

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月31日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22300035

研究課題名（和文） 位置情報付き画像の分散エージェント管理による内容ベース画像検索とその応用

研究課題名（英文） Content-based Image Retrieval on Distributed Agent Management of Image with Location Information

研究代表者

鎌原 淳三（KAMAHARA JUNZO）

神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授

研究者番号：60283917

研究成果の概要（和文）：本研究課題はインターネット上に存在する位置情報付きの画像に関する情報を、位置に応じて分散エージェント上で管理するシステムの設計と開発を行った。各エージェントは管理している画像の特徴量を計算し、画像類似度と位置を用いて画像クラスタリングを行う。そして、①画像による検索要求に対して類似する画像クラスタを求め②その画像クラスタ中から要求された画像に類似した画像を結果として返す処理を分散環境において行う。

研究成果の概要（英文）：On this research, we have designed and developed the system of managing the distributed agents as location dependent images existed on the Internet. Each agent calculates image features of managed image and manage image clusters depend on the embedded location and the similarity between images. On image retrieval task, the agent do: 1) calculates corresponding cluster for the requested image, 2) returns similar images from the cluster of results in distributed manner.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2010年度 | 4,900,000 | 1,470,000 | 6,370,000 |
| 2011年度 | 4,300,000 | 1,290,000 | 5,590,000 |
| 2012年度 | 3,500,000 | 1,050,000 | 4,550,000 |
| 総計 | 12,700,000 | 3,810,000 | 16,510,000 |

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、メディア情報学・データベース

キーワード：内容ベース画像検索（CBIR）

1. 研究開始当初の背景

現実の物を撮影した写真画像を実世界画像（real world image）と呼ぶ。内容ベース画像検索（CBIR）の分野において、実世界画像を対象とした検索は難易度が高く実用レベルに至っていない。特にインターネット上にある億単位の膨大な画像の中から「撮影対象」が同じ画像を検索することは非常に困難な課題であり、大規模なシステムも必要になるためコストがかかる。この問題を解決する有望なアプローチとして、画像群を効率よく処理するために並列化した画像検索アルゴリ

ズムを使うアプローチ[1]と、画像の内容だけでなく撮影位置間の距離も近い類似画像集合を作ること（画像クラスタリング）により検索対象を縮減するアプローチ[2-4]がある。しかし、前者は画像処理のみを並列化したものはあるものの、類似画像検索を対象とした並列化のアプローチを実際の大規模データに対して実装したものはない。また後者は、GPSの位置情報が付与された画像が近年増加しているためクラスタリングの精度が高まり、検索対象の縮減と同時に位置情報の利用による検索精度の向上も期待されてい

るが、位置を使った効果はいまだ実証されていない。

この2つのアプローチを組み合わせた研究はこれまで例がないが、それぞれのアプローチは問題領域を分割する点で共通しており、このアプローチを効果的に組み合わせることによって得られる、CBIRにおける新しい問題解決の枠組みを生み出すことが必要である。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、インターネット上の膨大な位置情報付き画像のCBIRを行うために、並列化アプローチと位置情報を用いたクラスタリングアプローチの組み合わせを分散エージェントにより効果的に実現することである。また実際に稼動する応用システムによりその性能を評価する。

並列化アプローチは、まず検索の対象とする画像の集合をある基準で分割し、分割された集合ごとに並列に画像の特徴量を計算する。画像の特徴量は、画像の色や物体の形状、テクスチャ、特徴点の集合などによって表される。このデータの類似を類似度と呼び、検索に用いる。特徴量の計算は、一般に画像の大きさや複雑さに比例して時間がかかるため、これを並列で行うことで効率化が図れる。だが効果的な並列化には負荷の均等な配分が求められるが、そのためにどのように各集合の画像を分割するべきか明らかになっていない。

一方クラスタリングアプローチも検索に特徴量を使うが、検索前に特徴量の計算に加えて類似画像の集合を作ること(画像クラスタリング)で検索の効率化を図る。画像クラスタリングは2つの画像間の類似度と撮影位置間の距離を全ての画像の組み合わせについて求めるため計算にかなり時間を要する。

