

VIII. 計算情報学研究部門

VIII-1. データ基盤分野

1. メンバー

教授	北川 博之
准教授	天笠 俊之
助教	塩川 浩昭
研究員	Salman Ahmed Shaikh, Franck Gass, 駒水 孝裕, 山口 祐人
学生	大学院生 23 名、学類生 6 名

2. 概要

計算科学において、大規模データの管理や活用は極めて重要な課題となっている。計算情報学研究部門データ基盤分野は、データ工学関連分野の研究開発を担当している。具体的には、異種データベースや多様な情報源を統合的に扱うための情報統合基盤技術、データ中に埋もれた知識や規則を発見するためのデータマイニング・知識発見技術、インターネット環境において様々なデータを統一的に扱うための XML 関連技術等の研究を継続して行っている。また、国際睡眠医科学統合機構(IHS)等との連携を通じて、計算科学の各分野における応用的な研究を推進している。

3. 研究成果

【1】情報統合基盤技術

(関連研究費：文部科学省受託研究，基盤研究(B)，日本電気株式会社，株式会社ユーザーカル)

(1) イベント駆動型ストリーム処理の効率化

ストリームデータの増加に伴い、ストリームデータ処理方式は重要な課題となっており、ストリームデータ処理を行うためのストリーム処理エンジン (SPE) が様々な研究者や企業により開発されている。SPE は複数のストリーム情報源からデータが到着するたびに、予め指定された問合せを処理し結果を出力することを可能とする。

ストリームデータに対する処理要求の高度化にともない、特定のストリーム情報源からデータが到着した時にのみ問合せ処理を実行したいという状況が考えられる。例えば、あるニュースが発生した際に、関連するツイートを収集するという状況である。特定の状況が発生した場合にのみ問合せ処理を行う方式をイベント駆動型ストリーム処理と呼び、本研究ではイベント駆動型ストリーム処理を効率的に行う手法として、指定イベント駆動型ストリーム処理モデルを提案した。

平成 26 年度の時点の研究成果では、指定イベント駆動型ストリーム処理モデルのプロトタイプを作成したとともに、その有効性確認実験を行った。本年度は、平成 26 年度に作成したプロトタイプから (1) 指定イベント駆動型ストリーム処理モデルの効果を確認するための既存モデルとの比較実験、および、(2) 複数問合せを同時に実行する際の効率化手法の提案の二点において拡張を行った。

本研究で提案する指定イベント駆動型ストリーム処理では、スマートウィンドウ方式を導入している。既存の処理方式では、イベントが発生していないにもかかわらず、受け取った

データを処理することで計算機リソースの無駄が発生していた。これに対し、スマートウィンドウ方式はイベント発生までの間データを処理せず保管しておくことで無駄な処理を省く方式である。平成 26 年度時点の評価実験では、本研究で開発したプロトタイプにスマートウィンドウ方式を適用した場合と適用しない場合の性能差を確認した。本年度はより客観的な評価を行うために、既存の SPE である Stanford STREAM との比較を行った。スマートウィンドウ方式の効果を確認するために、実際に処理したデータ量およびスループットの比較評価を行った。図 1, 図 2 にそれぞれ実験結果を示す。図 1 から既存の SPE である STREAM (緑線) に比べてスマートウィンドウ方式 (赤線) が不要なデータ処理を削減出来ていることが確認できた。また、図 2 からスマートウィンドウ方式によって単位時間あたりにより多くのデータを処理できていることが確認できた。

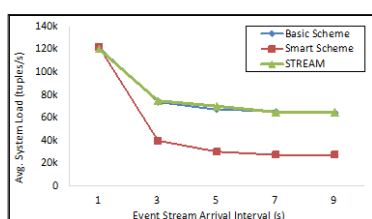


図1. データ処理量

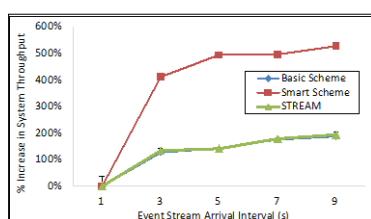


図2. スループット

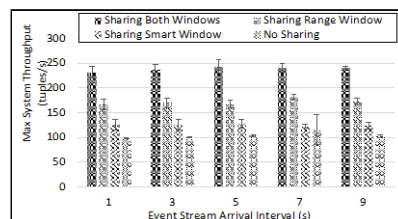


図3. 複数クエリ最適化効率

ストリーム処理を行う際、ユーザは問合せを SPE に予め登録する。SPE は一般的に複数の問合せを受け付けることができることから、複数の問合せが登録された場合にそれらを効率的に処理することが重要となってくる。複数の問合せを処理する際の方針としては、複数の問合せのあいだで共通する部分問合せを一括して計算することで冗長な処理を避ける。しかしながら、本研究で提案するスマートウィンドウ方式ではこのアイデアを単純には適用できない。そこで本年度は、スマートウィンドウ方式でも複数問合せを効率的に処理する方法を提案した。提案手法の有効性を確認するために、共通化する部分問合せを変化させた場合のスループットを比較した。比較結果を図 3 に示す。共通化した場合 (図中の Sharing Both Windows) が共通化しない場合 (図中の No Sharing) に比べて、倍近くのスループットであり、提案手法が有効であることが確認できた。

(2) ストリームに対するオンライン分析処理 (OLAP)

前年度に引き続き、ストリーム OLAP 基盤の研究開発を行った。

本研究では、時々刻々と配信されるストリーム型のデータに対して、オンライン多次元分析処理 (OLAP) を可能にする基盤システムを開発している。提案システムは、ストリームデータを処理する SPE と従来型の (ストリーム非対応の) OLAP 処理エンジンを組み合わせることでストリームデータに対する OLAP 分析 (以下、Stream OLAP) を実現する (図 4)。

Stream OLAP を実現する最も単純な方法として、異なる粒度に対する問合せを SPE にあらかじめ全て登録するアプローチが考えられる。ところが一般に複数の次元に対して複

