

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19500134
 研究課題名 (和文) 定性推論の枠組みによる時空間データの表現および推論に関する研究
 研究課題名 (英文) A study on representation and reasoning about temporal spatial data using the framework of qualitative reasoning
 研究代表者
 高橋 和子 (TAKAHASHI KAZUKO)
 関西学院大学・理工学部・教授
 研究者番号：30330400

研究成果の概要 (和文)：PLCA は、従来数値データとして定量的に扱われていた図形や画像などの空間データを、オブジェクトとそれらの間に成り立つ関係として記号で表現し、その上で推論を行う定性空間推論の枠組みである。本研究では、研究代表者たちがこれまでに提案した基本 PLCA 表現を、オブジェクトの形やオブジェクト同士の重ね合わせの情報を加えることでそれぞれ拡張し、扱える対象を拡大した。そして、それぞれの拡張表現について対応する図が存在するための条件を示した。さらに、拡張 PLCA 表現をマルチウィンドウの自動配置システムに応用し、定性空間推論の実用的応用の可能性を示した。

研究成果の概要 (英文)：PLCA is a framework for qualitative spatial reasoning that treats spatial data such as images or figures qualitatively, not quantitatively like numerical data. PLCA provides a symbolic representation for spatial data using the simple objects and their relationships, and reasoning on this representation. In this study, we extended PLCA by adding the information on shapes of objects or that on superposing patterns of objects, which gave more expressive power to PLCA. We show the condition on which the corresponding figure exists for a given extended PLCA expression. Moreover, we apply the extended PLCA expression with superposition to an automatic multiple window placement system, which showed a possibility of practical application of qualitative spatial reasoning.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：時空間推論, 人工知能, 定性推論, ソフトウェア学

1. 研究開始当初の背景

計算機の性能向上とネットワークインフラの発達によって年齢や経験を問わず多様なユーザが図形や画像データを扱う機会が増加している。画像データの処理には元来多くのメモリと処理時間が必要であり、特に動画は計算機やネットワークに大変な負荷をかけ、時にはネットワーク上での輻輳問題を引き起こす原因となる。さらに、カーナビや携帯電話などの移動体に搭載されたシステムで地図など画像データの適用される機会も増加している。移動体では一般にメモリや表示画面などには制限があり、実時間処理が要求されるとともに、時間的な変化をとともう環境下の推論が必要となる。したがって、図形や画像データをその時間的な変化とともに効率よく扱える仕組が切望される。

時空間に対するプロセスやイベントに自然な記述を与えることは地理情報システム(GIS)の設計・構築、空間情報データベースなどの基礎となるものである。この研究はクロスボーダ的要素が強く、計算機科学者ばかりでなく、地質学者、地理学者、認知科学者、建築家などさまざまな分野の研究者をひきつけている。このことは、Conference on Spatial Information Theory(COSIT)という国際会議が隔年で開かれ、多くの分野からの発表・意見交換が活発に行われていることや、英国で Engineering and Physical Sciences Research Council(ERSRC)による空間データの設計に関するクロスボーダ的なプロジェクトが行われていることからもはかり知ることができる。また、人工知能の分野では、Workshop on Spatial and Temporal Reasoning と題したワークショップがほぼ毎年開催されている。

一般に、図形や画像の表現方法は、画面を格子状に分割し各格子(画素)の集合として表現するラスタデータ、書かれているオブジェクトの位置を座標として表現するベクタデータ方式があり、描画ツールでは構成要素を位置、長さなどの属性をもつオブジェクトを構成要素としてそれらに対する操作を定義している。これらはいずれも図形や画像データを数値データとして格納し、データに対する操作はこれらの数値に対するものとして定義されているため、データ量や計算量が非常に多い。精密なものを要求すればこの傾向は顕著になる。ところが、詳細でクリアな画像の再現が目的でなければ精密なデータは必要でなく、目的によっては、描かれているオブジェクト同士のつながりやオブジェクト数さえわかれば十分であることも多い。