この2つのアプローチの組み合わせはこれまで存在しなかったが、地理的位置を扱える分散エージェントを用いた枠組みにより、時間のかかる特徴量と画像クラスタリングの計算を並列に行うとともに、画像クラスタを用いて効率的に類似画像を検索する手法を確立する。さらに研究代表者が明らかにした画像位置と類似度の関係を用いて画像クラスタリングの性能を高める。そして並列化アプローチとクラスタリングアプローチの組み合わせを分散エージェントで実現することで画像の処理と検索の効率がどの程度向上するか効果を明らかにする。

インターネット上に存在する位置情報付きの画像に関する情報は、位置に応じて分散エージェント上で管理する。分散エージェントは、ネットワークのノード上に分散して存在するプログラムで、エージェント同士が協調して並列に動作する。各エージェントは管理

している画像の特徴量を計算し、画像類似度と位置を用いて画像クラスタリングを行う。そして、①画像による検索要求に対して類似する画像クラスタを求め、②その画像クラスタ中から要求された画像に類似した画像を結果として返す。これにより同一対象を撮影したと推定される画像が検索できる。

3. 研究の方法

並列化チームとクラスタリングチームに分けて、それぞれのアプローチの手法について研究開発を行う。各チームの中で検討を行うが、両者に関わる部分について定期的に打合せを行うことにより調整を行う。平成23年度以降は、チームを合同して全員で分散エージェントの設計を行う。これにより2つのアプローチの効果的な組み合わせを行う。設計ができると、各人が分担して、必要なエージェントとその中のモジュールの実装を行う。実装後、エージェント本体とモジュールの結合を行って応用システムの運用を開始する。この応用システムを公開して一般の利用者から実運用データを収集する。この実運用データにより、システムが正しく類似画像を検索できているか評価を行う。この評価は全員で行い、各人の担当部分について国際会議、論文等で成果を公表していく。

4. 研究成果

(1) 大規模な類似画像検索を並列化するにあたって分散エージェントを用いてインターネット上の画像を管理、検索する手法、およびクラスタリングアプローチにより「対象が同じ」画像を効率よく検索するための手法について検討を行った。地理空間をメッシュ状の領域に分割して、その領域をエージェントに管理させると、一般に撮影される写真は観光地など一部の場所に偏ることから、CoPhIRという世界最大規模の写真画像データセットから位置情報付き画像のみを取り出し、その地理的分布についてクラスタリングする実験を行った。その結果、写真の分布は都市部への偏りが大きいことが分かった。この結果を用いて今後、画像処理負荷が一部のエージェントに偏らない方法としてボロノイ領域を用いた分割を行う手法を検討した。ボロノイ領域は領域内の点は他の母点と比べて領域内の母点をもっとも近い点となる領域であり、この母点をクラスタの母点とする領域をクラスタとして、領域内の画像をエージェントとして管理することとした。

(2) 分散エージェントおよびプロトコル設計については、エージェントによる画像処理に関する開発を行っており、検索アルゴリズムについて検討を行った。設計においては、

位置情報付き画像を1枚ごとに1エージェントで管理することにより並列度を高めることとし、クラスタリングをどのようなタイミングで行うかについて検討したが、負荷分散と検索性能のバランスの問題があり、これについては引き続き検討が必要である。また、クラスタリングと画像類似度の関係について約二十万枚の画像を用いた実験を行い、位置情報を用いることで検索の性能を向上させることができることを確認した。

(3) アルゴリズムを確認するため、プロトタイプの実装を行った。実装にあたっては大阪大学で開発されたエージェントベースのP2PプラットフォームPIAXを用いて、画像の特徴量計算と類似距離計算を行う機能を有したエージェントを作成し、実際に画像を検索する実験を行った。これにより、P2P分散エージェントによる基本的な類似画像検索の機能の実現を確認した。

(4) さらに分散検索エージェントをP2PプラットフォームPIAXを利用して実装を行い、検索を行うシステムの枠組みを構築し、動作検証を行う実験を行った。地理的クラスタリングのためのボロノイ領域を用いたアルゴリズムの提案を行い、それらの成果について国際会議において発表を行った。画像データについては、海外で制作されたデータセットをベースに収集を行ったが、評価のための正解データがないため、提案手法の評価にはそれらの正解データが必要となる。

(5) 分散エージェント環境上で、位置情報付き画像をエージェントとして管理するシステムを実装することによって、内容ベースの分散並列画像検索環境を構築し、効率よく処理を行えることを確認した。

