属性を持つ。たとえば、鉄道路線図などでは点が駅を、線が路線を表現し、点や線の傍に記された駅名や路線名のようなテキスト、またはアイコンや画像などによって意味属性が表される。

視点属性

計算機の画面上に表示された図はユーザによって見られる対象である。ユーザは図

の一部分に着目して見ることが多い。そこで、ユーザに着目されている図素を視点と呼ぶ。各図素は視点かどうか、視点からどれくらいの距離にあるかという視点属性を持つ。

上で説明した四つの属性のうち、視覚属性が視覚属性操作で変更される対象である。他の三つの属性に基づいて、図ドレッシングでは視覚属性が変更される。

3. 視覚属性操作の形式化

視覚属性操作に求められる三つの特徴、(1) 要求への統一的な対応、(2) 図の動的な変化への対応、(3) 組合せ要求への対応、を説明しながら、それらを備える視覚属性操作の形式的な表現を構成する。

3.1 要求への統一的な対応

表1にユーザの要求と要求に対する操作の例をあげた。要求は視覚属性操作で対応可能なものという観点で集められている。要求間の境界を破線で表し、境界線を操作の欄まで引いていないのは、要求が抽象的でそれぞれの境界が曖昧だからである。表にあげたような操作を要求ごとに用意した場合、ユーザは自分の要求に応じて操作を選択しなければならない、さらに各操作の適用方法が異なればそれぞれについて修得する必要がある。

そこで、多様な要求に統一的に対応できるように、視覚属性操作の一般的な表現を構成する。例にあげた操作はそれぞれ異なるが、それらの基本的な違いは視覚属性の

表1：要求と視覚属性操作

要求	視覚属性操作（複合操作）
分類	節点に階層 ^{*1} ごとにことなるきめ／模様／色／形を与える。
適合	節点の色／形を節点に付加された画像に応じて変える。 節点のサイズを文字数に応じて変える。
可視化	節点のサイズ／濃淡で節点の意味属性を表す。 節点を視点に関連するものほど大きく／濃くする。
強調	視点とその近傍の図素を大きく／濃くする。 視点から遠い図素を小さく／淡くする。
詳細／概略化	次数が一定以下／以上の節点を小さく／大きくする。 一定階層 ^{*1} 以下／以上の節点を見せる／見せない。 意味属性値 ^{*2} が一定以下／以上の節点を見せる／見せない。

*1: 木や階層グラフなど階層的グラフ構造をもつ図が対象の場合。

*2: 図素が量的な意味属性をもつ場合。

変更対象である図素の集合と各図素に対する視覚属性値の決め方である。したがって、図素 x の視覚属性 A を属性値 u に変更する基本操作を

$$(1) \quad o_A(x, u)$$

で表わすと、表1にあげたような操作は一般的に基本操作の集合 O として次のように記述できる。

$$(2) \quad O = \{o_A(x, a(x)) | x \in X\}$$

これを複合操作と呼ぶ。ここで、 X は操作の対象となる図素の集合（対象集合）、 a は X から視覚属性 A の値への関数（属性関数）である。

3.2 図の動的な変化への対応

図は編集過程において、新しい節点が追加されて（階層グラフ構造の場合）階層がずれたり、またはユーザが視点を変更したりして、動的に変化する。しかしながら、視覚属性操作が、直接指定した図素に対してのみ適用される操作であるなら、図が変化するたびに繰り返し適用しなければならない。たとえば、要求が階層ごとの節点の色分けなら、節点の階層が変化するとともに色を変える操作を適用しなければならない。

複合操作において図の動的な変化に対応するためには、「この節点を赤にする」ではなく「第1階層に含まれる節点を赤にする」のように間接的に対象を指定できる必要がある。つまり、式(2)において対象集合 X を具体的な図素で直接指定することと、属性関数 a を図素 X から属性値への直接的な関数として定義することをやめ、要求を表現する図素に対して間接的に指定または定義すべきである。そこで、「階層」のように間接的に対象を指定するために使われる属性を表2に整理した。これは、表1にあげた操作における対象集合と属性関数に対応する表現を図素の属性によって分類した

表2：図の属性による対象集合および属性関数の分類

属性	対象集合	属性関数
視点属性	視点とその近傍の図素 視点から遠い図素	視点に関連するものほど大きく濃く
構造属性	一定階層以下／以上の節点 次数が一定以下／以上の節点	階層ごとに異なるきめ／模様／色／形
意味属性	意味属性が一定以下／以上の節点	文字数に応じたサイズ 節点に付加された画像に応じた色／形 意味属性に応じたサイズ／濃淡