定性空間推論は画像や図形などの空間データを、座標を使った数値データではなく、ユーザの目的に必要な性質のみを取り出して記号表現で記述しようとするものである。定性空間推論の主たる研究は1980年代に始まった。代表的なもの1つRCC(Region Connection Calculus)では領域を空間を構成するオブジェクトの最小単位とし、領域同士の関係に着目して空間データの構造を表す計算である。RCCをベースとした定性空間推論の研究は英国のLeeds大学を中心に非常に多く行われている。これに対してEgenhoferらはデータベースへの応用を中心に領域だけでなく、線や点もオブジェクトとしてとらえ、それらの関係を行列を使って表す体系をつくり、その後、より複雑な関係も記述できるように拡張した。最近、これらをもとに空間と時間を組み合わせた表現や推論方法についての研究が多く報告されている。一方Galtonは認知的な立場からオブジェクト間の関係を記述する用語(terminology)についての研究を行っている。国内では東大の空間情報科学研究センターでGISの統合やWEB ontologyの確立を目標として主に空間データの表現方法に関する研究が行われている。このように、時空間データの表現に関しては多くの手法が研究されているものの、これまでに提案されている手法には、機械的な推論という観点を持ったものは少なく、拡張性、完全性、実装可能性という点で問題がある。以上のような現状を鑑みると、時空間データに対する効率のよい記述方法とともに、実用に耐える推論システムの構築は必要性も高く、計算機科学分野からのさらなる貢献が不可欠だといえる。

研究代表者は前科研費課題「空間データの定性的表現およびその推論に関する研究」において、多くの応用に適用できるような空間の表現方法として、点、線、閉路、範囲という簡単なオブジェクトを基礎とし、それらにいくつかの束縛条件を付加することで空間データを記号的に表現する方法PLCA表現(開発最初はDLCS表現と呼んでいた)を提案した。PLCA表現は、領域の接し方に着目することで、単純なRCCよりも推論力があり、簡単なオブジェクトを基礎とすることで、実装も容易である。研究代表者はこれまでに空間データからPLCA表現への変換、表現の等価性判定、2次元平面上での実現可能性判定のアルゴリズムを提案し実装した。また、PLCA表現に領域上で成り立つ性質を属性として付加し、その上で位置と領域上で成り

立つ性質をあわせた推論を行なうプロトタイプシステムを開発した。

2. 研究の目的

本研究では、従来数値データとして定量的に扱われていた図形や画像などの空間データおよびその時間的な変化を、記号表現により定性的に扱う新しいモデルを提案し、そのモデルに基づいた高速で高度な推論力を持つソフトウェアの実現を目指す。

理論面では、位相幾何学ほど抽象度が高くなく、逆に数値計算のように図形データを連続量で表現することもない、空間データの離散表現という興味深い研究分野を成立させることを目指し、応用面では、計算機やネットワークへの負荷が少なく高速処理可能なシステムの実現を目指す。さらに、このシステムでは目的にあった必要な情報を過不足なく反映することから、対応する表示が見た目にもわかりやすい。したがって将来的には画像認識やWEB ontology の研究とも連携させることによってより実用化に近づくと期待できる。

具体的には、以下の点を研究目標とする。

(1) 既存の理論との関係の明確化

座標系を用いずに空間データを表現する他の数学的枠組としてグラフ理論、位相幾何、代数幾何などがある。これらの理論における平面性や等価性の概念とPLCA 表現とを比較する。また、座標系を用いる枠組として、計算幾何学を取り上げ、記述力や計算量について比較し、PLCA の特徴を明確にする。

(2) 情報の付加による記述力・推論力の強化

PLCA 表現にサイズや形の情報を属性として加え、記述力・推論力を強化する。さらに、時間的に変化していく諸相を表すことができるように拡張し、変化に関する予測や推論を可能にする。また、逆に現状態から目標状態に至るためにオブジェクト間の位置関係が満たすべき条件を求めるような推論を可能にする。

(3) ユーザの目的や意図にあった図の表示

PLCA 表現に対応する図形は、オブジェクト同士の接し方は一意的だが、サイズ、形などの制約条件はない。見やすいだけでなく、ユーザの目的や意図によって、具体的なサイズ、形、座標などを決定し、その目的や意図を反映した図が表示できるようにする。

(4) 実用的問題への応用

詳細な位置情報を含む地図から目的に必要な情報のみを抽出した簡略地図の自動生成、土地の分割や配置問題における設計支援、空間データを含むセマンティックWEBやXML のタグの自動生成、ロボットナビゲーション、新材料設計や物質加工時における生成物の性質の予測や変化の過程のシミュレーションなどを中心にPLCAを実用的な問題への応用の可能性をさぐる。

3. 研究の方法

PLCA 表現をベースに以下の 6 点を中心に研究を行った。

(1) プロトタイプにおける問題点の洗い出し

既に開発済みのシステムは図からPLCA 表現への変換、PLCA 表現から対応する図の生成、PLCA に領域上で成り立つ性質を付加した表現上での推論システムなどから成るが、いずれも実用的な問題への応用を考えると、計算量的問題が残っている。そのため、グラフの平面への埋め込みや描画および等価性判定、多角形の領域分割、領域への多角形詰め込みなどに対する既存のアルゴリズムを調査しこれらのPLCA への適用を検討し、問題点の洗い出しやアルゴリズムの改良を行う。

