

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500126

研究課題名(和文) 多次元マルチメディアデータの内容に基づく高速近似検索技法とその応用に関する研究

研究課題名(英文) Study on Contents Based Fast Similarity Search of High-Dimensional Multimedia Data and Its Application

研究代表者

篠原 武 (Shinohara, Takeshi)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授

研究者番号：60154225

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円、(間接経費) 1,080,000円

研究成果の概要(和文)：多次元マルチメディアデータの高速近似検索のための索引技法について、空間索引構造および次元縮小法、検索処理アルゴリズムの観点からさまざまな改良を目指して研究を行った。空間索引構造については、代表的なR-treeとM-treeの両者の特徴を備えたMR-Treeを提案し、その有効性を確認した。次元縮小法としては、任意の距離空間に適用可能なSimple Mapについて、より効果的な射影を与える射影軸探索法を考案し、その性能を確認した。また、大量の質問を一括して処理することにより、I/Oコストを削減する検索処理方法を確立した。

研究成果の概要(英文)：As for indexing technique for fast similarity search of high-dimensional multimedia data, spatial index structures, dimension reduction methods, retrieval processing algorithms are investigated. We propose a spatial index structure named MR-tree with both features of traditional representing structures R-tree and M-tree. We also present a pivot selection method for Simple Map, which is a dimension reduction mapping applicable to any metric space. To process a large number of query series, we can use a new batch method to minimize I/O cost.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学

キーワード：マルチメディアデータ 類似検索 空間索引 次元縮小

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究を開始するまでは、複数の事例に共通するパターンを発見する手法に注目していた。逆に、一つの事例に類似する経験事例を検索することも、さまざまな推論の基礎となるものである。従来は、検索のキーに対して完全一致するものを検索することが主流であったが、キーと類似するものを検索する場合には、キーそのものをパターンとみなしていると考えられる。こうした類似事例の検索がとくに重要となるのはデータの次元が高次元であり、しかもデータが大量に存在する場合である。

(2) 一方、多次元データのための索引技法はさまざまに考案されていた。索引を効率化するためには、みかけの次元を減らすことにより、いわゆる「次元の呪い」を緩和することが必要である。そうした次元縮小法としては、主成分分析法が有名であるが、そうした技法のほとんどは非ユークリッド空間には適用できないものであった。非ユークリッド距離にも適用可能な次元縮小法としては、代表者らによる Hyper-Map や Simple-Map が開発されていた。

(3) 代表者らは、空間索引を適用するための大規模の多次元データベースとして、動画データから取り出した 1000 万枚を超える画像データベースや音楽データから取り出した 2000 万件の音フレームデータベースを準備して、動画同定や楽曲判定などの応用実験を行っていた。その結果、次元縮小法に Simple-Map、空間索引に R-tree を用いることにより、非ユークリッド空間の大量データに対してもある程度効率的な近似検索が実現できることがわかった。しかし、与えられた事例に近似するものがデータベース中に存在しない場合には、その検索効率が悪化するという問題があった。

## 2. 研究の目的

(1) 近年、大量の計算機可読マルチメディアデータが蓄積されるようになった。これらを有効活用するためには、情報検索が重要であるが、これまでの情報検索は、キーワードを用いたテキスト検索によるものがほとんどであり、画像や音声などのマルチメディアデータの検索であっても、それらを記述する名称や作者、説明文などの 2 次情報を介したテキスト検索が多く用いられている。キーワードを用いないマルチメディアデータの内容そのものによる検索は、ごく一部で実用化され始めたばかりである。本研究では、大量のマルチメディアデータをその内容により高速に検索するための索引技法を確立するとともに、その応用可能性を探ることを目的とする。

