

学位論文題名

COORDINATED MULTIPLE INFORMATION VISUALIZATION AND EXPLORATION OF WEB RESOURCES

(ウェブ情報の複数協調可視化および
情報探索フレームワークに関する研究)

学位論文内容の要旨

近年のコンピュータ技術とネットワーク技術の発展により、ワールド・ワイド・ウェブ上のウェブ・リソースは種類も量もますます急速に増加し続けている。ユーザはウェブ・サービスをも含むこれらのウェブ・リソースから大量のデータを取得することが可能になっている。これら大量データの中には、タンパク質の立体構造や地形データなど、ユーザが理解するために3次元の可視化が求められるデータも含まれる。

このような状況下で、これら大量データからユーザが目的の情報にたどり着くためには、情報探索のための3次元情報可視化フレームワークが必要となる。可視化技術を用いた情報探索のためには、ユーザが様々な文脈で情報を追いかけたり、異なる視点から情報を見られなくてはならない。同時に、複数の条件から得た情報の比較を行い、試行錯誤が行えなくてはならない。異なる視点からの情報を得るためには、異なる複数の情報リソースから得た可視化結果の間に相互の「関連づけ」を行い、これらの関連付けリンクを自由にたどり詳細情報や関連情報を取得するための枠組みが必要となる。また、複数の可視化結果を比較するためには、情報取得と可視化定義において様々なパラメータを与えることで得た複数の可視化結果を並列表示することで比較を行う枠組みが必要となる。その際、パラメータ間の差違および関係をユーザが認識しやすくするために、パラメータ属性ごとに可視化結果を「組織化」する枠組みが重要となる。これらの情報探索をユーザ自身の要求を通し自由に行えるためには、ユーザのインタラクティブな操作により情報の可視化および探索を実現できる枠組みが重要となる。

しかしながら、従来の3次元情報可視化手法は、エンドユーザによる多種多様なウェブ・リソースに対するアクセス、可視化表現の定義、およびインタラクティブな情報連携の定義は支援していない。特に、ウェブ・サービスに対するインタラクティブな3次元可視化および連携のための仕組みは未発達である。また、異なる可視化パラメータを用いた複数の3次元可視化結果をエンドユーザレベルで自由に定義および配置する手法、それらを相互に連携づけする手法は存在しない。本論文では、これらの問題点に対する解決法を提案している。

本研究における成果は以下の3点である:

1. ウェブ情報可視化の基盤技術として、エンドユーザによる3次元部品の組み合わせによるウェブ・サービスへのアクセス、ウェブ・サービスの連携、および3次元可視化定義のための要素技術とアプリケーションフレームワークの提案。
2. ひとつの3次元空間中に他の3次元空間を埋め込むことを可能にする空間部品の導入によ

る、3次元ハイパーリンク空間の構築、およびそれによるインタラクティブな詳細情報・関連情報への連携を可能とするアプリケーションフレームワークの提案。

3. スプレッドシートへの複数の可視化環境の埋め込み、およびスプレッドシートのセルからの可視化パラメータ入力による複数可視化結果を用いた、情報比較のためのアプリケーションフレームワークの提案。

本論文の構成は以下の通りである。第2章では、情報可視化および情報探索に関する既知の研究について解説すると共に、それらの抱える問題点を提起している。第3章では本研究の基盤となる要素技術について解説している。第4章から第6章では、上記の各成果に関する詳細を解説している。

第4章では、第3章で述べた基盤技術を用いたウェブ・リソースに対するアクセスのためのフレームワークを提案している。本枠組みでは、エンドユーザが、プログラミングすることなしに SOAP 形式および REST 形式のウェブ・サービスを組み合わせることでアクセスし、結果を可視化する仕組みを確立している。各ウェブ・サービスは3次元のプロキシ部品に対してパラメータを設定することでアクセス可能となる。複数のプロキシ部品を連携することで、結合のようなオペレーションや複合サービスを定義することが可能となる。プロキシ部品によって取得したレコードはユーザ定義による3次元表現によって可視化される。この3次元表現は任意の3次元部品の組み合わせによって定義され、可視化結果はプロキシ部品を含めた他の3次元部品と連携させることが可能である。これにより、可視化結果から他の情報リソースへ、関連づけを定義することが可能となる。これらの機能により、エンドユーザの直接操作による、様々なウェブ・リソースを用いた3次元情報可視化の構築が実現される。