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)

[雑誌論文] (計10件)

- ① 川上朋也、寺西裕一、春本要、下條真司、センサデータの意味的解釈に基づく分散センサ情報管理システム、情報処理学会論文誌、査読有、Vol. 54, No. 2, 2013, 730-739
- ② 石芳正、寺西裕一、吉田幹、竹内亨、下條真司、Range-key Skip Graphによる範囲検索可能な大規模分散キーバリューストアの実現、情報処理学会論文誌、査読有、Vol. 53, No. 7, 2012, 1850-1862
- ③ 花田研太、平山勝敏、過制約な一般化相互割当問題に対する分散ラグランジュ緩和プロトコル、情報処理学会論文誌、査読有、Vol. 53, No. 11, 2012, 2370-2378
- ④ 上田俊、岩崎敦、横尾真、Marius C. Silaghi、平山勝敏、松井俊浩、分散制約最適化問題に基づく提携構造形成問題、人工知能学会論文誌、査読有、Vol. 26, No. 1, 2011, 179-189
- ⑤ 馬場里美、岩崎敦、横尾真、Marius C. Silaghi、平山勝敏、松井俊浩、敵対者に対応する協調問題解決：限量記号付き分散制約充足問題、人工知能学会論文誌、査読有、Vol. 26, No. 1, 2011, 136-146
- ⑥ 平山勝敏、松井俊浩、横尾真、分散ラグランジュ緩和プロトコルにおける適応的な価格更新、人工知能学会論文誌、査読有、Vol. 26, No. 1, 2011, 59-67
- ⑦ 四之宮潤、寺西裕一、春本要、竹内亨、西尾章治郎、階層化ドローンオーバレイネットワークにおけるシステムの制約設定に基づくセンサ観測値収集手法、情報処理学会論文誌、査読有、Vol. 52, No. 12, 2011, 3251-3262
- ⑧ 川上朋也、寺西裕一、春本要、竹内亨、西尾章治郎、下條真司、地理的オーバレイネットワークを用いた位置依存コンテンツ分散管理手法、情報処理学会論文誌、査読有、Vol. 52, No. 12, 2011, 3289-3299
- ⑨ Kenta Hanada, Katsutoshi Hirayama, Distributed Lagrangian Relaxation Protocol for the Over-constrained Generalized Mutual Assignment Problem, Proc. of the 14th International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA-2011), 査読有, 2011, 174-186
- ⑩ 吉田大海、田中直樹、ブランクセット法を用いた文字列抽出に適した情景画像の2値化法、画像電子学会誌、査読有、2010巻, 2010, 463-472

[学会発表] (30件)

- ① Yusuke Ariyoshi, Junzo Kamahara, Naoki Tanaka, Katsutoshi Hirayama, Takashi Nagamatsu, Yuuichi Teranishi, Location-dependent Content-based Image Retrieval System Based on P2P Mobile Agent Framework, Proceedings of The 9th International Workshop on Mobile Peer-to-Peer Computing 2013 (MP2P 2013), 18 Mar. 2013, 18-23, San Diego, USA.
- ② Jun Shinomiya, Yuuichi Teranishi, Kaname Harumoto and Shojiro Nishio: A Sensor Data Collection Method Under a System Constraint Using Hierarchical Delaunay Overlay Network, Proc. of International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP

- 2011), 査読有, 6 Dec. 2012, 300-305, Australia.
- ③ 川上朋也、寺西裕一、春本要、下條 真司、大規模コンテキストウェアサービスのための Rete アルゴリズムを用いた地理的コンテンツ配信手法について、情報処理学会研究報告、2012-DPS-153(4)、2012年11月15日、彦根
 - ④ Junzo Kamahara, Naoki Tanaka, Katsutoshi Hirayama, Takashi Nagamatsu, Yuuichi Teranishi, Yusuke Ariyoshi: Design of GeoConscious P2P Content-based Image Retrieval, Proc. of 7th Intl. Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications, 査読有, 12 Nov. 2012, Victoria, Canada.
 - ⑤ Junzo Kamahara, Takashi Nagamatsu, Naoki Tanaka: Conjunctive Ranking Function using Geographic Distance and Image Distance for Geotagged Image Retrieval, Proc. of ACM Multimedia Workshop on Geotagging and Its Applications in Multimedia (GeoMM 2012), 査読有, 2 Nov. 2012, Nara.
 - ⑥ 寺西裕一、佐々木靖彦、ヒト・モノ・コンテンツをつなぐ大規模情報流通ネットワーク、信学技報 IN 112(4) (招待講演)、2012年4月13日、京都
 - ⑦ YOSHIDA Hiromi, NAGAMATSU Takashi, TANAKA Naoki, A New Method of Character Strings Extraction based on Blanket Method, Short Paper Booklet of IAPR Work Shop on DAS2012, 査読有, 27 Mar. 2012, 9-10, Australia.
 - ⑧ 和多田 吉樹、鎌原 淳三、長松 隆、田中 直樹、位置情報付き類似画像を用いた未知画像のタグ推定における精度評価実験、第4回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム、2012年3月3日、舞子
 - ⑨ 四之宮 潤、寺西 裕一、春本 要、西尾章治郎、階層化ドローンオーバーレイネットワークにおけるシステム制約と特徴点の粒度に基づくセンサ観測値収集手法、情報処理学会研究報告 2012-DPS-150、2012年3月1日、横浜
 - ⑩ Tran Anh Phuong, Yuuichi Teranishi, Kaname Harumoto, Shojiro Nishio, A novel Skip Graph extension for load balanced distributed range matching, 情報処理学会研究報告 2012-DPS-150, 2012年3月1日、横浜
 - ⑪ 平山 勝敏、マルチエージェントシステムにおける分散最適化問題とその解法、人工知能基本問題研究会 (第85回) (招待講演)、2012年2月2日、下呂
 - ⑫ Takashi Nagamatsu, Sachio Echizen, Teruhiko Akazawa, Junzo Kamahara, WobblySurface: Tactile Feedback by Holding/Releasing a Surface Panel, Demo, ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces 2011(ITS2011), 15 Nov. 2011, Kobe
 - ⑬ 四之宮 潤、石 芳正、寺西 裕一、春本要、西尾 章治郎、広域大規模センサネットワークにおけるセンサ観測値可視化システムの提案、情報処理学会 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2011)、2011年10月5日、奥入瀬
 - ⑭ Toshihiro Matsui, Marius Silaghi, Katsutoshi Hirayama, Makoto Yokoo, Boi Faltings and Hiroshi Matsuo, Reducing the Search Space of Resource Constrained DCOPs, Proc. of the 17th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming (CP-2011), 査読有, 16 Sept. 2011, 576-590, Perugia, Italy.
 - ⑮ Yuuichi Teranishi, Susumu Takeuchi, Kaname Harumoto, HDOV - An Overlay Network for Wide Area Spatial Data Collection, the 26th ACM Symposium On Applied Computing (SAC2011), 23 Mar. 2011, Taiwan.
 - ⑯ 岩井俊英、鎌原淳三、長松隆、位置情報付き画像クラスタリングによる未知画像からの単語情報の導出、電子情報通信学会 2011 総合大会講演論文集、2011年3月14日-3月17日、東京
 - ⑰ Jun Shinomiya, Yuuichi Teranishi, Kaname Harumoto, Susumu Takeuchi and Shojiro Nishio, An Examination of Sensor Data Collection Method for Spatial Interpolation on Hierarchical Delaunay Overlay Network, Int'l Workshop on Sensor Network Technologies for Information Explosion Era (SeNTIE 2010), 23 May 2010, Kansas, USA.
 - ⑱ 四之宮潤、寺西裕一、春本 要、竹内亨、西尾章治郎、階層化ドローンオーバーレイネットワークを用いた空間補間のためのセンサ観測値収集手法、情報処理学会マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOM02010) シンポジウム、2010年7月7日、下呂
 - ⑲ 石 芳正、寺西裕一、吉田 幹、竹内 亨、下條真司、Range-Key Skip Graph による範囲検索可能な大規模分散キーバリューストアの実現、情報処理学会 第144回マルチメディア通信と分散処理研究会、2010年9月18日、高山

