
表計算ソフトウェアにおけるセルの依存関係の視覚化

Visualizing the Dataflow Structures of Spreadsheets

五十嵐 健夫 Jock D. Mackinlay Bay-Wei Chang Polle T. Zellweger*

Summary. This paper presents the concept of Fluid User Interfaces, and introduces a set of techniques to visualize the dataflow graphs of spreadsheets as an application of Fluid UI techniques. Fluid UI supports the understanding of supporting material of an information space, while maintaining the context of the primary material. Our visualization techniques for spreadsheets make hidden dataflow structure easily accessible while maintaining the natural appearance of the spreadsheet. Central to our techniques is the use of animation and lightweight interaction for rapid and non-intrusive visualization. Our prototype implementation suggests that these techniques can greatly improve the expressive power of current spreadsheets as well as other applications that have rich underlying structures.

1 はじめに

計算機の処理能力の飛躍的向上とネットワークやデータベースの発達により、人間の手にすることのできる情報の量は爆発的に増加している。その一方で、膨大な情報から必要な情報を取り出し有効に利用することはますます困難になりつつある。このような情報過多(Information overload)の問題を解決する試みの一つとして、グラフィックス機能を利用した情報視覚化の手法があげられる[16]。これらは、通常の方法では一度に全体をみることのできないような大規模な情報を、視覚化手法の工夫やインタフェースの工夫によってユーザに対してわかりやすく提示し、情報の理解と有効な利用を促進するものである。例えば、3次元グラフィックスを利用した Cone Tree や Perspective Wall[14]、特殊な座標系を利用した方法[10]、高速なズームングを利用する Pad++[1]、また情報の重要度に注目した Fisheye view[6] といった手法が提案されてきている。

しかし、これらの情報視覚化手法は主に一様な構造をもった大規模な情報の提示を目的としており、情報のもつ様々な側面といったものを効果的にみせることを目的としたものはあまりなかった。情報の側面とは、言い換えれば互いに関連をもついくつかの層のことであり、例えば、地図上における道路情報と地名情

* Takeo Igarashi, 東京大学情報工学専攻 / Jock D. Mackinlay, Bay-Wei Chang, Polle T. Zellweger, Xerox PARC

報の関係。文章における主文章と脚注等の付随文との関係、CADの図面における図的情報とその詳細を規定する数値や材質といった情報の関係などが例としてあげられる。これらの情報の関係は、単に時系列上や空間上に並んでいたり、巨大な木構造を構成するような階層構造とはまた違った関係であり、複数の性質の異なる情報空間が互いにつながりをもったものとしてみることができる。多くの場合、それらは主要な情報を持つ層と、その情報に付随する補助的な情報をもつ層からなるものと見ることができる。

本稿では、このような主要な層と補助的な層をもつ情報空間の視覚化手法の枠組みとして Fluid User Interface の考え方を提案し、その具体的な例として表計算ソフトウェアの構造の視覚化手法について詳しく説明する。

2 Fluid User Interfaces

Fluid UI は、第一義的な情報に加えて、補助的な情報を与える層をもっているような情報空間の視覚化手法および対話的操作手法である。補助的情報の具体的な例としては、シェイクスピア劇の台本に付随する言葉や文化的背景に関する注釈、企業の会計報告の数値的情報に付随する損益の事由を記したコメント、建築や機械部品の図面等における数値等の詳細情報などがあげられる。紙の上では、これらの情報は主要な情報を隠さないように注意深く配置された小さな文字を使用して表現されることが多い。Fluid UI は、計算機の対話的な表現能力を最大限に生かして、より多くの補助的な情報をより効率的に伝えることを目的としている。

Fluid UI の基本的な考え方は、ユーザの操作から興味の推移を読み取り、補助的な情報に対する興味が検知された場合に、その情報をよりわかりやすい形で提示するといったものである。その際、主要な情報を隠蔽することなく補助的な情報との関係がわかりやすいような形で提示すること、およびその効果をユーザの操作負担のできるだけ少ない方法で実現すること、の2点が重要である。具体的な処理の詳細はアプリケーションによって異なっておりそれぞれの論文に詳しく説明されているが、Fluid UI の枠組みとしては、以下のような手順を提案している。

1. デフォルトの表示として主要な情報を提示し、残されたスペースを利用して補助的な情報への手がかりを表示する。
2. ユーザがマウスを移動するなどの操作により補助的な情報への興味を示すと、それをきっかけとして補助的な情報をより詳しくユーザへ提示する。
3. 補助的な情報の提示にあたっては、主要な情報を隠蔽することなく、アニメーションによる拡大縮小やフェーディングを利用し、相互の関係がよくわかるように表示方法を工夫する。