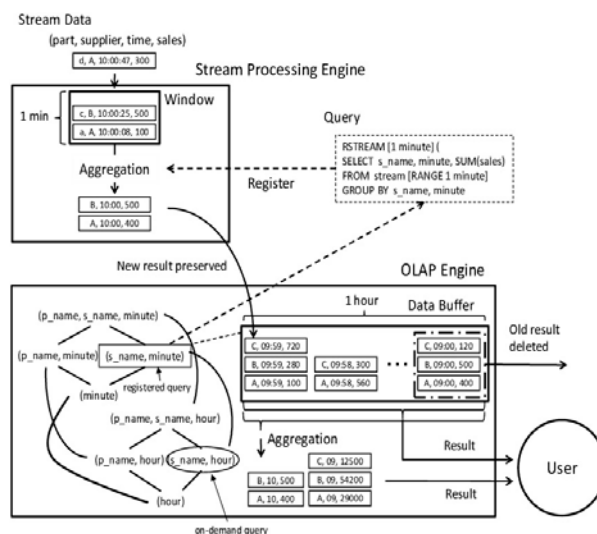


図 4. Stream OLAP システムアーキテクチャ

数の粒度が考えられるため、それらの全ての組合せをカバーすることは、組合せ爆発を招くため現実的ではない。また、必ずしも全ての粒度を常に処理しておく必要はなく、ユーザの要求に応じて動的に計算することも考えられる。この場合、解を導出するための処理コストやレイテンシが問題となるため、メモリが許す限り多くの解を実体化しておき、それ以外の解については要求時に動的に計算するアプローチが考えられる。

そこで本研究では、コストモデルに基づいた最適化アルゴリズムを提案する。これは、全 OLAP 問合せを、(1) SPE に連続的問合せとして登録し集約結果を実体化しておく問合せと、(2) ユーザ要求に応じて実体化した問合せ結果から自身の集約結果を導く問合せ (On-demand Query) の二種類に分類する。この分類を、与えられたメモリ制約の範囲内で、処理コストが最小になるように行うアルゴリズムである。

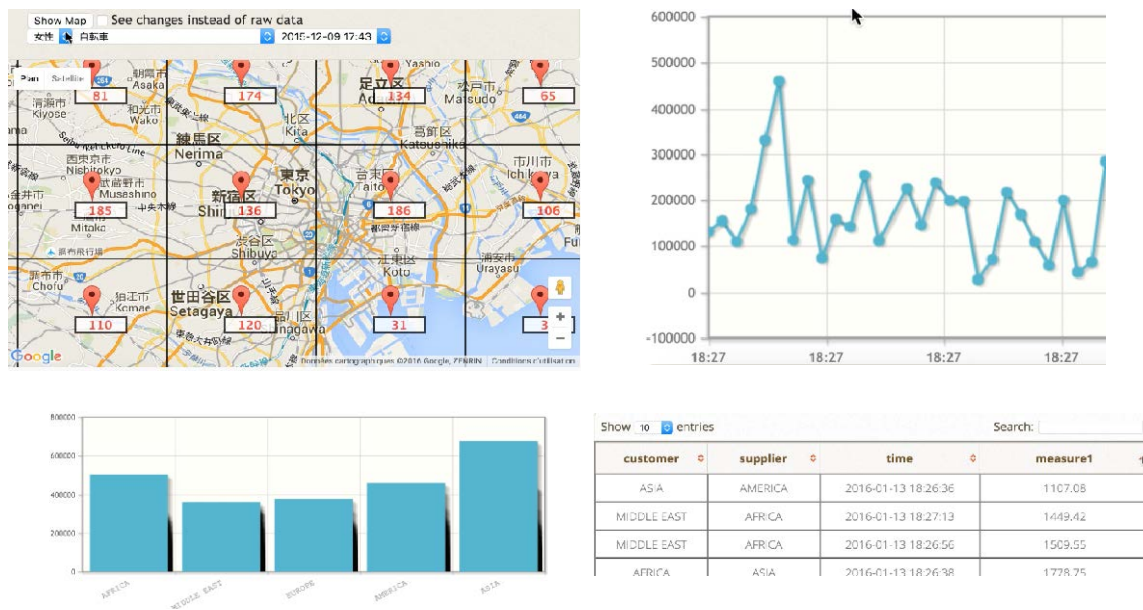


図 5. Stream OLAP の GUI インタフェース

さらに、開発したプロトタイプシステムをベースに、対話的な分析を行うためユーザインタフェースを開発した。開発したインタフェースでは、リアルタイムに更新されるストリームデータに対して、位置情報を利用した地図表示や数値データに対するヒストグラム、折れ線グラフ、さらにテーブル形式での表示が可能である (図 5)。

(3) メタデータ推定

ソーシャルメディアは今日重要な情報源であり、ソーシャルメディアデータに対するメタデータの推定・付与は、異種データの連携に極めて有用である。例えば、ソーシャルメディアユーザの居住地を推定できれば、ソーシャルメディアとニュースメディア等のデータとを統合することで、実世界のどこでどのようなニュースが注目されているかなどが分かる。

本研究ではメタデータを推定するアルゴリズムとして、ノード分類アルゴリズムを提案した。本研究で提案するノード分類アルゴリズムを用いると、Twitterにおけるユーザ居住地にかぎらず様々なソーシャルメディアにおける多様なメタデータを推定することが可能となる。

ネットワークにおけるノード分類とは、一部のノードにラベルが付与されたネットワークが与えられた時、ラベルが付与されていないノードのラベルを推定する問題である。例えば、ソーシャルメディアにおけるユーザ間の関係を表したネットワークを入力とし、ユーザの居住地、年齢、性別などのラベルを推定する問題がこれに当たる。他にも様々な問題に対して応用可能であるため、ノード分類は幅広く研究されている問題である。

ノード分類問題を解く主要なアルゴリズムとしてBelief Propagation (BP)がある。BPは、あるラベルAと接続しやすいラベルはラベルBであるというパラメータを指定することで任意のラベル相関を持つネットワークに適用できる。例えば、ソーシャルグラフ上において隣接ノード同士は居住地に近い傾向にあると言われているが、Poketと呼ばれるソーシャルメディア上では隣接ノードは性別が異なる傾向にあることが分かっている。BPはこのような様々なラベル相関を持つ実世界のネットワークを扱うことが可能である。

しかし、BPは分類結果の確信度を考慮しない。あるノードのラベルを推定するとき、そのノードの隣接ノードが多いほど手がかりとなる情報が多いため、より確信度を持って推定することができる。そこで本研究では確信度を考慮することができ、かつBPの強みである様々なラベル相関への適用性も合わせ持つノード分類アルゴリズムを提案する。これにより、様々なネットワークにおけるノード分類をより高精度に行うことが可能になる。

