

氏名 (本籍)	橋本昌嗣 (山口県)
学位の種類	博士 (情報科学)
学位記番号	情博第280号
学位授与年月日	平成16年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科、専攻	東北大学大学院情報科学研究科 (博士課程) 情報基礎科学専攻
学位論文題目	可視化のための計算機アーキテクチャに関する研究
論文審査委員 (主査)	
	東北大学教授 中村 維男      東北大学教授 伊藤 耿一
	東北大学教授 小林 広明      東北大学講師 鈴木 健一

## 論文内容要旨

### 第1章 緒言

画像は多くの場合、言葉を重ねるよりも優れた情報伝達能力をもつ。しかしながらそのためには、その画像に情報が整理され意味を持った形で人間に提示される必要がある。近年の可視化技術における進歩の多くは、写実的な表現を追求している。しかしながら、大型計算機で数値計算結果を写実的に可視化したとしても、多くの人に対して効果的に分かりやすく伝達するためには、人間が多くの労力と時間をかけなくてはならない。従来の可視化のための計算機アーキテクチャは、頂点計算、ポリゴン処理、光源計算、陰影処理等の計算を高速に処理をすることを得意としてきたが、効果的に情報を伝達するには充分でない。以上の観点から、本論文では、画像の意味論( semantics)を考慮した可視化のための計算機アーキテクチャ( Visual Computer Architectures)を提案している。理想的な可視化のための計算機アーキテクチャを設計するためには、まず効果的な可視化を行うためのモデルの意味、シナリオといった意味論を定義し、次に意味論に従って、データフォーマット、アルゴリズムといった形式論( syntax)を定義する必要があると考える。そして、効率的な可視化を実現するために定義した意味論と形式論が処理される。本論文の目的は、効率的に情報を伝達するための可視化のための計算機アーキテクチャの設計である。従来の可視化手順は形式論志向であり、形式論処理で伝達できる情報は制限される。効率的な情報を伝達するためには意味論を導入し、意味論を考慮した可視化処理を行う必要がある。この要求を満たすために、本論文では、効率的に情報を伝達するための可視化のための計算機アーキテクチャを示す。可視化のための計算機アーキテクチャは、その要素として、意味論と意味論に従った形式論を持つ。本論文では、画像を用いて効率的に情報が伝達できないという問題に対して、

最適な可視化のための計算機アーキテクチャを示すことによって、その問題を解決する。まず、効率的に情報を伝達するための、シナリオといった意味論を設計する。次に意味論に従ったデータ形式、アルゴリズムといった形式論を定義する。最後に意味論と形式論の処理を構築する。結果として、可視化のための計算機アーキテクチャが得られる。本論文では、意味論を考慮した計算機アーキテクチャをデザインレビューの分野と電子会議システムの分野において提案し、評価を行った。本論文は 4 章からなり、2 章ではデザインレビューにおける可視化のための計算機アーキテクチャを議論する。デザインレビューにおける可視化のための計算機アーキテクチャの設計は、複雑な三次元モデルのレビュー箇所を見つけるという意味論に従い、数百メガ byte にも及ぶ大きなデータの三次元モデルの対話的な操作を実現するデータ形式の定義と自動的に設計変更箇所を検出するアルゴリズムという形式論の実現により示す。3 章では電子会議における可視化のための計算機アーキテクチャを議論する。電子会議における可視化のための計算機アーキテクチャの設計は、電子会議に多くの人々が参加したとしても参加者が何をしているのか容易に把握するという意味論に従い、映画制作で培われた情報を効率的に伝達するためのカメラのスイッチングと編集の技術の知識を用いたインタフェースの制御法の提案という形式論の実現により示す。4 章では、結論として本論文をまとめる。