ものである。

表2にあげた属性の一つを、図素 x に対して $I(x)$ で表わし、式(3)のように、複合操作 O を I を利用して間接的に表現すると、複合操作が図の動的な変化に対応可能になる。

$$(3) \quad O = \{o_A(x, a(I(x))) | x \in \{y | P(I(y))\}\}$$

ここで、 P は対象集合を決定するための属性に関する条件（対象条件）であり、属性関数 a は属性値から視覚属性 A の値への関数である。

3.3 組合せ要求への対応

ユーザの図の「見方」は必ずしも単純ではなく、時には、「図の全体を概略的に表示し、かつ着目している節点を大きく拡大する」というように複数の「見方」を組み合わせたような要求もありうる。ところが、表1にあげたような操作では複数の「見方」に対する要求を組み合わせることは同時に満たすことは困難である。

そこで、組合せ要求に対応するために、一つの属性ではなく複数の属性を同時に利用して対象集合や視覚属性値を決める。つまり、 m 種類の属性を同時に利用する場合、各属性値を数値で表現したものを $I_j(x)$ ($1 \leq j \leq m$) とし、それらを結合関数 h で式(4)のように組み合わせたものをあらためて $I(x)$ とすると、式(3)と同様の複合操作 O で組合せ要求に対応可能になる。

$$(4) \quad I(x) = h(I_1(x), I_2(x), \dots, I_m(x))$$

利用する属性は大きく分類すると構造属性、意味属性、視点属性の三つであるが、たとえば、構造属性でも階層と次数のように異なるものがあり、それらが同時に使われ得るので m は4以上の可能性もある。

3.4 重要度と重要度関数

表1にあげた操作の例では具体的な例を示すために各属性の直接的な表現を用いた。しかし、実際にユーザが対象集合や属性関数を表現する際には、属性を具体的に表現するよりも、「重要な部分」とか「重要さの程度」といった抽象的な表現を用いることが多い。つまり、ユーザは各属性を意識の上で区別することはせず、「重要さ」という統一的な尺度を無意識的に用いていると思われる。そこで、一つ以上の属性を組合せて統一的に表現した数値 $I(x)$ を重要度と呼び、各図素に対して重要度を与える関数 I を重要度関数と呼ぶ。また、属性の一つを表現した数値 $I_j(x)$ を基本重要度と呼び、各図素に対して基本重要度を与える関数 I_j を基本重要度関数（または単に基本関数）と呼ぶ。

4. 図ドレッシングの実現法

前章で構成した形式的な表現に基づいて実現する視覚属性操作法が図ドレッシングである。本章では、まず図ドレッシングの構成を説明する。つぎに、我々が図ドレッシングの対象とする複合グラフの定義を示す。そして、複合グラフに対して、図ドレッシングを構成する重要度関数と自動図ドレッサの具体的な実現法を説明する。さらに、複合グラフ以外の構造を持つ図に対しても同様に実現可能なことを示す。

4.1 図ドレッシングの構成

図1に図ドレッシングの構成を示す。図データは、属性や配置情報をもつ図素の集合として表される。図の表示に際しては構造属性、意味属性、視点属性はあらかじめ与えられていなければならない。視覚属性は図ドレッシングによって、配置情報は自動描画機能によって与えられるので未定でよい（視覚属性に関して、デフォルト値は与えられているとする）。

図ドレッシングは、各図素ごとに重要度を与える重要度関数と、その重要度を使って複合操作を自動的に行なう自動図ドレッサによって構成される。重要度関数では、 m 個の基本関数によって各図素ごとに m 個の基本重要度を求め、それらを結合関数によって結合して重要度とする。自動図ドレッサでは、重要度を使って対象条件に従って対象集合を決定し、属性関数で各図素に与える属性値を決定しながら複合操作を行う。