本研究の着眼点は、ラベル推定の対象となるノードがどれくらいの隣接ノード数を持つかを考慮するという点である。あるノードAの隣接ノードが1、ノードBの隣接ノードが100あるとする。提案アルゴリズムは隣接ノードのラベルに基づいて繰り返しノードのラベルを推定する。このとき、提案アルゴリズムではノードBの推定結果はAより確信度が高いとみなすため、次の繰り返しではBのラベルをAのラベルより強い手がかりとして積極的に利用する。こうすることにより、最終的なラベル推定結果の精度を向上させる。本研究では様々な相関を持つ5つのネットワークを用いて既存手法のノード分類精度と比較を行った結果、ほぼ全てのデータセットにおいて提案手法が最も高い精度を示すことを確認した。

【2】データマイニング・知識発見技術

(関連研究費：文部科学省受託研究，基盤研究(B)，Sky 株式会社)

(1) 大規模グラフの分析の高速化

グラフデータ分析技術には情報検索や推薦など様々な応用があることから、分析処理の高速化が求められている。特に近年では、マルチコア CPU を利用したグラフ分析手法の並列化による高速化手法が盛んに研究されているが、グラフ処理は局所性の低いメモリアクセスパターンを示すことからキャッシュ効率が悪くなるため、メモリ帯域の飽和が発生しスケーラビリティが低下するという問題がある。

例えば、図 6 (a)に示したグラフデータは計算機上において図 6 (b)に示すような隣接行列表現として保持される。この隣接行列表現を用いて PageRank や最短経路分析などのグラフ分析を実行した場合、計算時に読み込む必要のある数値データはメモリ空間上において互いに離れた領域にそれぞれ格納されることとなる。そのため、CPU のプリフェッチ機能やキャッシュ機能が効果的に作用せず、計算を行うたびにメモリ空間上から CPU レジスタへ数値データを読み込む必要がある。マルチコア CPU を用いた場合、計算に用いた全ての CPU コアが上述のようにメモリ空間上から数値データを読み込むこととなるため、結果として計算機のメモリ帯域幅を使いきりスケーラビリティが低下してしまうことになる。

本研究では、マルチコア CPU を用いた大規模グラフ分析における上述の課題を解決するために、数十億ノード規模のグラフデータに対して高いキャッシュヒット効率を示すデータレイアウトを与える手法 Rabbit Order を提案した。Rabbit Order では、実世界のグラフデータが階層的なコミュニティ構造を持つことに着目し、グラフクラスタリング手法を利用した階層的なデータレイアウトを構築する。

例えば図 6 (a)で示したグラフデータは、図 6 (c)のように 2 つのコミュニティ構造を持つことがグラフクラスタリング手法を用いることでわかる。Rabbit Order では、このコミュニティに対して、コミュニティに含まれるノードがメモリ空間上において互いに連続した領域に格納されるようにデータレイアウトを構築する。これにより、CPU の持つプリフェッチ機能

やキャッシュ機能の実行効率を向上させ、可能な限りメモリ空間上からデータを読み込まないようにする。その結果として、マルチコア CPU を用いて大規模グラフを分析した場合においても、計算機のメモリ帯域幅を使いきらずに分析を並列化することが可能となる。

本研究では実世界のグラフデータを用いて、Rabbit Order と既存のグラフデータレイアウト手法におけるキャッシュヒット率およびスケーラビリティを評価した。図 7 に示すように、提案手法 Rabbit Order は既存手法と比較して最も高いスケーラビリティを示すことを明らかにした。

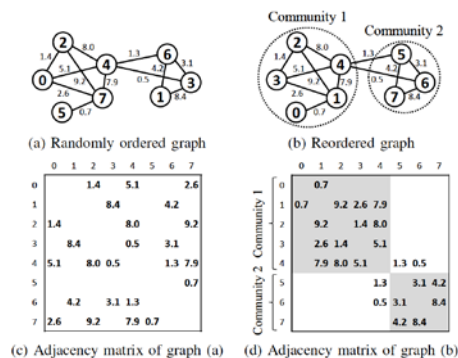


図 6. グラフの行列表現

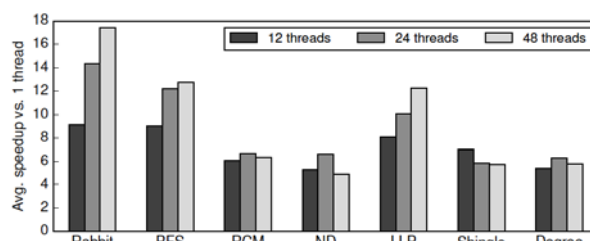


図 7. スケーラビリティの比較

(2) GPU を利用したデータマイニングの高速化

今年度は、演算加速装置 (GPU) を用いた大規模データからのマイニングに関して、(1) 集合間類似度に基づくテキストデータに対する類似結合の高速化、(2) キャンノピークラスタリングの高速化、ラベル伝搬法によるグラフクラスタリングの高速化、(3) SIFT 特徴量に基づく画像検索の高速化、に関する研究を実施した。以下では、ラベル伝搬法によるグラフクラスタリングの高速化について述べる。

グラフデータ分析手法の一種であるグラフクラスタリングが注目を集めている。グラフクラスタリングは、グラフデータから、密に接続した頂点の集合をクラスタとして抽出する技術である。グラフクラスタリングは、Web やソーシャルネットワークから生物学など、多種多様なグラフデータに対する応用が考えられている。しかし、近年の情報通信技術の進歩に伴い、グラフデータの大規模化が進んでいるという問題がある。巨大なネットワークに対してグラフクラスタリングを適用するためには、クラスタリング処理の高速化が非常に重要な課題となる。

高速なグラフクラスタリングアルゴリズムの一つとして、ラベル伝搬法が存在する (図 8)。ラベル伝搬法は、グラフの辺数に比例する計算量を持ち、他の多くのアルゴリズムより効率的である。また、処理性能だけでなく、クラスタリング精度においても良い性能を示すという結果が報告されている。さらに、局所的な情報のみをもとにクラスタリング処理を行うため、並列化に適しているという利点もある。これは、現在のプロセッサのマルチコア化・メニーコア化を考慮すると、処理の高速化を行なうにあたって極めて重要な特性であると考えられる。