具体的なアプリケーションとして、文章に付随する注釈の視覚化手法とそのためのソフトウェアアーキテクチャ[4]、ハイパーテキストにおけるリンクのジャンプ先に関する付加的情報を視覚化して提供し、ナビゲーションを助けるための手法[17]、および本稿で説明する、表計算ソフトウェアにおけるデータフロー

グラフの視覚化に関する研究[8]が試みられている。

なお、補助的な層の視覚化手法としてレンズというメタファーを利用した Magic lens[2]が挙げられるが、本手法はレンズによって完全にもとの情報を隠してしまうのではなく、2つの層のより融合した形での視覚化を目指している。

3 表計算ソフトウェアにおける構造の視覚化

本稿では、Fluid UI の具体的な応用例として表計算ソフトウェアにおける情報の視覚化手法について詳しく説明する。表計算ソフトウェアは、広く一般に普及しているアプリケーションの一つであるが、その最大の特徴は、セルの値として他のセルの値を参照する式を与えることにより、複雑な計算手続きをわかりやすい形で表現し、かつその計算作業を自動化できる点にあるといえる。しかし、できあがったシートの論理的な構造を確認するためには、それぞれのセルを開いて中に記述されている計算式の内容を個別に確かめていかなければならず、特にシートの全体的な構造の把握が困難である。この問題は、表計算シートの主要な情報の層である数値情報のみが提示されており、補助的な層であるセルの依存関係からなるデータフローグラフが隠されているためであるといえる。そこで本論文では、Fluid UI の考え方にない、主要な層に表現されている数値情報を隠蔽することなく、補助的な層に相当する情報であるセルの依存関係をユーザにわかりやすく提示する手法を提案する。

はじめに、セルの依存関係を視覚的に把握するための手法として、マウスポインタの動きに追従して局所的なセルの依存関係を視覚化する手法(Transient local view)、シートの全体的な構造を静的なグラフとして一度に提示する手法(Static global view)、および全体的な構造を一連のアニメーションとして表現する手法(Animated global view)の3つを紹介する。次に、シート上のセルの間を、セルの位置関係でなくその依存関係に基づいて移動する手法(Semantic navigation)を紹介する。

本稿で述べる手法は、第一義的な情報であるセルの数値情報を隠蔽することなく、通常の数値情報と調和する形で依存関係の視覚的表現と視覚的操作を可能にしている点で、単純に構造のみを取り出してグラフとして表現する通常の視覚化手法と異なっているといえる。Pad++[1]および Python を利用したプロトタイプシステムが実装されており、提案する手法の実現性と有効性を確認している。

以下、各手法を順に説明し、最後に関連研究に触れ、結論を記す。

3.1 Transient local view

ここで説明する手法は、シートの全体的な構造のうち、ユーザが現在注目しているセルに直接関係する部分のみを提示するものである。すなわち、当該セルに参照されているセル(被参照セル)、および当該セルを参照しているセル(参照セル)を通常のシート上に視覚的に表現する。現在の実装では、被参照セルの集合は当該セルとつながる細い線で囲まれた領域として表現され、参照セルは当該セルと線で結ばれた灰色の領域として表現される(図 1)。参照関係を表現する際には表