図ドレッシングのあと自動描画機能により配置情報が与えられて、画面上に表示することが可能になる。

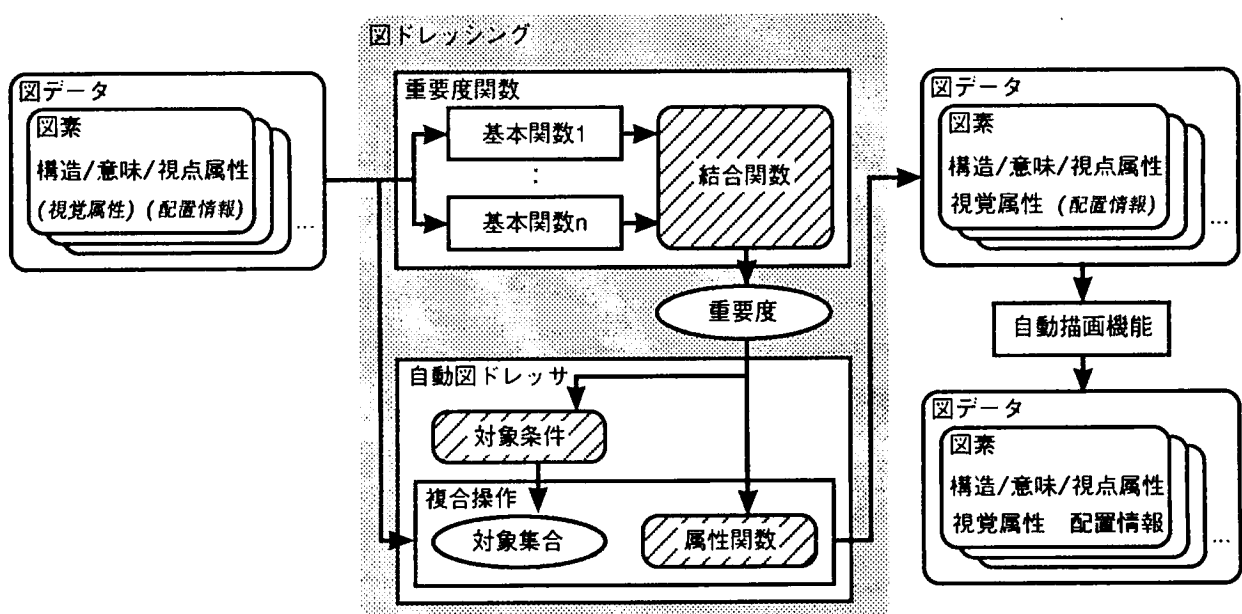


図1：図ドレッシングの構成

斜線を付けた結合関数，対象条件，属性関数はユーザの要求に応じて修正される。

4.2 複合グラフ

複合グラフはグラフの拡張であり，複数種類の枝をもつグラフ G として次のように定義される。

$$(5) \quad G = (V, E, \partial^+, \partial^-, t)$$

V : 節点集合
 E : 枝集合
 $\partial^+, \partial^- : E \rightarrow V$ (E の結合関数)
 $t : E \rightarrow \{0, 1\}$ (E の型関数)

ここで， $\partial^+(e)$ と $\partial^-(e)$ はそれぞれ枝 e の始点と終点である。関数 t は枝に型を与え，枝 e は $t(e)=1$ のとき隣接枝と呼ばれ隣接関係を表し， $t(e)=0$ のとき包含枝と呼ばれ包含関係を表す。複合グラフ G から全ての隣接枝を取り除いた有向グラフを G_I で表す。ここでは G_I は木であると仮定され包含木と呼ばれる。

我々はすでに複合グラフの自動描画法を開発している^{9),10)}。図2はKJ法的な作業によって作成した図解をこの自動描画法を用いて描いたものである。

4.3 重要度関数

複合グラフを例にして重要度関数を定義する。ここで定義する重要度関数は複合グラフの各節点に重要度を与える。まず構造属性，意味属性，視点属性それぞれに対して基本関数を一つずつ定義して，つぎにそれらの結合関数を定義する。

構造属性に対する基本関数の例

発想法で用いられる図では包含関係のネストの深い位置にある節点ほど下位の概念を表していることが多い。そこで，構造属性に対する基本関数 I_s を包含木 G_I における節点の深さ $depth$ を用いて下のように定義する。深い位置にある節点ほど重要度を小さくするために符号を変えている。

$$(6) \quad I_s(x) = -depth(x)$$

意味属性に対する基本関数の例

表示領域の観点から効率的に図を表示するためには各節点のサイズを常に同じにするよりも状況に応じて変えるほうが望ましい。そこで，意味属性に対する基本関数 I_m

をその節点を含む文字数で下のよう定義する。

$$(7) \quad I_m(x) = (\text{節点 } x \text{ の含む文字数})$$

視点属性に対する基本関数の例

視点として着目された節点に対して、その節点を含むまたは含まれる、またはその節点と隣接関係にあるような節点が最も近い節点と考えられる。そこで、視点属性に対する基本関数 I_f を節点 $y_1, \dots, y_n$ が視点である場合に複合グラフ上の距離 D を用いて下のよう定義する。どの視点からも遠い節点ほど重要度を小さくするために符号を変えている。