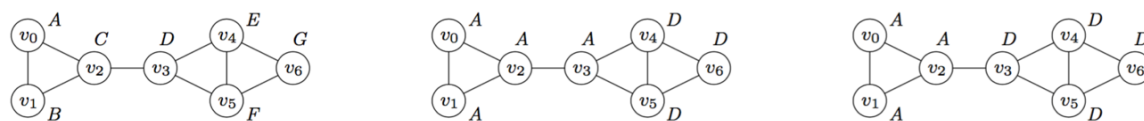


図 8. ラベル伝搬法によるグラフクラスタリング

一方、GPU (graphics processing unit) を一般の計算に用いる GPU コンピューティングが注

目されている。しかし、GPU の性能を引き出すためにはいくつかの技術的課題を解決する必要がある。特に、GPU 上でグラフデータを処理するにあたって、負荷分散が重要な課題となる。これは、多くの実世界のグラフデータにおいて、次数分布はべき乗則に従うことが知られており、かつ GPU 上では千以上のスレッドが並列に動作するので、単純に頂点ごとに処理を振り分けるような並列化では非常に非効率的となってしまうためである。GPU を用いてラベル伝搬法の高速化を行なった研究が既に存在するが、負荷分散に関してはあまり考慮されていないという問題点がある。

本研究では、既存研究と異なり、GPU 上での負荷分散を考慮したグラフクラスタリングの高速化を行なった。まず、ラベル伝搬法をベースに、アルゴリズムを GPU 上での高並列処理に適した形式へと変換する。これにより、各スレッドが行なう仕事量を均一化すると同時に、GPU に適した処理である、配列上の単純な操作のみでクラスタリング処理が可能となる。さらに、segmented sort や segmented reduce などの、次数の偏りが存在するデータにおいても効率的に並列処理が可能な演算を活用する。本稿では、実世界のグラフデータと合成データを用いて評価実験を行なった。その結果、処理性能においては、既存手法と比較して最大で 117 倍の高速化を達成した。また、正解クラスタ情報を用いたクラスタリング精度の評価においても、提案する GPU を用いたラベル伝搬法が良い性能を示した。

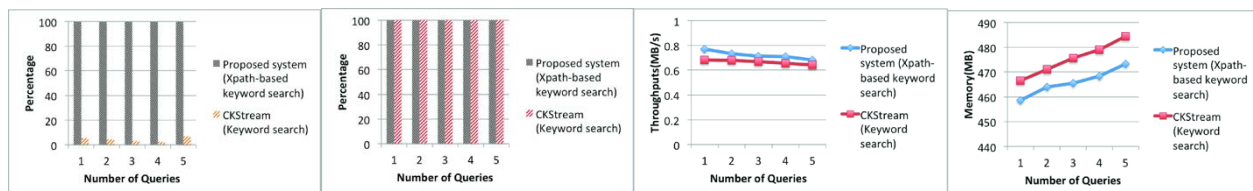
【3】XML・Web プログラミング

(関連研究費：文部科学省受託研究，基盤研究(A)，基盤研究(C)，株式会社富士通研究所)

(1) XML ストリームに対するキーワード検索

本研究では、XML ストリームに対して、指定したキーワードが特定のパス式に含まれるような部分 XML データを検索する手法を開発した。より具体的には、キーワード検索と XPath に基づく検索を合わせた検索を可能にする。本研究では、非決定性有限オートマトンを基にした手法を拡張して、パス式とキーワードを組み合わせた検索を XML ストリームに適用することを可能にした。

本研究の有効性を示すために、人工データと実データを利用して評価を行った。人工データとしては、XMark データセットを利用した。実データとしては、DBLP の XML データと Mondial を用いた。実験では、検索精度（適合率および再現率）と性能（スループットおよびメモリ使用量）について評価を行った。既存研究の CKStream と本研究を比較した結果を示す。精度については、既存手法、提案手法ともに問合せにマッチするべき結果がすべて抽出されている（図 9. 実験結果(b)）。一方、既存手法の適合率は不要な検索結果も抽出しているのに対し、提案手法では必要な検索結果だけを抽出できていることがわかる（図 9. 実験結果 (a)）。性能評価では、単位時間あたりのデータ処理量（スループット：図 9. 実験結果 (d)）では、既存手法よりも大きいサイズのデータを処理できている。また、メモリ使用量（図 9. 実験結果 (c)）は既存手法よりも少ないメモリ量で検索を実現している。



(a) 適合率

(b) 再現率

(c) メモリ使用量

(d) スループット

図 9. 実験結果

(2) LOD に対するビューおよび LINQ による問合せ

前年度に引き続き、LOD (Linked Open Data) に対して、LINQ (Language Integrated Query) を使った簡便な問合せを実現するシステムについて研究開発を行った。

LOD (Linked Open Data) はコンピュータ処理に適したオープンデータを、ウェブ上で公開・共有するための方法である。LOD では、RDF (Resource Description Framework) を用いてリソース自身と他のリソースとの関係を記述することができる。これにより、異なる種類のデータを互いにリンクすることで、データの相互利用性の向上が期待されている。しかしながら、LOD では多様な問題領域における多様なデータセットが存在するため、複数の異なるデータセットを活用するには、それぞれについて複雑なグラフ構造を理解する必要がある。さらに、データセット固有の語彙や SPARQL 問合せ言語など多くの事前知識や準備が必要である。

これに対して、我々の研究グループでは、プログラミング言語に埋込む形でデータベースに対する問合せを記述することができる LINQ を利用し、半構造データ形式である JSON 形式のビューを用いた LOD に対する問合せ手法を研究開発してきた。具体的には、扱いたい LOD を良く知る開発者が、LOD データベース (SPARQL エンドポイント) に対して、情報要求に基づいたビュー定義を行う。これにより、SPARQL エンドポイントの一つまたは複数の仮想的に JSON データとして扱うことが可能となる。利用者は、JSON ビューに対して LINQ 形式で問合せを発行することで、JSON 形式の問合せ結果を得ることができる。システムは内部で受け取った LINQ 問合せをビュー定義に基づいて SPARQL 問合せに変換し、SPARQL エンドポイントに問合せを発行する。得られた問合せ結果をビュー定義に基づき JSON 形式に変換して利用者に返却する (図 10)。

これまでの研究を受け、今年度は (1) 複数の SPARQL エンドポイントを含むような分散問合せのサポート、(2) SPARQL エンドポイントやネットワークの性能を考慮した分散問合せ最適化方式を検討した。具体的には、システムを複数の異なる SPARQL エンドポイントに対して問合せ可能なように拡張した。さらに、各 SPARQL エンドポイントにおける JSON ビューに関する各種統計情報や問合せ処理性能、さらにネットワーク帯域幅等をメタデータとして想定し、これらを考慮した上で問合せの書き換えを行う。これにより、著しく性能が異なる SPARQL エンドポイントやネットワークが混在する状況において、最適な問合せ処理を行うことができる。プロトタイプシステムによる予備的な評価を行い、SPARQL が本来持っている分散問合せ処理機能に対して、提案手法の方が性能的に優位であることを確認した (図 11)。