## 第 2 章 デザインレビューにおける可視化のための計算機アーキテクチャ

まず、デザインレビューにおける問題を取り上げた。デザインレビューとは、設計・企画段階に潜在する問題を、その組織内外の技術・情報を最大限に活用して、検出・予防する活動である。製造開発は、企画、設計、試作、製造という一連の工程をたどり、デザインレビューでは、次の工程段階に移行するのに問題がないかを検証する。どの工程段階で行われるかによって、重点とする検討項目に違いがあるため、各工程段階で異なった特徴をもつ。本論文では設計・開発段階のデザインレビューを取り上げる。設計・開発段階でのデザインレビューでは、設計者により提案された設計が、企画段階で出された要求事項を満足しているかを検討し、確認を行う。設計・開発段階における三次元モデルを用いた視覚的なデザインレビューは直感的で分かり易く、製造業に浸透しはじめている。その一方で、巨大なデータをインタラクティブに操作できない、複雑なモデルのどこをレビューしてよいか分からないといった問題も起きている。本論文では、対話的に三次元モデルを操作可能で、漏れのないレビューを実現するデザインレビュー・システムを提案している。デザインレビューにおける可視化のための計算機アーキテクチャ設計において、レビュー時間の短縮化のために巨大なデータを対話的に操作し、2 つの複雑な三次元モデルを比較し設計変更箇所の自動検出を行うというシナリオを考えた。このシナリオが意味論である。その意味論に従って、巨大なデータを高速表示するための三次元モデルのデータ形式を定義し、三次元モデルの背面となり表面に隠れた部分の描画を省略するための隠面消去というアルゴリズムを提案した。また、2 つの三次元モデルを比較し、設計変更箇所の自動検出するためのアルゴリズムを定めた。このデータ形式とアルゴリズムが形式論である。まず巨大な三次元モデルを対話的に操作するために、CAD データは対話的な操作には向いていないので、デザインレビューを行うファイル形式として米国シリコングラフィックス社が策定した CSB (Cosmo Software Binary) ファイルを採用した。そのデータ構造は、汎用性の高い VRML に準拠し、メモリイメージに近い構造のバイナリファイルであり、ディスクからメモリへの読み込みが高速である。しかしながら、既存の CSB ファイルでも十分な対話性が得られず、事前隠面消去処理情報を保持するノードを追加した。事前隠面消去処理は、CSB ファイル読み込み時、三次元モデルの部品に番号を付け、それぞれに 32bit の異なる色を割り付けた。三次元空間上の軸に対して x 直視, y 直視, z 直視, -x 直視, -y 直視, -z 直視から正投影し、描画された色が表面に出てい

る部品番号に対応することになる。モデルを回転する際、一番近い直視の隠面消去の情報を使って、表面に見える部品のみを描画し、高速描画を実現した。その結果、400MBのデータの描画フレームレートは、2フレーム/秒から15フレーム/秒に向上した。次に2つの三次元モデルの設計変更箇所を自動検出するために、データ構造（ノードの種類、ノードの名前、属性情報、部品の移動情報）と形状（シェイプ、バウンディングボックス、バウンディングスフィア、座標）を比較するアルゴリズムを考案した。検出された設計変更の状態は「全く新しい部品の追加」「以前あった部品の追加」「既存の部品の変更」の3つに分類した。それを一覧表にするとともに、設計変更が検出された部品に着色を施した。設計変更が行われた部品は常に見える位置にあるとは限らない。そのため該当部品をピンで刺したような表現方法で可視化し、三次元モデルの内部に設計変更部品がある場合にも分かるようにした。また一覧表の個々のリストをクリックすると、該当する部品がピンで指し示され、対応が確認できる。本論文で提案した可視化のための計算機アーキテクチャを用いることにより、従来のデザインレビューと比較し、レビュー時間の短縮化と製品の高い品質管理を両立した。現在、航空宇宙分野の設計/開発において、本設計思想に基づき実装されたシステムが利用されている。

### 第3章 電子会議における可視化のための計算機アーキテクチャ

第3章では三次元インタフェースを備えた電子会議システムにおける可視化のための計算機アーキテクチャの問題点を取り上げ、その解決策を提案している。遠隔リアルタイム電子会議システムのユーザインタフェースにおいて、会議の目的や進捗に合わせて、会議参加者の顔や表情などの表示を切り替えるための手法を考案し、その評価を行った。この手法は映画制作の撮影や編集で培われた知識を利用している。この手法により、会議の意味論を効率的に表示し、参加者は限られた画面上で会議の状況を容易に把握できた。近年、広帯域ネットワークの充実および計算機の高速化により、計算機に支援された遠隔リアルタイム電子会議システムが数多く利用されるようになり、地域的に離れた作業者間の協同作業に貢献している。このようなシステムのユーザインタフェースにおいて、個々の参加者の映像を映し出す機能を提供する画像インタフェースは、協同作業におけるアウェアネスの維持に貢献している。アウェアネスとは、コミュニケーションの際に相手がそこにいることに気付くこと、また協同作業をするために、相手に何をしているのか、注意を払っているのかを気付くことであり、協同作業を行うための重要な要素の1つである。画像インタフェースで十分なアウェアネスを得るためには、顔や表情を表現するために十分な広さが必要である。しかし、電子会議に参加している人数が増加した場合、それに合わせて画像インタフェースが占有する面積も増加する。さらに、システムでは画像インタフェース以外の個人作業のためにツールのインタフェースなども数多く利用しなければならない。よって、画面上において、画像インタフェースだけに多くの面積を割り当てることは困難である。そこで限られた画面内で、目的や場面に応じて、高いアウェアネスを維持できる画像インタフェースを提供するための方法論を映画制作の手法を応用して構築した。映画制作で培われた知識とは、映像の撮影と編集の手法であり、この方法によって、映像制作者の意図を、具体的な映像に系統的に変換することができる。特に次の規則がアウェアネスの維持に貢献すると思われる。場面に登場する話者の映像を基本的に表示する。話者の発話時間が長い場合、話者以外の参加者の映像を適宜挿入する。またこの挿入される参加者の映像は、次に発言したいと思っている参加者(発言希望者)や、前に発言した参加者(既発言者)が適切である。また、現在の発言内容と関連のある発言を行った既発言者は、優先的に挿入する。場面全体を概観することが可能な箇所からの映像も適時挿入する。このような規則に基づき、本論文では、次のような画像インタフェース表示の制御方法を提案した。発言希望者の待ち行列、および既発言者の順列を管理する。待ち