(2) 既存の理論との関係の考察

関係の深い既存の理論として、グラフ理論、位相幾何、代数幾何、計算幾何などについて調査し、等価性や平面性などの関係を中心にPLCA の意味論を与える。また、これらの理論における概念やそこで証明されている性質や既存のアルゴリズムのPLCA への適用可能性について検討する。

(3) 属性情報の付加と表示部の検討および実装

1 つのPLCA 表現に対して2次元平面上の対応する図を複数描くことができる。既に開発済みのシステムの表示する図は画面上の配置やユーザの見やすさについては考慮していなかった。そこで、サイズや形などの情報をオブジェクトの属性として付加し、それを反映した図を描くアルゴリズムを設計して実装する。

また、形を定性的に扱うため図形のもつ凹凸情報に着目し、それを属性としてもつ拡張版PLCA の枠組みを作成する。

(4) PLCA 表現の性質の研究

PLCA 表現について厳密な意味論を与え、意味論をもとにこれまでに与えた等価性の判定や平面性の判定アルゴリズムなどの健全性と完全性を示す。また、表現に対する領域分割や領域統合などの操作の正当性を示す。

(5) 時空間推論への拡張

PLCA 表現を空間データの時間的な変化も表すことができるように拡張し、また、現状態から目標状態に至るためにオブジェクト間の位置関係が満たすべき条件を求める推論方法を考案する。定式化にあたっては時相論理を使用する。

(6) 実用的問題への応用

実用的問題への応用としてはデータベースからの簡略地図の自動生成システム、避難誘導システム、マルチウィンドウの自動配置システムなどについて検討する。マルチウィンドウの自動配置システムについてはアルゴリズムを構築して実験システムを作成する。

実験システムの実装は主として JAVA 言語を使用し、推論部分に一部論理型言語である Prolog を使用する。計算機は主として研究室の PC を使って行い、必要に応じて高機能 WS を使用する。プログラミング補助として研究代表者の指導下にある修士学生2名の支援を受ける。

4. 研究成果

研究成果は以下の通りである。

(1) システムの拡張

PLCA 表現に基づく既存のシステムを以下の3点に関してそれぞれ拡張した。

① 凹凸情報と接触パターンに基づく表現と推論

定性的に領域の凹凸を表現できるような表現を提案した。この表現では PLCA の4つの基本要素に凸包の情報を加えて階層的に表現することで図形の凹凸形状をある程度細かく表現できる。2次元上の図からこの表現形式を得るためのアルゴリズムを提案し、2次元上で実現可能な図と対応する表現の満たす性質を発見して証明した。単一オブジェクトの形状を記号的に表現する手法はこれまでに提案されているが、複数のオブジェクトが接している形状について扱ったのは本研究が初めてである。本システムでは複数のオブジェクトの接している形状を表現できるため、凹凸のあるいくつかのオブジェクトを接合する際の判定を記号表現上ですることができる。これによって粗い粒度でオブジェクトの形を定性的に表現・推論する枠組みを提供することができた。

② 矩形に基づくシステム

矩形を対象とした定性空間推論の枠組みを提案した。そこに重ね合わせの概念を加えた表現形式および推論機構をもつ推論システムを構築し、表現の妥当性を証明した。矩形は線と領域およびそれらの位置関係で表現できるが、本システムでは矩形をやはり矩形である部分領域から成るものとし、部分領域に表示・非表示の属性を付加する。これらの矩形が描かれた平面が並行におかれる空間を準3次元空間として定義し、この空間上で表示・非表示の属性が見たされるような重ね合わせが可能かどうかを推論する。これらの属性を満たすような最適配置を求めるアルゴリズムを提案し、実験システムとして実装した。ここでは対象とする図形を矩形に限定することによって、表現の単純性を維持しつつ扱える情報量を増やすことで、実世界で応用可能な枠組みを提供することができた。

③ 時間的な変化を扱えるようなシステムの検討

PLCA で表現された空間データについて、それらの時間的な変化も表すことができるように拡張し、時空間推論が行なえるようなシステムについて検討した。また、ネットワーク上で環境の変化を扱う諸問題とのかかわりについても検討した。その結果、位置関係や形状の変化だけではよい応用例がなく、相対的な大きさや方向など他の定性も同時に取り入れるかまたは属性を増やす必要があることがわかった。