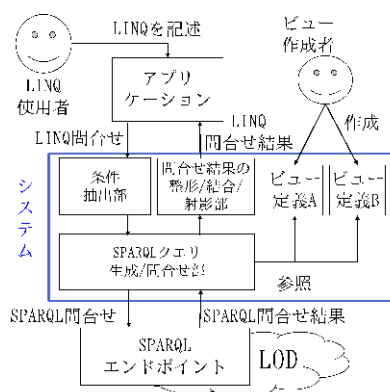


図 10. システム概要

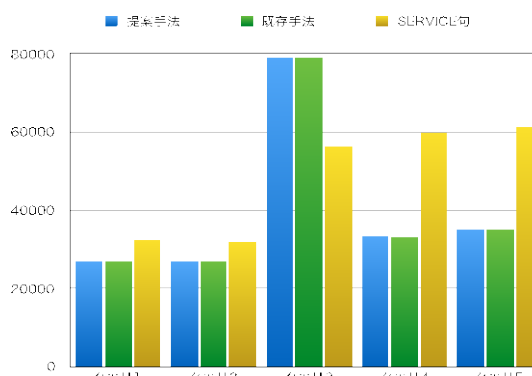


図 11. 評価実験

(3) LOD に対する OLAP 分析のための ETL フレームワーク

Linked Open Data (LOD) はデータを公開する枠組みとし欧州を中心に全世界的に広がっている。これまでにすでに様々なデータが LOD として公開されており、今後もますます増えていくことが予想される。最も有名なデータは DBpedia である。DBpedia のような辞典データだけでなく、様々な事実が LOD データとして公開されてきている。例えば、東日本大震災に関するデータを東日本大震災アーカイブ福島協議会が収集し、公開している。また、桜島の噴火に関連して、鹿児島市の避難所の情報が公開されている。このように多様なデータが LOD として公開されるようになってきており、LOD として公開されたデータを分析したいという要求がある。

データの分析方法として、伝統的な方法として OLAP がある。OLAP は複数の属性を持ったデータに対する分析手法で対話的に分析を行うことができる。分析者はいろいろな側面から分析を行いたいと考えることが多く、OLAP はそのような分析時に有用である。

本研究の目的は LOD で公開されたデータを OLAP 分析できるようにすることである。LOD として公開されたデータはそのままでは OLAP 分析できない形式になっている。そのために、まず LOD として公開されたデータを解析し、OLAP 分析可能な形式に変換する必要がある。加えて、LOD として公開されているデータはデータサイズが大きく、データを取得する際にクエリを発行してデータを取得する必要がある。このようにデータを取得するだけでも大きな労力になってしまう。

これらの問題点に対し、本研究は OLAP 分析に必要なデータを LOD データから段階的に取得するフレームワーク SPOOL を提案する。まず、SPOOL は分析対象となりうるデータの候補を検出する。利用者は候補から分析対象を選択する。SPOOL は選択された候補を手がかりに、データを分析するための属性を抽出する。抽出された属性に対して、利用者は分析に不要な属性を排除することができる。SPOOL は残った属性から OLAP 分析に必要なデータ構造を生成し、LOD データからデータ構造に合うデータのみを所得するクエリを発行し、OLAP 分析を可能にする。我々は SPOOL を実際のデータに適用し SPOOL によって LOD データに対して OLAP 分析を可能であることを確認した。

【4】科学分野におけるデータベース応用

(関連研究費：新学術領域)

(1) GPV/JMA アーカイブ

地球環境研究部門と共同で、気象庁気象予報データベース「GPV/JMA アーカイブ」(<http://gpvjma.ccs.hpcc.jp>)の開発、および管理、運用を行っている(図 12)。GPV/JMA アーカイブは、気象庁が公開している気象予報グリッドデータ(GPV データ)を蓄積するとともに、外部登録ユーザへのデータを提供することを目的としている。GPV/JMA アーカイブで提供しているデータは、全球モデル、メソスケールモデル、リージョナルスケールモデル、週間アンサンブル、月間アンサンブル、季間アンサンブルの 6 種類である。



図 12. GPV/JMA アーカイブ

(2) 格子 QCD データグリッド ILDG/JLDG

Japan Lattice Data Grid (JLDG), International Lattice Data Grid (ILDG)は、格子 QCD 配位データを共有するためのデータグリッドである。素粒子物理研究部門と連携し、JLDG/ILDG の運営に継続参画している。

(3) 時系列を考慮した睡眠ステージ判定

本研究では睡眠計測のための脳波解析を自動化に向け、マウスから取得された脳波および筋電図を用いた睡眠ステージの自動判定手法アルゴリズム・ソフトウェアの開発を行った。特に本年度は、Sunagawa らにより 2013 年に提案された FASTER と呼ばれる睡眠ステージ判定アルゴリズムの改善を題材に、先行技術よりも高精度なアルゴリズムの開発に取り組んだ。

本年度は先行技術 FASTER の性能分析結果を基に、より高精度な睡眠ステージ判定を実現するアルゴリズム exFASTER を開発した。先行技術 FASTER の判定誤りの多くは、脳波および筋電図データの時系列的な情報を利用しないことに起因している。一方で、先行技術 FASTER において正しく判定できないエポックの中には、時系列を考慮することで正しい判定へと修正可能であるものが多く存在する。そこで本研究は、先行技術 FASTER の自動判定結果から、時系列的に不自然な睡眠ステージ遷移を行うエポックを抽出し、それらのエポックを時系列的に正しい睡眠ステージ遷移へと修正するアルゴリズム exFASTER を提案した。

exFASTER の概要を図 13 に示す。exFASTER では、時系列的に不自然な睡眠ステージ遷移を抽出するために、各睡眠ステージの遷移をマルコフモデルによりモデル化した。人手でラベル付けした信頼性の高い睡眠ステージ判定結果（正解データ）からマルコフモデルの遷移確率を学習することで、先行技術 FASTER の出力結果の中から正解データから乖離した睡眠ステージ判定が行われたエポックを特定する。exFASTER は、この手順を経て特定したエポックを先に構築したマルコフモデルを用いて最も尤度の高い睡眠ステージ遷移へと修正する。提案技術 exFASTER は、上述の手順を通じて先行技術 FASTER の判定誤りを修正することで睡眠ステージの自動判定の高精度化を実現する。