$$(8) \quad I_f(x; y_1, \dots, y_n) = -\min_{1 \leq i \leq n} D(x, y_i)$$

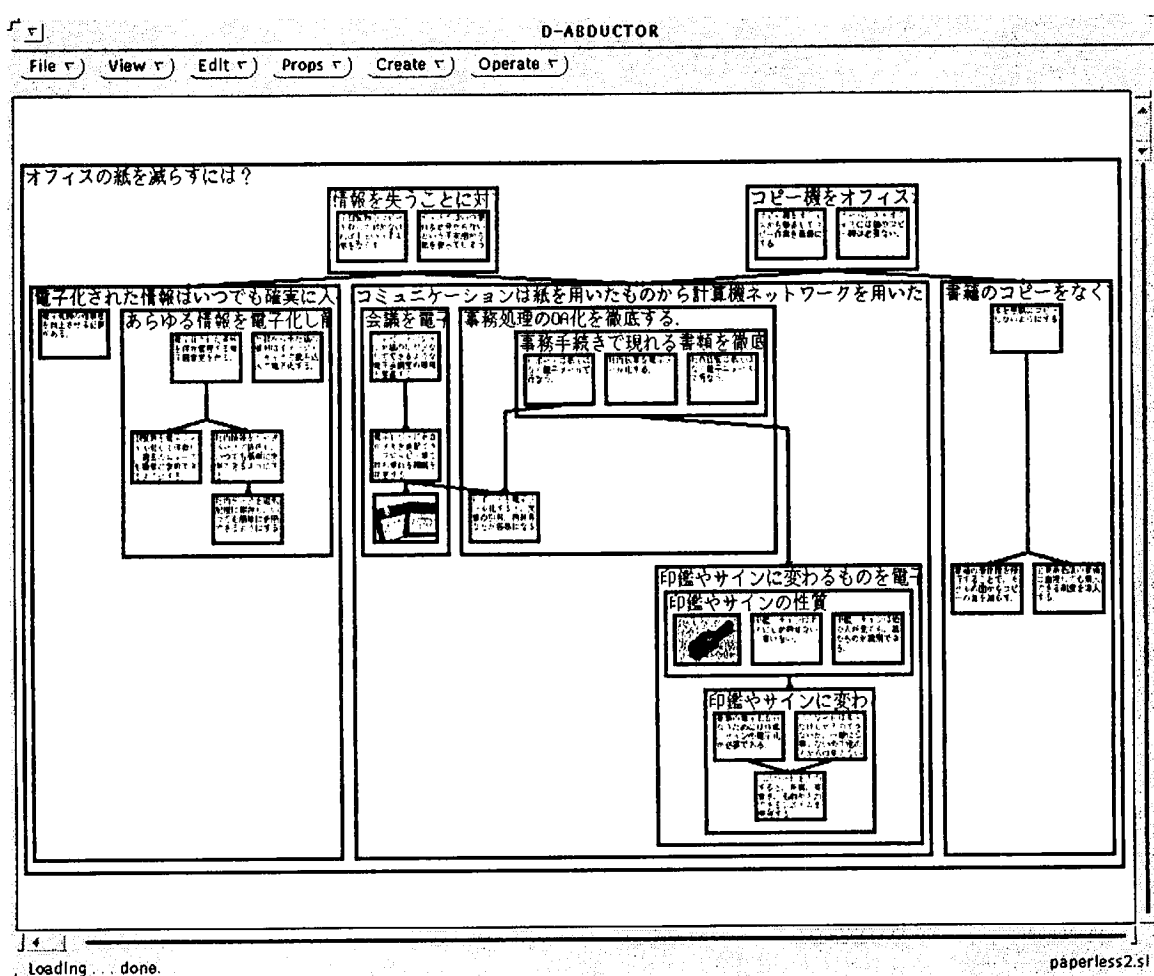


図2：複合グラフの自動描画例

結合関数の例

基本関数の結合は一次結合とする。各係数が属性の組合せ方を調節するためのパラメータとなる。また、属性の影響を公平に扱えるように基本重要度が $[0, 1]$ の値になるように正規化しておいて結合する。つまり、重要度関数 I を上で定義した3種類の基本関数の一次結合として次のように定義する。

$$(9) \quad I(x; y_1, \dots, y_n) = w_s \cdot I_s^*(x) + w_m \cdot I_m^*(x) + w_f \cdot I_f^*(x; y_1, \dots, y_n)$$

ここで、 $w_s + w_m + w_f = 1$, $w_s \geq 0$, $w_m \geq 0$, $w_f \geq 0$ とする。ただし、 I_s^* , I_m^* , I_f^* はそれぞれ I_s , I_m , I_f の値域を $[0, 1]$ に正規化したものである。

4.4 自動図ドレッサ

自動図ドレッサによって自動的に複合操作を行うためには対象条件と属性関数を形式的に定義する必要がある。先に定義した重要度が $[0, 1]$ の実数値であることから、対象条件は実数から真偽値への関数、属性関数は実数から視覚属性値への関数として形式的に表現できる。ここでは、複合グラフに対する自動図ドレッサの例を三つ示す。

可視性操作

第1の例は可視性を操作するものである。ある閾値以下の重要度をもつ節点を見えなくするもので、複合操作の一般形で表現すると下のようなになる。ここで、 t_1 は閾値である。

$$(10) \quad O = \{o_{\text{可視性}}(x, \text{不可視}) \mid x \in \{v \in V \mid I(v) \leq t_1\}\}$$

離散型サイズ操作

第2の例はサイズを操作するものである。サイズを与える属性関数に離散単調増加関数を用いる。複合操作の一般形で表現すると下のようなになる。

$$(11) \quad O = \{o_{\text{サイズ}}(x, f(I(x))) \mid x \in V\}$$

そして属性関数 f を下のように定義する。ここで、 p は小さいサイズ、 q は大きいサイズとする。

$$(12) \quad f(i) = \begin{cases} p & \text{if } i \leq t_2 \\ q & \text{otherwise} \end{cases}$$