現の簡略化のため、式の中でまとめて表現されている複数のセルはそれらを囲む一つの長方形によって表現される。

	A	B	C	D
0				
1	10	20	30	40
2				
3		100	100	200
4			200	300

図 1. Transient local view

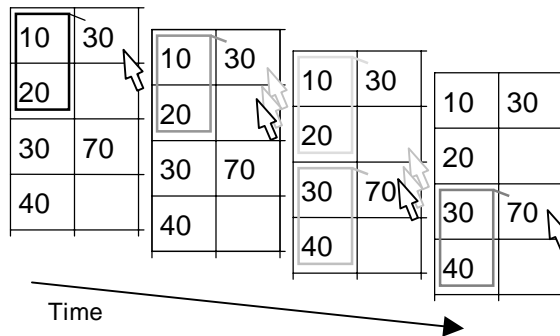


図 2. マウスポインタの移動に伴う表現の推移

本手法の特徴は、ボタン操作を伴わないマウスの動きに応じて局所的構造の提示を行う点にある。従来の表計算ソフトウェア（例えば、マイクロソフトのエクセルなど）においては、各セルの表現する式の内容を見るためには一度そのセルをボタン操作によって選択しなければならなかった。その上、構造の視覚的表現を得るためには画面上部に表示されるテキスト表現の式をさらにもう一度クリックする必要があり、局所的構造を見るためには比較的「重い」操作が必要であったといえる。本手法では、特定のセルに関わる局所的構造の提示は、マウスポインタをそのセルの上に移動するという非常に「軽い」操作によって実現される。マウスポインタの移動に伴う構造表現の変化は、すべてフェーディング効果を利用したアニメーションとして表現される(図 2)。このフェーディング効果により、既に通過したセルに関する構造も短期的に画面上に残るため、マウスポインタを連続的に移動することによって広範な範囲の構造の概観を得ることができる。

3.2 Static global view

前節で紹介した Transient local view によって、通常のセル表示およびシート操作を妨げることなく、局所的な構造やある程度広範な範囲の構造の把握が可能となる。しかし、他人の作成したシートを受け取った場合など、シート全体の構造をまとめて理解したい場合には、いちいちマウスを動かして構造を眺めるといった手法は不適當といえる。Static global view は、そのような要求に答えるためのもので、シート全体にわたるセルの依存関係を一度にユーザに提示する(図 3)。具体的には、式の与えられているすべてのセルに関する参照セルと被参照セルを表示する。この際、Transient local view の場合と同様、構造をわかりやすく見せるために、個々のセルに対してグラフを描くかわりに、意味的空間的にまとまった参照セルは一つの長方形で表示する。

Static global view は、個々のセルに関する細かい構造の把握には適さないものの、広範な範囲に渡る比較的規則的な構造の概観を得たい場合に有効である。現在の実装では、参照セルの集合の形状 (具体的には、水平に並んだセル、垂直に並んだセル、独立したセル、およびそれ以外) に応じて異なる色を使用することによって、規則的構造の把握を助けている。

	A	B	C	D
0	10	80	90	180
1	20	20	130	170
2	10	40	210	260
3	80	100	70	250
4	120	240	500	860

図 3 . Static global view

3.3 Animated global explanation

Static global view は、似たような依存関係をもつセルが並んでいる場合など、構造が規則的に広がっている場合に非常に有効に働く。しかし、セルの参照関係が入り組んでいる場合や、重なり合っている場合などには、複雑に絡み合ったグラフが表示される結果となり、構造の把握は困難となる。また、どこから計算が始まりどこで最終的な結果が得られるのかといった、計算の流れをうまく表現することができないという問題がある。

このような問題を解消し、全体的な計算の流れを視覚化する手法として、

Animated global explanation を紹介する。これは、セルの依存関係を時間軸上に展開して一連のアニメーションとして表現するものであり、特に全体的な計算の流れの方向を理解する助けとなる。アニメーション表示の要求を受けると、システムはまずシート上のセルを走査してその依存関係のグラフを構成し、次にそのグラフに基づいて提示する順番を決定する。すなわち、参照されるセルに関するアニメーションにつづいて、そのセルを参照しているセルに関するアニメーションが続くというようになる。最終的に、すべての依存関係のうちでもっとも上流にあるセル（通常は計算に必要な数値を入力する場所）からはじまり、もっとも下流にあるセル（通常は計算の結果が表示される場所）で終わるような提示順序が決定され、その順番に基づいてアニメーションが次々に提示される(図 4)。このようにして、ユーザは、通常見ることのできない値の伝播の様子をアニメーションの形で実際に目で見て確認することが可能となる。