本年度は提案したアルゴリズム exFASTER のソフトウェアを開発するとともに、比較的ノイズの少ないマウス 14 匹分の脳波および筋電図データを用いて性能評価を行った。性能評価の結果、提案技術 exFASTER は先行技術 FASTER に対して判定精度を約 3%程度改善し、結果として 93.41%の睡眠ステージ自動判定精度を達成することを明らかにした。一方で、レム睡眠の自動判定に限定した場合の精度は、先行技術 FASTER と同程度の 79.72%にとどまり、さらなる改善の余地が必要な状況であることを確認した。

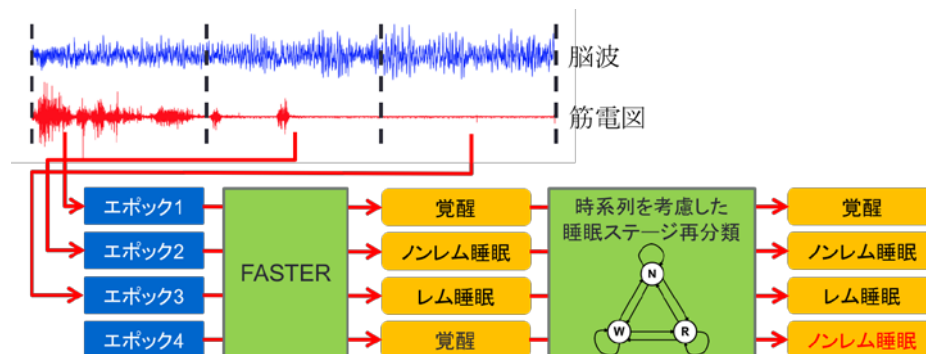


図 13. exFASTER の概要

4. 教育

学生の指導状況（学生氏名、学位の種類、論文名）

<修士（工学）>

1. TRAN VAN DIEN

文献データベースにおける Wikipedia を利用した検索結果のクラスタリングに関する研究

2. 大西 誠

オンラインニュースとツイートのリアルタイムマッチング手法

3. 川合 健斗

暗黙的フィードバックを用いた推薦システムに関する研究

4. 熊本 和正

ビューを用いた SPARQL エンドポイントに対する分散問合せ処理

5. 小柳 涼介

木構造データに対する高速な類似検索に関する研究

<修士（工学）：特定課題研究>

1. 大桶 真宏

問題解決の実践によるプログラミング教育向け学習支援システム

ーWeb アプリケーションの開発と自動評価機能およびサンドボックス環境の実装ー

2. 柳沼 工也

リポジトリデータを利用したソフトウェア開発者評価支援システムの開発

ーリポジトリ連携機能の開発ー

<学士（情報科学，情報工学）>

1. 秋山 賢人

索引を用いた複数演算対応の秘匿検索

2. 草村 優太

GPU を用いた類似画像検索の高速化

3. 長城 沙樹

オンラインニュースに対する Twitter 上での地域局所的な注目の分析及び予測

4. 丸山 純

EPUB 出版物のための EPUBCFI に対する索引手法に関する研究

5. 王 可婧

ストリームデータに対する OLAP 分析のための可視化手法

6. 索手 一平

複数の推定手法の誤り傾向の違いを利用したソフトウェアプロダクト派生関係のアンサンブル推定手法

集中講義など

1. 大学院共通科目「計算科学リテラシー」講義分担：天笠
2. 大学院共通科目「Computational Science Literacy」講義分担：天笠

5. 受賞、外部資金、知的財産権等

受賞

(賞の名称、受賞者名、タイトル、年月日)

1. Best Paper Award, Shun Fukusumi, Atsuyuki Morishima and Hiroyuki Kitagawa, "Game Aspect: An Approach to Separation of Concerns in Crowdsourced Data Management", 27th International Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAiSE2015), 2015 年 6 月 12 日.
2. Best Paper Award, Takahiro Komamizu, Toshiyuki Amagasa and Hiroyuki Kitagawa, "SPOOL: A SPARQL-based ETL Framework for OLAP over Linked Data", 17th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS 2015), 2015 年 12 月 13 日.
3. 最優秀インタラクティブ賞, 太田 千尋, 森嶋 厚行, 中村 聡史, 寺田 努, 北川 博之, 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), 2016 年 3 月 2 日.
4. 学生プレゼンテーション賞, 秋山 賢人, 渡辺 知恵美, 北川 博之, "索引を用いた複数演算に対応した安全で効率的な秘匿検索手法", 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), 2016 年 3 月 2 日.
5. 学生プレゼンテーション賞, 長城 沙樹, 山口 祐人, 北川 博之, 天笠 俊之, "オンラインニュースに対する Twitter 上での地域局所的な注目の分析及び予測", 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), 2016 年 3 月 1 日.
6. 学生奨励賞, 秋山 賢人, 渡辺 知恵美, 北川 博之, "索引を用いた秘匿検索における安全性の高い複数演算の連携法", 情報処理学会第 78 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2016), 2016 年 3 月 12 日.
7. 学生奨励賞, 草村 優太, 小澤 佑介, 天笠 俊之, 北川 博之, "GPU を用いた類似画像検索の高速化", 情報処理学会第 78 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2016), 2016 年 3 月 12 日.

8. 学生奨励賞, 索手 一平, 早瀬 康裕, 北川 博之, "可逆圧縮を利用したプロダクト派生関係推定手法の実験的評価 - 圧縮アルゴリズム毎の誤りの傾向分析 -", 情報処理学会第 78 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2016), 2016 年 3 月 12 日.
9. 2015 年度日本データベース学会若手功績賞, 天笠 俊之, 2016 年 3 月 1 日.