連続型サイズ操作

第3の例もサイズを操作するものである。先に説明した離散型との違いは属性関数に連続単調増加関数を用いる点にある。複合操作は式(11)と同じで、属性関数 f を下のように定義する。ここで、 s は標準のサイズとする。定数 r はサイズへの重要度の影響の仕方を調節するパラメータである。

$$(13) \quad f(i) = r \cdot i^r \cdot s$$

4.5 例の一般性について

上で示した重要度関数と自動図ドレッサの例は、対象を複合グラフに、視覚属性を可視性やサイズに限定したため、図ドレッシングの実現法の説明としては部分的なものである。本節では、そのように限定されない一般的な場合においても同様に実現可能であることを示す。

重要度関数の一般性

図の構造および構造上の距離が形式的に与えられれば、重要度関数は複合グラフの場合と同様に定義可能である。第2章で述べた通り、視覚属性操作の対象となる図は構造を持つことを前提としていることと、グラフ構造以外の、行列や座標などにも距離を定義することは可能である¹⁴⁾ことから、一般の多くの図に対しても、同様に重要度関数を定義できる。

また、実現例では三つの基本重要度だけを用いたが、一般的にはそれ以上の基本重要度が必要となる。その場合でも結合関数を修正するだけで適応できる。

自動図ドレッサの一般性

図ドレッサは視覚属性に依存するため、視覚属性値の決定および変更処理について視覚属性ごとに検討する必要がある。しかし、本質的には重要度から視覚属性値への属性関数の構築の仕方が問題である。量的視覚属性である濃淡については濃淡を連続的な数値で表すことで、連続型サイズ操作の場合と同様に属性関数を構築できる。また、質的視覚属性に対しては各属性値に離散的な数値を割り当て、離散型サイズ操作で用いたような離散関数を用いることで属性値関数を構築できる。つまり、可視性とサイズ以外の視覚属性についても同様に自動図ドレッサの構築が可能である。

5. 図ドレッシングの実施例

前章で説明した図ドレッシングを実際に複合グラフに適用した例を用いて、多様な要求への対応、組合せ要求への対応、図の動的な変化への対応という三つの問題が解決できたことを示す。以下に示す図は図2を元の図として図ドレッシングを適用した

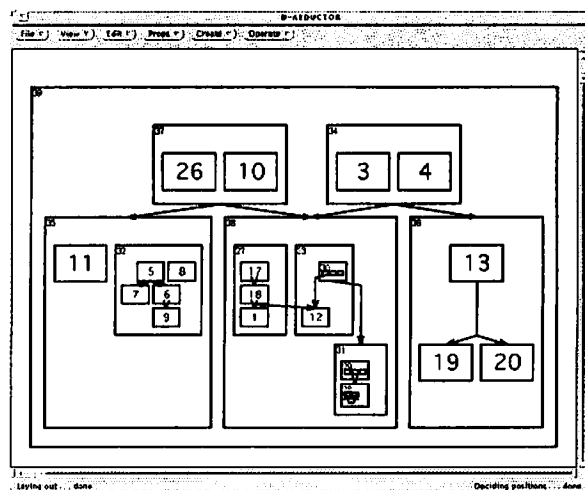
ものである。ただし図の比較において節点の対応を分かりやすくするために節点のテキストや画像を番号に置き換えた。

5.1 多様な要求への対応例

図3によって、表1にあげたような多様な要求に対応できることを示す。以下、各図ごとに、対応している要求と重要度関数のパラメータや利用している自動図ドレッサについて具体的に説明する。

包含関係の深さによる分類

図3(a)はネストになった包含関係の深さごとに節点をサイズで分類した例である。重要度関数は式(9)の定義において $w_s = 1$, $w_f = w_m = 0$ として構造重要度だけを利用し、自動図ドレッサは連続型サイズ操作で $r = 1.3$ とした。深い位置にある節点ほど小さくなっているのが概略化とみなすこともできる。



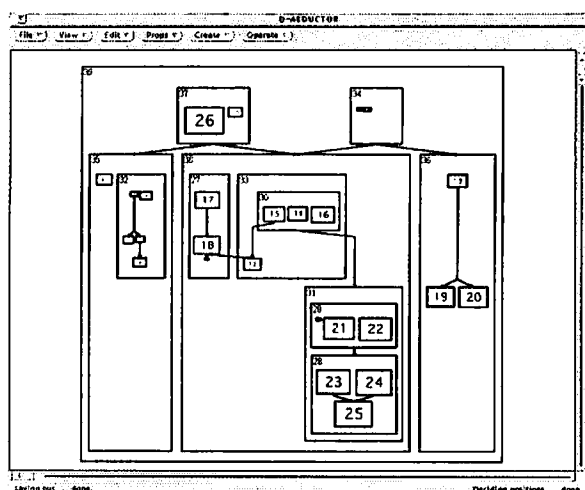
(a) 包含関係の深さによる分類

$$w_s = 1, w_m = w_f = 0$$

連続型サイズ操作 $r = 1.3$

意味の可視化／テキストへの適合

図3(b)は各節点の意味属性を可視化した例である。重要度関数は式(9)の定義において $w_m = 1$, $w_f = w_s = 0$ として意味重要度だけを利用し、自動図ドレッサは図(a)と同じにした。式(7)では節点の文字数で意味重要度を定義したが、例では節点の中のテキスト等を番号に置き換えたので、番号が表す数値を意味重要度として用いた。実際には、文字を多く含む節点ほど大きく描かれる。