(2) マルチメディアデータの内容に基づく検索においては、データが本質的に高次元であるため、ある程度の不一致を許容する近似検

索が必然となる。本研究では、データ間の距離を近似性尺度とする近似検索を対象とする。ここでいう距離は、通常のユークリッド距離に限らず、三角不等式を満たす任意の距離を対象とする。そうした非ユークリッド距離としては、マンハッタン距離（ユークリッド距離は、各座標の距離の 2 乗総和の平方根であるのに対し、マンハッタン距離は、各座標の距離の総和である。L<sub>1</sub> 距離とも呼ばれる）や文字列間の編集距離（ある文字列を別の文字列に変換するための編集操作の最小ステップ数）などがある。多くのマルチメディアデータではむしろ非ユークリッド距離のほうが自然であることが多い。

(3) 高次元データの情報処理技術の基礎として、パターン認識などの研究成果を用いることができる。ただし、従来の研究方向は、大量データの処理を避けるための手法に主眼が置かれており、これは、マルチメディアデータが本質的に高次元のデータであるため、いわゆる「次元の呪い」を避けることが困難であることに起因している。次元の呪いを解消するための伝統的手法に、主成分分析法による次元縮小があるが、これはデータ間の類似性尺度にユークリッド距離を仮定しているため、汎用性に欠ける。また、大量データを少数データに代表させるための手法に、ベクトル量子化などの方法があるが、量子化誤差による情報欠損の問題が生じる。本研究では、応募者が考案した SimpleMap 法のように、任意の距離に適用できる次元縮小法を基本とする。

(4) 大量データから高速検索を行う技法としては、2 分探索を発展させた木構造 B-Tree に基づくものが主流であるが、データは 1 次元の順序付けが可能でなければならない。高次元データの高速近似検索はそれほど容易ではなく、たとえば、B-Tree を多次元データ用に拡張した R-Tree を用いた場合でもその守備範囲は 10 次元程度までといわれており、次元が高くなると性能が劣化する。このために、データを次元縮小するなどの方法をとる必要がある。

(5) 本研究では、大量の高次元マルチメディアデータを高速に近似検索することを目指し、そのための索引構造および次元縮小法の開発を行い、画像や音声などに対する有効性を示す。索引技法としては、空間索引構造 R-Tree および応募者の考案した次元縮小法 SimpleMap を基本とする。R-tree は、代表的かつ標準的な空間索引構造であるが、これを非ユークリッド距離データへ対応でき、動的構築法が行えるように改良し、さらに効率化を図る。また、SimpleMap は、非ユークリッド距離データを取り扱うことができるという特徴をもつが、射影軸の選択法や文字列データやゲーム盤面データへの適用など

についてさらに改良を加え、より効果的なものとする。さらに、音声認識や音楽データ検索、動画同定、バイナリプログラム照合、ゲーム局面検索など、さまざまなデータへの適用実験を行う。また、ごく最近になって新しい検索法として、スケッチ（近似性のある程度保持する一種のハッシング）を用いる方法が注目されているので、これをさらに発展させて、R-Tree による手法と融合を目指す。本研究の成果は、情報検索への貢献だけでなく、新しい形のパターン認識手法などの創出の可能性も示せるものと期待できる。

### 3. 研究の方法

(1) データベースとしては、画像や音、プログラム断片、将棋盤面などのさまざまな種類の大量データを用いる。これらのデータにおいては、非ユークリッド距離が用いられているので、これらを効率よく検索するための技法を開発する。その有効性を示すための応用実験を行う。

(2) 大量の高次元マルチメディアデータを高速に近似検索することを目指し、そのための索引構造および次元縮小法の開発を行い、画像や音声などに対する有効性を示す。索引構造は、R-Tree を基本として、その構築法の見直しを行う。次元縮小法は、SimpleMap を基本として、これをさまざまなデータに適用できるように拡張するとともにより効果的な射影を求める手法を確立する。マルチメディアデータとしては、静止画や動画、音データ、将棋盤面データ、プログラム断片などを対象とし、それらを索引付けして高速近似検索を実現し、その効果を実証する。