外部資金

(名称、氏名、代表・分担の別、採択年度、金額、課題名)

受託経費：文部科学省 (平成 26 年度～平成 29 年度)

研究課題：実社会ビッグデータ利活用のためのデータ統合・解析技術の研究開発

研究代表者：北川 博之

平成 27 年度配分額：37,341,000 (直接経費 28,723,847：間接経費 8,617,153)

研究種目：基盤研究(B) (平成 26 年度～平成 28 年度)

研究課題：複合型並列計算環境を活用した大規模不均質データの実時間分析基盤

研究代表者：北川 博之

平成 27 年度配分額：5,980,000 (直接経費 4,600,000：間接経費 1,380,000)

研究種目：新学術領域 (平成 27 年度～平成 31 年度)

研究課題：超ストレス環境・宇宙を見据えた新規睡眠覚醒制御手法の開発

(研究代表者：長瀬 博)

研究分担者：北川 博之

平成 27 年度配分額：3,000,000 (直接経費 3,000,000：間接経費 0)

研究種目：基盤研究(C) (平成 25 年度～平成 27 年度)

研究課題：EPU3.0 を核とした知識集積型ソーシャルリーディング基盤に関する研究

研究代表者：天笠 俊之

平成 27 年度配分額：1,100,000 (直接経費 1,100,000：間接経費 0)

研究種目：基盤研究(A) (平成 25 年度～平成 28 年度)

研究課題：災害後の復旧・復興における共有情報管理のための基盤技術に関する研究

(研究代表者：横田 治夫 (東京工業大学))

研究分担者：天笠 俊之

平成 27 年度配分額：750,000 (直接経費 750,000：間接経費 0)

受託経費：日本電気株式会社 （平成 27 年度）

研究課題：安心安全なデータの管理及び活用に関する研究

研究代表者：北川 博之・天笠 俊之

平成 27 年度配分額：1,080,000（直接経費 981,818：間接経費 98,182）

受託経費：Sky 株式会社 （平成 27 年度～平成 28 年度）

研究課題：機械学習の適用による SKYSEA Client View のログ及び資産情報からの例外的
状況の自動検出

研究代表者：北川 博之・天笠 俊之

平成 27 年度～28 年度配分額：5,000,000（直接経費 4,500,000：間接経費 500,000）

受託経費：株式会社富士通研究所 （平成 27 年度）

研究課題：時系列データの分析基盤技術の研究

研究代表者：北川 博之・天笠 俊之

平成 27 年度配分額：2,000,000（直接経費 1,800,000：間接経費 200,000）

受託経費：株式会社ユーザーローカル （平成 27 年度）

研究課題：Twitter のユーザー分析

研究代表者：北川 博之

平成 27 年度配分額：550,000（直接経費 500,000：間接経費 50,000）

知的財産権（種別、氏名、課題名、年月日）

該当なし

6. 研究業績

(1) 研究論文

A) 査読付き論文

< 学術雑誌論文 >

- J1. Takahiro Komamizu, Toshiyuki Amagasa and Hiroyuki Kitagawa, "Facet-value Extraction Scheme from Textual Contents in XML Data", International Journal of Web Information Systems (IJWIS), Vol. 11, Iss. 3, pp.270-290, 2015.
- J2. Savong Bou, Toshiyuki Amagasa and Hiroyuki Kitagawa, "Path-based Keyword Search over XML Streams", International Journal of Web Information Systems (IJWIS), Vol. 11, Iss. 3, pp.347-369, 2015.

- J3. 中挾 晃介, 北川 博之, Salman Ahmed Shaikh, 天笠 俊之, "StreamOLAP における問合せの最適化手法", 日本データベース学会和文論文誌, Vol.14, No.4, Article No.3, 2016 年 3 月.
- J4. 塩川 浩昭, 藤原 靖宏, 飯田 恭弘, 鬼塚 真, "動的グラフに対する密度ベースクラスタリング", 日本データベース学会和文論文誌, Vol.14, No.4, Article No.4, 2016 年 3 月.
- J5. 伊藤 寛祥, 天笠 俊之, 北川 博之, "論文データベースにおけるトピックの変遷の検出", 日本データベース学会和文論文誌, Vol.14, No.4, Article No.13, 2016 年 3 月.
- J6. 大西 誠, 北川 博之, "オンラインニュースに関連するツイートのリアルタイムな収集", 日本データベース学会和文論文誌, Vol.14, No.4, Article No.15, 2016 年 3 月.

B) 査読無し論文

該当なし

(2) 国際会議発表

A) 招待講演

該当なし

B) 一般講演

<査読付き国際会議論文>

- C1. Yuto Yamaguchi, Mitsuo Yoshida, Christos Faloutsos and Hiroyuki Kitagawa, "Why Do You Follow Him? Multilinear Analysis on Twitter", Proc. 24th International World Wide Web Conference (WWW2015), pp. 137-138 (companion volume), Florence, Italy, May 18-22, 2015.
- C2. Yuto Yamaguchi, Christos Faloutsos and Hiroyuki Kitagawa, "SocNL: Bayesian Label Propagation with Confidence", Proc. 19th Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data mining (PAKDD 2015), pp. 633-645, Ho Chi Min City, Vietnam, May 19-22, 2015.
- C3. Yuto Yamaguchi, Mitsuo Yoshida, Christos Faloutsos and Hiroyuki Kitagawa, "Patterns in Interactive Tagging Networks", Proc. 9th International AAAI Conference on Web and Social Media (ICWSM 2015), pp. 513-522, Oxford, UK, May 2015.
- C4. Shun Fukusumi, Atsuyuki Morishima and Hiroyuki Kitagawa, "Game Aspect: An Approach to Separation of Concerns in Crowdsourced Data Management" Proc. 27th International Conference on Advanced Information Systems Engineering

- (CAiSE2015), pp. 3-19, Stockholm, Sweden, June 8-12, 2015.
- C5. Hao Ye, Hiroyuki Kitagawa and Jun Xiao, "Continuous Angle-based Detection on High-dimensional Data Streams", Proc. the 19th International Database Engineering & Applications Symposium (IDEAS 2015), pp. 162-167, Yokohama, Japan, July 13-15, 2015.
- C6. Alceu Ferraz Costa, Yuto Yamaguchi, Agma Juci Machado Traina, Caetano Traina Jr. and Christos Faloutsos, "RSC: Mining and Modeling Temporal Activity in Social Media", The 21st SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD 2015), Sydney, Australia, August 10-13, 2015.
- C7. Yusuke Kozawa, Fumitaka Hayashi, Toshiyuki Amagasa and Hiroyuki Kitagawa, "Parallel Canopy Clustering on GPUs", Proc. 26th International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA 2015), pp. 334-348, Valencia, Spain, September 1-4, 2015.
- C8. Mateus S. H. Cruz, Yusuke Kozawa, Toshiyuki Amagasa and Hiroyuki Kitagawa, "GPU Acceleration of Set Similarity Joins", Proc. 26th International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA 2015), pp. 384-398, Valencia, Spain, September 1-4, 2015.
- C9. Kazumasa Kumamoto, Toshiyuki Amagasa and Hiroyuki Kitagawa, "A System for Querying RDF Data using LINQ", Proc. the 4th International Workshop on Advances in Data Engineering and Mobile Computing in conjunction with NBiS2015 (DEMoC 2015), Taipei, Taiwan, September 2-4, 2015.
- C10. Sei Onishi, Yuto Yamaguchi and Hiroyuki Kitagawa, "Real-Time Relevance Matching of News and Tweets", Proc. 23th International Conference on Cooperative Information Systems (CoopIS 2015), pp. 109-126, Rhodes, Greece, October 28-30, 2015.
- C11. Kosuke Nakabasami, Toshiyuki Amagasa, Salman Shaikh, Franck Gass and Hiroyuki Kitagawa, "An Architecture for Stream OLAP Exploiting SPE and OLAP Engine (short)", Proc. 2015 IEEE International Conference on Big Data (IEEE BigData 2015), Santa Clara-CA, USA, October 29 - November 1, 2015.
- C12. Saki Ueda, Yuto Yamaguchi, Hiroyuki Kitagawa and Toshiyuki Amagasa, "Tweet Location Inference based on Contents and Temporal Association", Proc. 16th International Conference on Web Information System Engineering (WISE 2015), part II, pp. 259-266, Miami, USA, November 1-3, 2015.