(2) 理論的考察と PLCA の位置づけ

基本 PLCA 表現および凹凸情報を加えた拡張 PLCA 表現それぞれについて2次元平面上の図形データが存在するための条件を求め、条件を満たす表現と図形の対応性を証明した。これによって PLCA の妥当性を示した。さらに、矩形に基づくシステムについては与えられた表現に対応する図形が準3次元空間上に存在するための条件を求め、存在する場合に重ね合わせ方を推論するアルゴリズムの正当性を示した。また、グラフ理論や計算幾何学などの理論と PLCA の関係について検討し PLCA の位置づけを行った。国際学会では計算機科学ばかりでなく認知科学、心理学などの分野の研究者とも意見交換し、今後異分野の意見をどのようにとりいれていくかについての見通しを得た。

(3) 実用的問題への応用

① 基本 PLCA の表示インタフェース生成

与えられた PLCA から対応する図を2次元平面上に作成する既存の描画システムの改良を行なった。既存のシステムではオブジェクトの配置に多角形の分割アルゴリズムを使用していたが、そこに遺伝アルゴリズムを適用することで「見やすい図」が描けるようにした。実験結果はオブジェクトの大きさや配置などのデータおよび被験者の意見の両面から評価し「見やすい図」を描くことに成功した。

② マルチウィンドウ自動配置システムの生成

矩形に基づく定性空間推論システムに基づいてマルチウィンドウ環境におけるウィンドウの自動配置への応用システムを設計した。表示・非表示の属性が付加された矩形表現からマルチウィンドウの配置を決定するアルゴリズムを構築し、Prolog および Java を使って実装した。また、実用化に向け Windows API を使ってインタフェース部分のプロトタイプを作成し、事前評価を行って必要な機能を洗い出した。

③ データベースからの簡略地図の自動生成システム

詳細な位置情報を含む地図から目的に必要な情報のみを抽出した簡略地図の自動生成やそれらを合成する実験システムを生成し、簡略地図への応用に必要な機能について検討した。

定性空間推論の分野ではこれまでに実用的応用システムがほとんど示されていないことから、以上の応用については国際学会でも高い評価を得た。また、今回作成したいくつかのシステムを改良することでさらに実用的なシステム開発への足がかりとなることが期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

1. Akihiro FUJIHARA, Yusuke IDE, N. KONNO, N. MASUDA, Hiroyoshi MIWA, and Masato UCHIDA, "Limit Theorems for the Average Distance and the Degree Distribution of the Threshold Network Model," *Journal of Interdisciplinary Information Sciences*, 査読有, No.15, 2009, pp.361-366.
2. Kazuko TAKAHASHI and Shou KUMOKAWA, "On Embedding a Qualitative Representation in a Two-Dimensional Plane," *Spatial Cognition and Computation*, 査読有, Vol.8, 2008, pp.4-26.
3. Kazuko TAKAHASHI, Takao SUMITOMO and Izumi TAKEUTI, "The Qualitative Treatment of Spatial Data," *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 査読有, Vol.16, 2007, pp.661-682.

[学会発表] (計 18 件)

1. Kazuko TAKAHASHI, "Rectangle reasoning: A Qualitative Spatial Reasoning with Superposition," 23rd International Florida on Artificial Intelligence Society Conference (FLAIRS2010), May 19, 2009, Daytona Beach, U. S. A.
2. 雲川 翔, "矩形領域に基づく定性空間推論の提案と実装," 情報処理学会第 72 回プログラミング研究会発表資料, January 26, 2009, Nagoya, Japan.
3. Akira NOGUCHI, "Traffic Engineering by Polynomially Solvable Link Metric Optimization, Proc. International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS2009), November 5, 2009, Barcelona, Spain.

4. 雲川 翔, "可視情報付き領域を基礎とする定性空間推論の提案とその応用," 日本ソフトウェア科学会第 25 回大会, September 12, 2008, Tokyo, Japan.

5. Shou KUMOKAWA, "Qualitative Spatial Representation Based on Connection Patterns and Convexity," AAAI08 Workshop on Spatial and Temporal Reasoning, July 13, 2008, Chicago, USA.

6. 雲川 翔, "凹凸情報と接触パターンに基づく定性空間表現," 情報処理学会第 67 回プログラミング研究会, January 25, 2008, Sendai, Japan.

7. Kazuko TAKAHASHI, "Drawing a Figure in a Two-Dimensional Plane for a Qualitative Representation," Conference on Spatial Information Theory (COSIT'07), September 22, 2007, Melbourne, Australia.

8. Yusuke KUREBE, "Weighted Module Placement Based on Rectangle Packing," The 7th Metaheuristics International Conference (MIC 2007), June 26, 2007, Montreal, Canada.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 和子 (TAKAHASHI KAZUKO)

関西学院大学・理工学部・教授

研究者番号: 30330400

(2) 研究分担者

已波 弘佳 (MIWA HIROYOSHI)

関西学院大学・理工学部・准教授

研究者番号: 40351738