次に第5章では、複数の3次元可視化空間を用いた3次元ハイパーリンク空間構築のためのアプリケーションフレームワークを提案している。本フレームワークでは、「WorldMirror」および「WorldBottle」と呼ばれる空間を部品化するための3次元部品を用いることで、3次元空間におけるハイパーリンク機能を確認している。これらの空間部品は、そのオブジェクト表面に他の空間をレンダリングすることで、空間の入れ子表示を可能とする。「WorldMirror」は平面状の形状で表現され、3次元空間における窓のように扱われる。「WorldBottle」は任意の立体形状で表現され、3次元空間において他の空間を埋め込んだ瓶のように扱われる。各空間内では第4章で提案したウェブ・リソースにアクセスするためのプロキシ部品と可視化のための部品を用いることができる。空間部品において、異なる空間に配置された部品間の機能連携の仕組みを提供することで、各空間に割り当てられたプロキシ部品と可視化結果を連携づけることが可能となる。空間部品はその部品オブジェクトの中に入っていくことによって他の空間へ移動することを可能にする。これらの機能により、3次元空間におけるユーザによる直接操作によるハイパーリンク空間の構築が実現される。

最後に、第6章では、スプレッドシートを用いることにより、複数パラメータから生成された複数の3次元可視化結果を組織化して配置し、相互に比較するためのフレームワークを提案している。本枠組みでは、第4章で提案したウェブ・リソースへのアクセス部品と可視化の仕組みを含む3次元可視化環境のウィンドウそのものを2次元の部品としてエクセルシートに貼り、エクセルの各セルから可視化パラメータを制御することで複数可視化を生成するフレームワークを確立している。ユーザは3次元空間内のプロキシ部品および可視化部品から任意の機能を2次元部品の機能として抽出することが可能である。また、エクセルの各セルと抽出された機能の連携定義を実現する部品を提供することで、ユーザはエクセルシート上で複数の可視化結果をインタラクティブに生成し、相互に連携させることが可能となる。さらに、エクセルのセルコピー機能を用いることにより、異なるパラメータに対する複数の可視化結果を同一のシート上に容易に並べて表示することが可能となる。これらの機能により、エンドユーザの直接操作で、様々なパラメータからなる3次元可視化結果を表形式に配置する情報可視化環境の構築が実現される。

本論文では、複数の3次元可視化結果を相互に協調連携することによる情報探索のためのアプリケーションフレームワークを提案している。本論文で提案されるアプリケーションフレームワークを用いて、ユーザは様々なウェブ・リソースに対して、情報の関連づけを行い、ハイパーリンク空間

を構築することが可能となる。また、さまざまなパラメータからなる複数可視化結果をスプレッドシートのテーブル構造を用いて組織化することにより、大規模情報の相互比較が可能となる。これらの枠組みを用いることで、エンドユーザによる直接操作によるウェブ・リソース上の情報に対する情報探索が実現可能となる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 田 中 讓
副 査 教 授 原 口 誠
副 査 教 授 工 藤 峰 一
副 査 准教授 吉 田 哲 也

学 位 論 文 題 名

COORDINATED MULTIPLE INFORMATION VISUALIZATION AND EXPLORATION OF WEB RESOURCES

(ウェブ情報の複数協調可視化および
情報探索フレームワークに関する研究)

近年、データベースの可視化技術のみならず、ウェブ上のサービスが提供するデータや情報の可視化技術の研究が盛んに行われるようになってきた。データベースの可視化と異なり、ウェブ情報の可視化においては、複数のウェブサービスが提供するデータや情報をアドホックに関係付けて統合し、関心部分を自在に選び出して可視化したり、異なる条件の可視化を表す情報空間を相互に関連付けてそれらの間を自在に探索したり、複数可視化空間を連動させた協調可視化などが、簡便にインタラクティブに実行できることが望まれている。しかし、従来研究では、単一のウェブサービスが提供する情報の可視化技術と、予め想定された範囲のウェブサービス間の連携に基づく可視化が研究されているに過ぎない。