(b) 意味の可視化／テキストへの適合

$$w_s = 0, w_m = 1, w_f = 0$$

連続型サイズ操作 $r = 1.3$

視点近傍の強調／詳細化

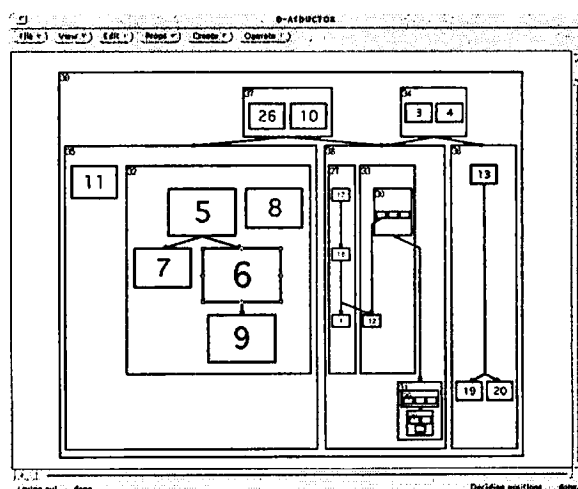
図3(c)は視点となる節点とその近傍を拡大することで、視点付近を強調または詳細化した例である。重要度関数は式(9)の定義において $w_f = 1$, $w_s = w_m = 0$ として視点重要度だけを利用し、自動図ドレッサは図

図3：多様な要求への対応例

(a)と同じにした。例では節点6に視点があり，それに構造的に近い節点ほど大きく描かれている。

全体図の概略化（全体を表示）

図3(d)は全体図を概略化した例である。重要度関数は図(a)と同じく構造重要度だけを利用し，自動図ドレッサは離散型サイズ操作で $t_2 = 0.45$ とした。ネストの深さ（一番外側を0とする）が3以上の節点が詳細部分として縮小されている。すべての図素が表示されているので図の構造が完全に把握できる。

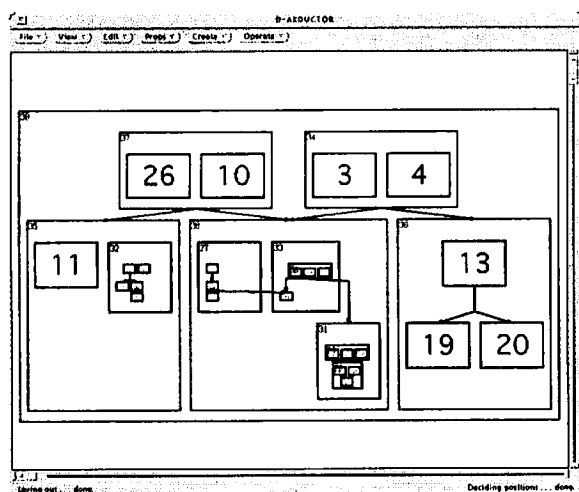


(c) 視点近傍の強調／詳細化

$w_s = w_m = 0, w_f = 1$ 視点：6

連続型サイズ操作 $r=1.3$

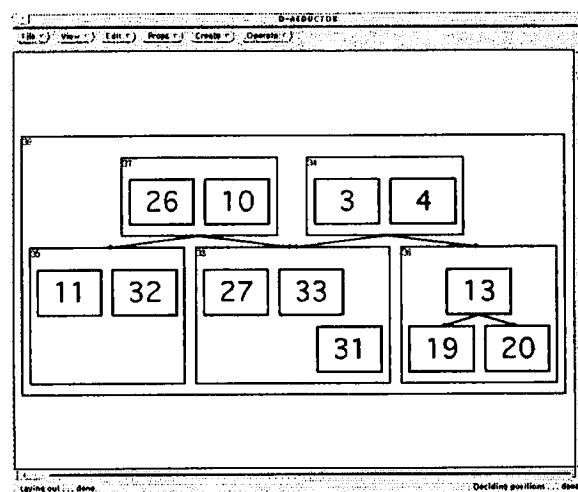
図3：多様な要求への対応例（つづき）



(d) 全体図の概略化（全体を表示）

$w_s = 1, w_m = w_f = 0$

離散型サイズ操作 $t_2 = 0.45$



(e) 全体図の概略化（詳細を省略）

$w_s = 1, w_m = w_f = 0$

可視性操作 $t_1 = 0.45$

図3：多様な要求への対応例（つづき）

全体図の概略化（詳細を省略）

図3(e)も(d)と同じく全体図を概略化した例である。重要度関数は図(a)と同じく構造重要度だけを利用し，自動図ドレッサは可視性操作で $t_1 = 0.45$ とした。離散型サイズ操作の例（図3(d)）と異なって，ネストの深さが3以上の節点は表示されずに省略され