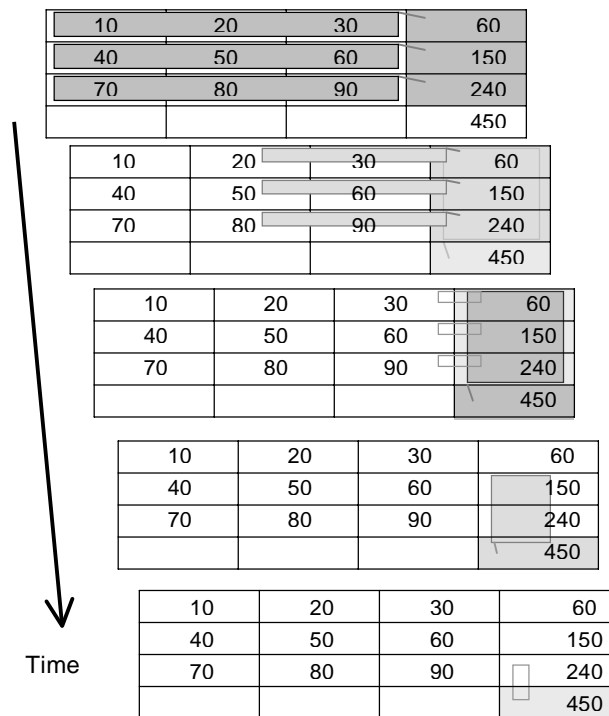


図 4 . Animated global explanation

3.4 Semantic Navigation

表計算ソフトウェア上でセルを選択する方法として、マウスを使用して直接目的のセルを選択する他に、矢印キーを利用してカーソルを隣接するセルへと移動していく方法がある。この場合、カーソルはセルの間の空間的近接関係に基づいて

移動しているものということができる。それに対し、ここで紹介する Semantic navigation は、セルの依存関係に基づいたカーソルの移動を実現する。より具体的には、カーソルキーを利用して、現在カーソルが位置するセルの参照セルおよび被参照セルへの直接的な移動を行う。現在の実装では、カーソルの移動は以下のような手順で行われる(図 5)。

1. コントロールキーを押し下げることによって、semantic navigation を開始する。
2. 赤い大きな矢印が、現在カーソルの乗っているセルから、参照関係を持つセルのうちの一つ (ターゲットセル) へと伸びていく。
3. コントロールキーを押したまま、右矢印および左矢印キーを押して矢印の向きを変えることで、ターゲットセルの選択を行う。
4. 上矢印を押すことで、カーソルは現在のセルからターゲットセルへ移動する。このような手続きを繰り返すことで、ユーザは矢印キーを利用してデータフローグラフの中を自由に移動することができる。
5. コントロールキーを離すと、赤い矢印は消滅し、通常の空間的近接関係に基づく移動を再開する。

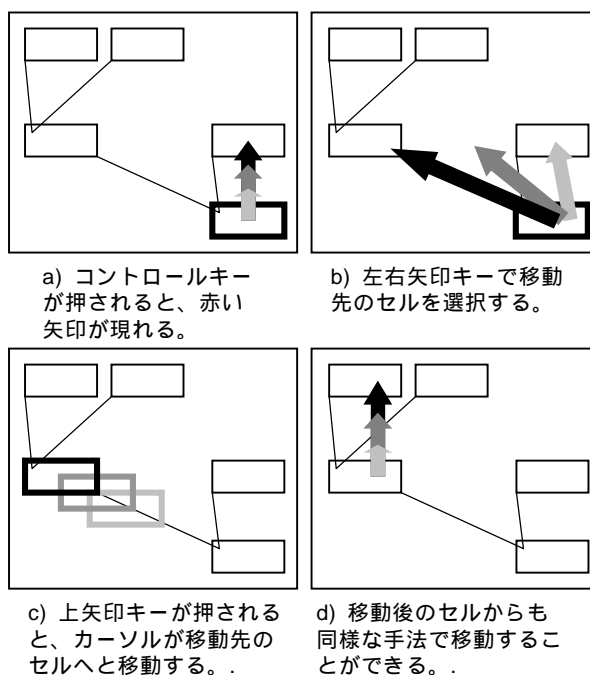


図 5 . Semantic navigation

矢印やカーソルの動きは、すべてアニメーションとして表示される。この手法を利用することにより、移動に必要なキーストロークの数を大幅に減らすこと

ができる他、空間的に離れているが意味的に近いセルへの簡単な移動が実現されることによりデータフローグラフの構造理解を促進することができる。特に、現在の実装では実現されていないものの、画面の外にある参照セルや被参照セルへの移動に効果を発揮するものと期待される。

3 関連研究

構造視覚化のための簡単な機能は、市販ソフトウェアに見ることができる。例えば、マイクロソフトの Excel97[11]には、参照セルの領域を長方形として表示してマウスで操作する機能(Range Finder)や、セルの依存関係を矢印を用いて表示する機能(Auditing)などがある。しかし、これらの機能はあくまでも付加的な機能として動作しており、シートの基本的な表現を改良しているとはいえない。より具体的には、それぞれの視覚表現を得るにはセルを個別に選択しメニューを選ぶといった手間のかかる操作が必要であったり、矢印が重なり合って構造がよく分からなくなるといった問題があり、特にシートの全体的な構造の把握が困難である。

表計算ソフトウェアの原理を数値計算以外の処理に応用する試みとして、[7][9][12]などが挙げられる。本研究は、新たな処理への応用でなく、表計算システムの本質的な特徴を補強することを目的としている点でこれらに研究と方向性が異なっている。