行列に従って、発言を行っている作業者を画像インタフェースに挿入する。既発言者、そしてもし可能なら発言希望者の発言内容が、現在の発言内容と関連があるか否かを管理する。現在の発言内容と関連のある発言希望者の顔映像を優先的に画像インタフェースに挿入する。司会などがいる会議では、司会が意図的に挿入する参加者の映像を制御してよい。これによって、現在の発言者に発言の中断や、次の発言者の指定を間接的に行うことが可能となる。現在の会議では、会議の種類や場面の違い、例えば、決定、伝達、ブレインストーミングで席の配置などが異なる方が便利な場合が多い。そこで、場面全体を概観する映像を作成する場合、現在の会議の進捗内容に合った席の配置の部屋を仮想的に設定し、その部屋の概観の映像を利用する。本論文で示した画像インタフェース制御法、特に発言権の遷移に着目した画面切り替えの機能の有効性を評価するために、提案した手法を取り入れたシステムと、常に参加者の映像を並べるだけのシステムとの比較実験を行った。その結果、本手法がアウェアネスの向上に有効であることが確認できた。

#### 第4章 結言

最適された可視化のための計算機アーキテクチャ構築のために、意味論と形式論の概念を提案した。はじめに、シナリオの意味論を定義し、次に意味論に基づいたデータ形式とアルゴリズムの形式論を定めた。これらの思想のもと、デザインレビューと電子会議における可視化のための計算機アーキテクチャを提案し、評価を行った。その結論、提案した意味論を考慮した可視化のための計算機アーキテクチャは、効率的に情報を伝達し、スムーズな画像を用いたコミュニケーションが実現されることを示した。柔軟なコミュニケーションを可能とするネットワーク社会において、提案した可視化のための計算機アーキテクチャは、知識の共有のために重要な役割を担うであろう。

## 論文審査の結果の要旨

画像は多くの場合、言葉を重ねるよりも優れた情報伝達能力をもつ。しかしながら、そのためには、その画像に情報が整理され意味を持った形で人間に提示される必要がある。ところが、現在使われている可視化システムの多くは、単なる形式的写実性の追求を主としていることから、可視化に向けて計算機による自動処理の後、効果的な提示を行うために人間が多くの労力と時間をかけなければならない。以上の観点から、本論文では、画像の意味論(semantics)を考慮した可視化のための計算機システムのアーキテクチャを提案している。さらに、そのアーキテクチャの効果的な適用対象としてデザインレビューと電子会議システムを取り上げ、それぞれのシステムでの実装と評価を行なっている。本論文は全編4章からなる。

第1章は緒論であり、背景について述べた後、可視化のための計算機アーキテクチャの必要条件について検討し、画像の意味論を考慮に入れる新しい可視化アーキテクチャを論じている。

第2章では、機械設計の3次元物体モデルを利用するデザインレビューシステムについて論じている。提案するアーキテクチャの基本思想によれば、このシステムでは、膨大なデータを対話的に操作することと、複雑なモデルの中から設計変更箇所を特定し、設計者にわかりやすい形で表示することが重要である。そこで、システムの実装に際して、対話的な操作のために、膨大な物体データを高速に表示するためのデータ形式を定義し、可視化手法に工夫を凝らしている。また、設計変更箇所の特定と表示のために、変更前後の3次元モデルの比較結果から、変更箇所の自動検出を行なうとともに、直感的な表示方法を実現している。このシステムは、宇宙機器製造に利用され、製造物の品質を飛躍的に向上させるという重大な成果を挙げている。

第3章では3次元インターフェイスを備えた遠隔電子会議システムについて論じている。提案アーキテクチャの基本思想によれば、遠隔地にいる会議参加者にその空間的距離を感じさせないために、現場の会議に参加しているかのような画像と音声を提供する必要がある。ところが、現実の表示装置には画面の大きさや解像度に制約があることから、単純な表示ではこの要求を満足できない。そこで、画像の意味論の観点から、会議の目的や進捗に合わせて、参加者の顔や表情などの表示を実時間に切り替える手法を考案している。この手法は映画制作で培われたフィルム言語という知識を利用している。評価実験から、この手法によれば、参加者が限られた画面情報から会議の状況を容易に把握できることが示されている。これは、限られた計算機資源を多人数で効果的に利用し、インターフェイスを工夫することで、効果的なコミュニケーションが実現できることを意味しており、実用上非常に有益な成果である。

第4章は、本論文を総括し、結論としている。

以上、要するに本論文は、画像の意味論を考慮した可視化のための計算機アーキテクチャを提案し、実用的なシステムにおいてその基本思想の正当性と実装されたシステムの有効性を示したものであり、情報基礎科学並びに計算機科学の発展に寄与するところが少なくない。よって、本論文は、博士(情報科学)の学位論文として合格と認める。