ている。

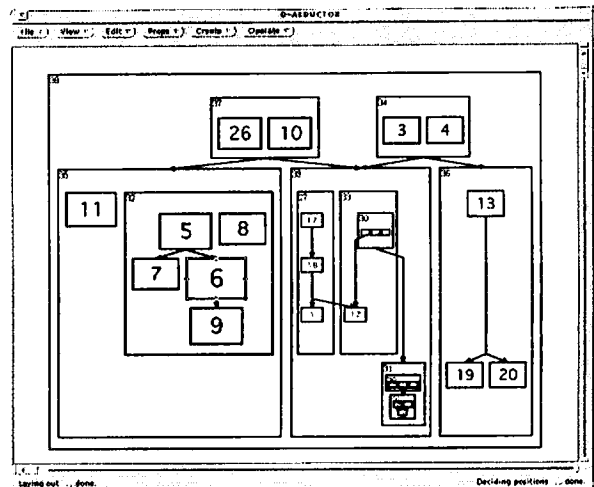
5.2 組合せ要求への対応例

図4によって、二つ以上の「見方」を組み合わせて同時に満たすことが可能なことを示す。前節と同様に、対応している要求と重要度関数のパラメータや利用している自動図ドレッサについて具体的に説明する。

概略化と視点近傍の強調／詳細化

図4は、先に示した、図3(a)包含関係の深さによる分類(すでに述べたように、これは概略化として捉えることもできる)と図3(c)視点近傍の強調／詳細化を組み合わせた例である。重要度関数は式(9)の定義において図3(a)と(c)の間になるように、

$w_s = w_f = 0.5$, $w_m = 0$ として構造重要度と視点重要度の両方を利用し、自動図ドレッサは図(a)や(c)と同じにした。番号が6の節点に視点があり、階層の深い部分が縮小されて概略化されながらも、視点とその近傍は拡大されている。



概略化と視点近傍の強調／詳細化

$w_s = 0.5$, $w_m = 0$, $w_f = 0.5$ 視点：6

連続型サイズ操作 $r=1.3$

図4：組合せ要求への対応例

5.3 図の動的な変化への対応例

構造の変化と視点の変化を例に図の動的な変化に対応できることを示す。例において、ユーザは構造または視点を変化させる操作を行なっているだけで、図ドレッシングに関しては何も操作していない。

構造の変化

図5(a)は図3(d)に示す状態で図の構造が変化するような編集操作を施した例である。ユーザは編集操作として節点28(節点23, 24, 25を包含する節点)を別の位置に移動(マウスでドラッグ)しただけである。

節点28は、図3(d)では深さ3の位置にあり、それに包含される三つの節点と共に縮小されていたが、図5(a)では深さ1の位置に移動したため、包含される節点も共に拡大された。

視点の変化

図5(b)は図3(c)に示す状態で、視点を変更した例である。ユーザは視点変更として、節点10と22を新しい視点として指定(節点10をマウスの左ボタンでクリック、節点22を中ボタンでクリック)しただけである。

図3(c)では節点6とその近傍が拡大されていたのに対して、図5(b)では節点10と22およびその近傍が拡大されている。

6. まとめ

ユーザの図の「見方」に対する多様な要求に統一に対応できる視覚属性操作法、図ドレッシングを提案し、複合グラフに対する実現法を示した。図ドレッシングを用いることでユーザは統一的操作により図の「見かけ」を様々に変更でき、さらに操作を適用したあと、図を編集したり視点を変えたりしても、ユーザは常に自分の望む「見方」で図を見ることができる。

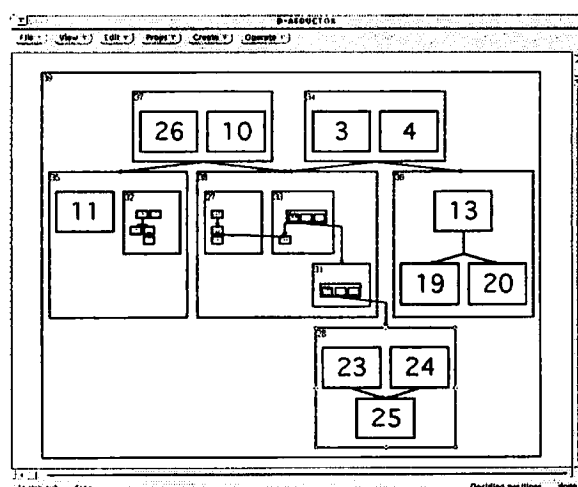
本文中で説明した複合グラフの重要度関数や自動図ドレッサはワークステーションSPARCstation2上で実現され、現在開発中の図的発想支援システムD-ABDUCTOR^{6,8)}に組み込まれている。本文中で参照した図の例はすべてこのD-ABDUCTORを用いて作成したものである。