大規模な情報空間を視覚化する試みとして、ズームインインタフェース[1]や部分的拡大による手法[6][10][14]などがあり、大規模な表計算シートの視覚化に利用可能であると考えられるが、本手法は第一義的な情報の層(表計算シートにおけるセルの数値表現)に隠されている二次的な層(表計算シートにおけるデータフローグラフ)を効果的に提示しようとしている点で異なっている。

アニメーションに関する研究も数多くある[5][13]が、従来のアニメーションの主な利用方法は、固体としての物体の存在を強調するために利用や、時間的に連続するイベントの提示などが主であった。本研究は、アニメーション(特にフェーディング効果)を通常の方法では視覚化の困難な隠れた情報の提示に使用している点を特徴とする。

4 まとめ

本論文では、情報視覚化の手法の一つとして Fluid User Interfaces の考え方を紹介し、具体的なアプリケーションとして表計算ソフトウェアにおけるセルの依存関係の視覚化手法を提案した。アニメーションの効果的利用およびインタラクションの工夫により、ユーザの操作負担を少なく抑えながら、表計算シートの構造を効果的に提示することが可能となっている。今後の課題としては、単一画面に収まらない大規模なシートにおける視覚化手法の検討、ユーザテストによる提案手法の有効性の実証、および地図やCADの図面といった他のアプリケーションへの本手法の応用などが挙げられる。

参考文献

- [1] Bederson, B.B., Hollan, J., Perlin, K., Meyer, J., Bacon, D., and Furnas, G., Pad++: a zoomable sketchpad for exploring alternate interface physics, *Journal of Visual Languages in Computing*, Vol.7, No.3, pp. 3-31, 1996.
- [2] Bier, E.A., Stone, M.C., Pier, K., Buxton, W., DeRose, T.D., Toolglass and Magic Lenses: The see-through interface, *SIGGRAPH'93*, 1993.
- [3] Burnett, M., Ambler, A., Interactive visual data abstraction in a declarative visual programming language, *Journal of Visual Languages and Computing* 5(1), pp.29-60, 1994.
- [4] Chang, B.W., Mackinlay, J., Zellweger, P., Igarashi, T., A negotiation architecture for fluid documents, *UIST'98*, to appear, 1998.
- [5] Chang, B.W., Ungar, D., Animation: from cartoons to the user interface, *UIST'93*, pp.45-55, 1993.
- [6] Furnas, G.W., Effective view navigation, *CHI'97*, pp.367-374, 1997.
- [7] Gottfried, H.J, Burnett, M., Graphical definitions: making spreadsheets visual through direct manipulation and gestures, *IEEE Symposium on Visual Languages'97*, 1997.
- [8] Igarashi, T., Mackinlay, J., Chang, B.W., Zellweger, P., Fluid Visualization for Spreadsheet Structures, *IEEE Visual Languages'98*, pp.118-125, 1998.
- [9] Johnson, J.A., Nardi, B., Zarnier, C.L., Miller, J.R., Ace: building interactive graphical applications, *Communications of the ACM*, Vol.36, No.4, pp.41-55, 1993.
- [10] Lamping, J., Rao, R., Pirolli, P., A focus+context technique based on hyperbolic geometry for visualizing large hierarchies, *CHI'95*, pp.401-408, 1995.
- [11] Microsoft, Microsoft® Excel 97, <http://www.microsoft.com/excel/>.
- [12] Myers, B.A, Graphical techniques in a spreadsheet for specifying user interfaces, *CHI'91*, pp. 243-249, 1991.
- [13] Myers, B.A., Miller, R.C., McDaniel, R., Ferreny, A., Easily adding animations to interfaces using constraints, *UIST'96*, pp.119-128, 1993.
- [14] Robertson, G.G., Card, S.K., Mackinlay, J.D., Information Visualization Using 3D Interactive Animation, *Communications of the ACM*, Vol.36, No.4, pp.57-70, 1993.
- [15] Spenke, M., Beilken, C., Berlarge, T., FOCUS: the interactive table for product comparison and selection, *UIST'96*, pp.41-50, 1996.
- [16] Card, S., Mackinlay, J., Shneiderman, B., Readings In Information Visualization; Using Vision To Think, *Morgan Kaufmann Publishers*, 1998.
- [17] Zellweger, P., Chang, B.W., Mackinlay, J., Fluid links for informed and incremental link transitions, *Hypertext'98*, pp.50-57, 1998.