本論文は、このような問題を解決するべく、ウェブ情報の複数協調可視化環境のアドホックな構築と、複数可視化空間間のインタラクティブな情報探索とを可能にするジェネリックなフレームワークを提案している。この目標を達成するために、ウェブサービス・アクセスとデータベース・アクセスのジェネリックな部品化、2次元の場合のマルチウィンドウ技術に相当する3次元空間の部品化、個々のセルに3次元可視化空間を埋め込むことができるスプレッドシートと、式によるセル間の連携定義を用いた複数可視化空間のインタラクティブな協調連携定義機構、の3つの新しい基盤技術を確立し、これらの技術が課題をいかに解決するかを明らかにしている。

ウェブサービス・アクセスとデータベース・アクセスのジェネリックな部品化に関しては、これらをすべてREST形式のウェブサービスとみなして3次元知識メディア・オブジェクトとして部品化することが提案されている。これにより、部品のインタフェースが標準化され、部品化と部品間連携の機構を汎用的に実現することに成功している。利用者はこれらの部品を自在に組み合わせることにより、複数のウェブサービスやデータベースをアドホックに自在に関連付けてアクセスする

ことができる。個々の情報源から得られるレコード集合である関係を、相互に関連付けて結合した関係を出力として得ることができる。これらを3次元知識メディア技術に基づいて開発された種々の情報可視化スキーム部品と連携することにより、ウェブ情報の多様な可視化環境を簡便に構築することができる。第4章はこのような部品化アーキテクチャと、これに基づくウェブ情報の可視化フレームワークを提案している。

第5章では、多様な3次元情報可視化結果を、同一空間内に複数表示し、それらの間に動的な連携を簡便に定義することができるように、3次元空間の部品化技術を提案している。3次元空間の部品化技術は、2次元の場合のマルチウィンドウ技術に相当する。マルチウィンドウが複数の実行環境を複数ウィンドウの重畳表示によって同時に扱えるようにしたのと同様に、3次元空間の部品化は、複数の異なる情報可視化環境の同時表示や入れ子表示を可能にし、それらの間に部品間連携機構を介して動的な連携関係を簡便に定義することを可能にする。これにより、異なる条件による可視化を相互に連携させて同時表示する協調可視化のための基本的機構が確立された。空間部品として **WorldMirror** と **WorldBottle** の2種類の部品が提案されている。**WorldMirror** は3次元空間において別空間への入り口となる窓の役目を果たす。**WorldBottle** は任意の形状を持ち、この形状のビンの中に別空間を埋め込むことができる。両者とも、外から別空間を覗いたり、飛び込んで別空間に移動することができる。この空間部品の機構はジェネリックに定義されており、すでに他の研究者によって広く利用されている。本研究の中では、一つの情報可視化空間内の各レコードから、関連する別の情報可視化空間へ移動するためハイパーリンクの実現や、相互に機能連携した複数の情報可視化空間の同時表示の実現などに用いられている。

第6章では、個々のセルに3次元可視化空間を埋め込むことができるスプレッドシートと、式によるセル間の連携定義を用いた複数可視化空間のインタラクティブ協調連携定義機構が提案されている。このフレームワークを用いることにより、ウェブ上のサービスやデータベースなどの情報源を多様に組み合わせ、多様な可視化スキームを用いて、検索条件を自在に変えながら、複数の情報可視化結果を相互に協調させて同時表示することができるような、インタラクティブな可視化環境の構築が容易になった。

これを要するに、著者は、ウェブ情報の複数協調可視化環境のアドホックな構築と、複数可視化空間間のインタラクティブな情報探索を可能にする、ジェネリックなフレームワークに関して、新知見を得たものであり、情報可視化フレームワークの分野において貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(情報科学)の学位を授与される資格あるものと認める。