謝辞

研究の遂行にあたり常日頃から適切な助言を頂いている富士通情報研第一研究部長杉山公造博士、ならびに論文作成にあたり有益な助言を頂いた同研究所主任研究員細木信也博士に深く感謝いたします。

参考文献

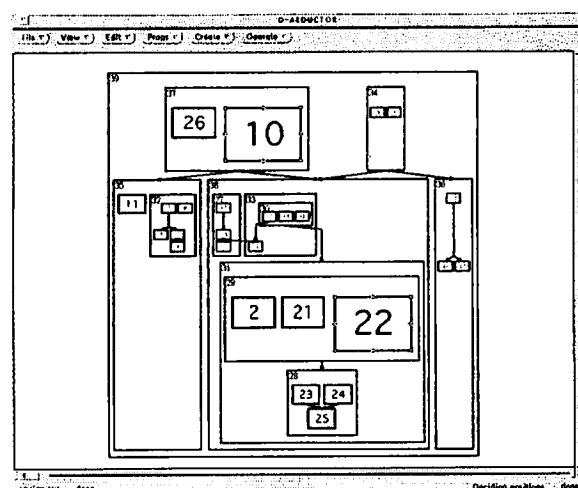
- 1) 杉山公造: 思考支援ツール, 電子情報通信学会誌, Vol. 74, No. 2, pp. 159-165 (1991).
- 2) 折原良平: 発想支援システムの動向, 情報処理, Vol. 34, No. 1, pp. 81-87 (1993).
- 3) 杉山公造: 図的思考展開支援からみたKJ法の分析, 第5回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp. 325-330 (1989).



(a) 構造の変化

$$w_s = 1, w_m = w_f = 0$$

離散型サイズ操作 $t_2 = 0.45$



(b) 視点の変化

$$w_s = w_m = 0, w_f = 1 \quad \text{視点: 10, 22}$$

連続型サイズ操作 $r=1.3$

図5: 図の動的な変化への対応例

- 4) Sugiyama, K. and Misue, K. : Good Graphic Interfaces for Good Idea Organizers, Proc. of the IFIP TC 13 Third International Conference on Human-Computer Interaction (INTER-ACT '90), pp. 521-526 (1990).
- 5) 川喜田二郎: KJ法, 中央公論社, p.581 (1986).
- 6) 三末和男: 図的発想支援システムD-ABDUCTORのための図の操作について, 第41回情報処理学会全国大会論文集分冊5, 6G-4, pp.237-238 (1990).
- 7) Misue, K. and Sugiyama, K.: An Overview of Diagram Based Idea Organizer: D-ABDUCTOR, Research Report IAS-RR-93-3E, FUJITSU LABORATORIES, IAS (1993).
- 8) Misue, K. : D-ABDUCTOR 2.0 User Manual, Research Report IAS-RR-93-9E, FUJITSU LABORATORIES, IAS (1993).
- 9) 三末和男, 杉山公造: 図的思考支援を目的とした複合グラフの階層的描画法について, 情報処理学会論文誌, Vol. 30, No. 10, pp. 1324-1334 (1989).
- 10) Sugiyama, K. and Misue, K. : Visualization of Structural Information: Automatic Drawing of Compound Digraphs, IEEE T. SMC, Vol. 21, No. 4, pp. 876-892 (1991).
- 11) Misue, K. and Sugiyama, K. : Multi-viewpoint Perspective Display Methods: Formulation and Application to Compound Graphs, Proc. of the Fourth International Conference on Human-Computer Interaction (HCI '91), pp. 834-838 (1991).
- 12) 三末和男, 杉山公造: 図的思考支援を目的とした図の多視点遠近画法について, 情報処理学会論文誌, Vol. 32, No. 8, pp. 997-1005 (1991).
- 13) 杉山公造: 図的思考展開支援に関する基礎的研究－発想系情報学の構築に向けて－, 国際情報社会科学研究報告第24号, 第25号, 富士通(株) (1988).
- 14) 三末和男: 図の概略化と発想支援への応用, 情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会資料, HI-31 (1990).
- 15) Furnas, G. W.: Generalized Fisheye Views, Proc. ACM SIGCHI'86 Conf. on Human Factors in Computing Systems, pp. 16-23 (1986).
- 16) Sakar, M. and Brown, M. H.: Graphical Fisheye Views of Graphs, Proc. ACM SIGCHI'92 Conf. on Human Factors in Computing Systems, pp. 83-91 (1992).
- 17) 出原栄一, 吉田武夫, 渥美浩章: 図の体系, 日科技連, p. 252 (1986).
- 18) ベルタン, J: 図の記号学, (財)地図情報センター, p. 277 (1982).
- 19) Eades, P., Lai, W., Misue, K. and Sugiyama, K.: Preserving the Mental Map of a Diagram, Proc. of the First International Conf. on Computational Graphics and Visualization Techniques (COMPUGRAPHICS '91), pp. 34-43 (1991).