(3) まず、これまでの研究の結果を整理し、次元縮小法および R-Tree 構築法の見直しを行うとともに、画像や音声などのデータを索引付けしてその効果を実証する。具体的には、以下の項目を中心に研究を行う。

#### 空間索引技法に関する研究

( ) 次元縮小法 SimpleMap の改良  
射影軸の選択方法について、これまでのランダムサンプリングによるものを基本として、より情報欠損が少ない高能率な射影軸を求めるアルゴリズムを開発する。

( ) R-Tree 構築法  
空間を階層的に分割して索引付けを行う場合、その分割手法が重要である。ヒルベルト空間補填曲線による順序付けが最適であることが知られている。その順序に沿ったソートを高速に行うアルゴリズムを開発する。

( ) 局所次元縮小射影の導入  
次元縮小は全データに対して最適なものを選択するのが通常であるが、R-Tree により階層的に分割された部分空間に対して局所的

なデータの偏りが生じる可能性がある。この局所的なデータの偏りを反映した射影次元を追加することにより検索の高速化を行う。

#### マルチメディアデータの近似検索に関する研究

( ) 以下のような具体的データに対する応用実験を行う。いずれの場合においても、データベースが巨大となる場合にも高速に検索できることが重要であるので、本研究で開発する手法がいかに効率的であるかが鍵となる。これらの実験を通じて、本研究で開発する手法の有効性を実証するとともに、さらなる改良点の洗い出しを行う。

#### ( ) 動画同定システムの実現

動画は連続する静止画フレームから構成される。個々のフレームに動画ラベルを付して索引付けするようにする。動画同定システムでは、まず、大量の動画をデータベースに登録しておき、質問として与えられた動画がデータベースに登録されている動画のいずれであるかあるいはいかなる動画でもないかを同定する。動画同定システムは、たとえば、動画サイトなどに違法にアップされた著作権侵害の検出やテレビ CM の放映監視などに応用することが可能である。

#### ( ) 楽曲検索システム

約 2000 曲を音楽 CD から取り出し、その周波数特性などを特徴として検索を行う。類似な曲をさがすというよりは、部分的な音データからもとの曲を判別するというようなものとなる。ただし、検索時にはラジオやテレビ放送、テープ録音などの劣化した音源による検索が可能となることを目指すと同時に、複数の楽曲をいろいろな割合で混合した合成曲から原曲を判別する実験も行う。

### 4. 研究成果

(1) 空間索引については、階層的つまり木構造を基本とし、その代表である R-Tree を基本として研究を行った。R-Tree 以外で最も効果的であるといわれているものに M-Tree が知られている。R-Tree を基本とし、一部に M-Tree の技法を取り入れた MR-Tree を考案し、その有効性を確認した。MR-Tree は、とくに、次元の呪いを緩和するための次元縮小法として、Simple-Map と組み合わせることで高性能を発揮する。Simple-Map は、本研究の先行研究で考案されたもので、任意の距離空間に適用可能であるという特徴をもち、L 距離空間に射影する。

(2) 空間索引を高速化する技法としては、データベース内の近接データ間の距離情報を用いる方法や連続する質問間の類似性を用いる方法、複数の質問処理を一括して行う方法などを考案し、画像データと音データに対してそれらの有効性を確認した。

(3) 高速な空間索引の応用例としては、著作権侵害の動画アップロード検出への応用を目指した動画同定システム、複数曲の混合からの原曲判別など、さまざまな場面に適用し、その有効性を確認した。

(4) また、新たな空間索引法として、縮小型構造データ Sketch について、これを非ユークリッド距離に適用できるように改良する研究にも着手し、その方向の妥当性を確認した。

(5) 次元縮小法 Simple-Map については、射影軸を求める解析的手法が知られておらず、発見的手法を用いている。従来の手法では、データベース内オブジェクトをそのまま候補として用いているが、それらを空間内の最大値あるいは最小値になるように離散化して用いることにより高性能な射影を見つげることができることが分かった。