- ⑳ Susumu Takeuchi, Jun Shinomiya, Toru Shiraki, Yoshimasa Ishi, Yuuichi Teranishi, Mikio Yoshida and Shinji Shimojo, A Large Scale Key-Value Store Based on Range-Key Skip Graph and Its Applications, Proceedings of Database System for Advanced Applications 2010 (DASFAA 2010), 査読有, LNCS 5982, 4 Apr. 2010, 432-435, Tsukuba.
- 21 Yoshimasa Ishi, Yuuichi Teranishi, Mikio Yoshida, Susumu Takeuchi, Shinji Shimojo and Shojiro Nishio, Range-Key Extension of the Skip Graph, Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference 2010 (GLOBECOM 2010), 査読有, 7 Dec. 2010, 1-6, Miami, USA.
- 22 YOSHIDA Hiromi, TANAKA Naoki, A Blanket Binarization Method for Character String Extraction, Proc. of IAPR Conf. on MVA2011, 査読有, 13 June 2011, 31-34, Nara.
- 23 Michiya Yamamoto, Munehiro Komeda, Takashi Nagamatsu, Tomio Watanabe, Development of Eye-Tracking Tabletop Interface for Media Art Work, ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces 8 Nov. 2010, Germany.
- 24 花田 研太, 平山 勝敏, 過制約な一般化相互割当問題に対する分散ラグランジュ緩和プロトコル, 合同エージェントワークショップ & シンポジウム 2010 (JAWS-2010), 2010年10月28日, 富良野
- 25 波多野 大督, 杉本 雄太, 平山 勝敏, 値変更コスト付き動的 SAT のためのモデル追跡, 合同エージェントワークショップ & シンポジウム 2010 (JAWS-2010), 2010年10月27日, 富良野
- 26 寺西裕一, オーバレイネットワークサービスプラットフォームの実現に向けて, 電子情報通信学会 ネットワークシステム(NS)研究会(招待講演), 2010年10月21日, 大阪
- 27 Katsutoshi Hirayama, Daisuke Hatano, Yuta Sugimoto, Model Tracking for Dynamic SAT with Decision Change Costs, 10th Workshop on Preferences and Soft Constraints (SofT-10), 6 Sept. 2010, Scotland.
- 28 Suguru Ueda, Atsushi Iwasaki, Makoto Yokoo, Marius C. Silaghi, Katsutoshi Hirayama, Toshihiro Matsui, Coalition Structure Generation based on Distributed Constraint Optimization, Proceedings of the 24th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-2010), 査読有, 15, July. 2010, 197-203, Atlanta, USA.
- 29 Satomi Baba, Makoto Yokoo, Toshihiro Matsui, Atsushi Iwasaki, Marius Silaghi, Katsutoshi Hirayama, Naofumi Nishimura, Cooperative Problem Solving against Adversary: Quantified Distributed Constraint Satisfaction Problem, Proceedings of the 9th International Joint Conference on Autonomous Agents & Multi-Agent Systems (AAMAS-2010), 査読有, 13 May 2010, 781-788, Toronto, Canada.
- 30 Toshihiro Matsui, Makoto Yokoo, Satomi Baba, Marius Silaghi, Katsutoshi Hirayama, Hiroshi Matsuo, A Quantified Distributed Constraint Optimization Problem, Proceedings of the 9th International Joint Conference on Autonomous Agents & Multi-Agent Systems (AAMAS-2010), 査読有, 13 May 2010, 1023-1030, Toronto, Canada.
- [図書] (1件)
- ① Tomoki Yoshihisa, Yuto Hamaguchi, Yoshimasa Ishi, Yuuichi Teranishi, Takahiro Hara, Shojiro Nishio, A Sensor Data Aggregation System Using Mobile Agents, Distributed Networks: Intelligence, Security, and Applications, CRC Press, 2013年8月(出版予定)
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
鎌原 淳三 (KAMAHARA JUNZO)
神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授
研究者番号：60283917
- (2) 研究分担者
平山 勝敏 (HIRAYAMA KATSUTOSHI)
神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授
研究者番号：00273813
寺西 裕一 (TERANISHI YUICHI)
大阪大学・大学院情報学研究科・准教授
研究者番号：30403009
有吉 勇介 (YUSUKE ARIYOSHI)
尾道大学経済情報学部・准教授
研究者番号：70364122
長松 隆 (NAGAMATSU TAKASHI)
神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授
研究者番号：80314251
田中 直樹 (TANAKA NAOKI)
神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授
研究者番号：90188318