#### 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)

[学会発表](計 13 件)

児玉晋, 篠原武: Hilbert R-tree を用いた一括検索処理の高速化のためのノード訪問順に関する研究, 人工知能学会第 93 回人工知能基本問題研究会(SIG-FPAI), 7-pages, 査読無, 2014 年 3 月 7 日~8 日, 宮古島マリンターミナル小会議室

那須洋平, 児玉晋, 篠原武: 階層的空間索引 R-tree におけるノード訪問順制御による検索高速化に関する研究, 火の国情報シンポジウム 2014, 6-pages, 査読無, 2014 年 3 月 4 日~5 日, 大分大学

安藤友佳, 那須洋平, 篠原武: 階層的空間索引 R-tree を用いた SIFT 特徴量による画像検索, 第 66 回電気関係学会九州支部連合大会, 2-pages, 査読無, 2013 年 9 月 24 日~25 日, 熊本大学

児玉晋, 那須洋平, 篠原武: Hilbert R-tree を用いた一括検索処理の距離計算回数限定による高速化, 第 66 回電気関係学会九州支部連合大会, 2-pages, 査読無, 2013 年 9 月 24 日~25 日, 熊本大学  
村上義明, 岸川直樹, 安藤友佳, 篠原武: 階層的空間索引を用いた検索高速化のための局所次元縮小射影に関する研究, 火の国情報シンポジウム 2013, 6-pages, 査読無, 2013 年 3 月 14 日~15 日, 熊本大学

岸川直樹, 村上義明, 児玉晋, 安藤悠佳, 篠原武: Hilbert R-tree を用いた一括検索処理の高速化に関する研究, 火の国情報シンポジウム 2013, 8-pages, 査読無, 2013 年 3 月 14 日~15 日, 熊本大学

那須洋平, 岸川直樹, 村上義明, 篠原武: Hilbert R-tree における隣接要素間の距離を用いた検索高速化に関する研究, 火の国情報シンポジウム 2013, 6-pages, 査読無, 2013 年 3 月 14 日~15 日, 熊本大学

村上義明, 岸川直樹, 川口尚志, 篠原武: 空間索引構造 MR-tree を用いた多次元データの近似検索に関する研究, 第 65 回電気関係学会九州支部連合大会, 2-pages, 査読無, 2012 年 9 月 24 日~25 日, 長崎大学

児玉晋, 篠原武: 階層的空間索引構造 R-tree を用いた Sketch 検索の高速化に関する研究, 第 65 回電気関係学会九州支部連合大会, 2-pages, 査読無, 2012 年 9 月 24 日~25 日, 長崎大学

岸川直樹, 村上義明, 篠原武: 空間索引構造を用いた一括検索処理の高速化に関する研究, 第 65 回電気関係学会九州支部連合大会, 2-pages, 査読無, 2012 年 9 月 24 日~25 日, 長崎大学

大野真吾, 岸川直樹, 村上義明, 川口尚志, 篠原武: 多次元データベースの近似検索のための量子化次元縮小射影に関する研究, 火の国情報シンポジウム 2012, 8-pages, 2012 年 3 月 15 日~16 日, 九州工業大学

岸川直樹, 村上義明, 川口尚志, 篠原武: 多次元データの近似検索における空間索引構造 MR-tree の検証, 第 64 回電気関係学会九州支部連合大会, 2-pages, 査読無, 2011 年 9 月 26 日~27 日, 佐賀大学

大野真吾, 篠原武: 量子化した次元縮小射影を用いた空間検索に関する研究, 第 64 回電気関係学会九州支部連合大会, 2-pages, 査読無, 2011 年 9 月 26 日~27 日, 佐賀大学

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

篠原 武 (SHINOHARA TAKESHI)  
九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授  
研究者番号: 60154225

##### (2) 研究分担者

なし

##### (3) 連携研究者

なし