- C13. Takahiro Komamizu, Toshiyuki Amagasa and Hiroyuki Kitagawa, "SPOOL: A SPARQL-based ETL Framework for OLAP over Linked Data", Proc. 17th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS 2015), pp. 49:1-10, Brussels, Belgium, December 11-13, 2015.
- C14. Eri Kataoka, Toshiyuki Amagasa and Hiroyuki Kitagawa, "A Social Reading System for EPUB Publications", Proc. 17th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS 2015), pp.43-52, Brussels, Belgium, December 11-13, 2015.
- C15. Yasuhiro Fujiwara, Yasutoshi Ida, Hiroaki Shiokawa, Sotetsu Iwamura, "Fast Lasso Algorithm via Selective Coordinate Descent", Proc. 30th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI 2016), Phoenix, Arizona, USA, February, 2016 (to appear).

(3) 国内学会・研究会発表

A) 招待講演

該当なし

B) その他の発表

- P1. Salman Ahmed Shaikh, Yousuke Watanabe, Yan Wang and Hiroyuki Kitagawa, "Multi-Query Optimization for the Smart Query Execution Scheme", 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), G1-3, 2016 年 2 月 29 日～3 月 2 日.
- P2. 小澤 佑介, 天笠 俊之, 北川 博之, "GPU を用いたラベル伝搬法によるグラフクラスタリングの高速化", 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), A8-3, 2016 年 2 月 29 日～3 月 2 日.
- P3. Savong Bou, Toshiyuki Amagasa and Hiroyuki Kitagawa, "Efficient Keyword Search over Relational Data Streams", 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), A3-4, 2016 年 2 月 29 日～3 月 2 日.
- P4. 大西 誠, 山口 祐人, 北川 博之, "オンラインニュースとツイートのリアルタイムマッチング手法", 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), B5-2, 2016 年 2 月 29 日～3 月 2 日.
- P5. 熊本 和正, 天笠 俊之, 北川 博之, "LINQ によるビューを用いた LOD に対する分散問合せ", 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), F7-6, 2016 年 2 月 29 日～3 月 2 日.

- P6. 小柳 涼介, 天笠 俊之, 北川 博之, "木構造データに対する類似部分木検索の並列化", 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), D5-4, 2016 年 2 月 29 日～3 月 2 日.
- P7. 長 裕敏, 塩川 浩昭, 北川 博之, "高水準言語で記述可能なストリーム処理とバッチ処理の統合フレームワーク", 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), G1-4, 2016 年 2 月 29 日～3 月 2 日.
- P8. 篠塚 千愛, 渡辺 知恵美, 北川 博之, "秘密計算による秘匿検索フレームワーク OSIT-bs における検索コストと最適化", 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), F5-6, 2016 年 2 月 29 日～3 月 2 日.
- P9. 奥村 彩水, 天笠 俊之, 北川 博之, "リンク構造解析を用いた Linked Open Data に対するキーワード検索", 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), F7-4, 2016 年 2 月 29 日～3 月 2 日.
- P10. 鈴木 悠太, 佐藤 牧人, 塩川 浩昭, 北川 博之, 柳沢 正史, "脳波／筋電図を利用したマウスの睡眠ステージ判定", 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), G4-3, 2016 年 2 月 29 日～3 月 2 日.
- P11. 太田 千尋, 森嶋 厚行, 中村 聡史, 寺田 努, 北川 博之, "床に投影したマイクロタスクのデータ品質向上手法", 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), D6-3, 2016 年 2 月 29 日～3 月 2 日.
- P12. 大津 祐汰, Franck Gass, Salman Ahmed Shaikh, 天笠 俊之, 北川 博之, "リアルタイムデータと蓄積データを対象としたシームレスなストリーム OLAP 分析", 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), G1-1, 2016 年 2 月 29 日～3 月 2 日.
- P13. 秋山 賢人, 渡辺 知恵美, 北川 博之, "索引を用いた複数演算に対応した安全で効率的な秘匿検索手法", 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), F8-2, 2016 年 2 月 29 日～3 月 2 日.
- P14. 長城 沙樹, 山口 祐人, 北川 博之, 天笠 俊之, "オンラインニュースに対する Twitter 上での地域局所的な注目の分析及び予測", 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), A6-5, 2016 年 2 月 29 日～3 月 2 日.
- P15. 索手 一平, 早瀬 康裕, 北川 博之, "可逆圧縮に基づく相違性と類似ファイル数を併用したプロダクト派生関係の推定手法の提案", 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2016), G6-1, 2016 年 2 月 29 日～3 月 2 日.
- P16. 秋山 賢人, 渡辺 知恵美, 北川 博之, "索引を用いた秘匿検索における安全性の高い複数演算の連携法", 情報処理学会第 78 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2016), 2016 年 3 月 10 日～3 月 12 日.

- P17. 草村 優太, 小澤 佑介, 天笠 俊之, 北川 博之, "GPU を用いた類似画像検索の高速化", 情報処理学会第 78 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2016), 2016 年 3 月 10 日～3 月 12 日.
- P18. 長城 沙樹, 山口 祐人, 北川 博之, 天笠 俊之, "Twitter 上の社会・地理・内容的特徴を用いたローカルニュースの抽出", 情報処理学会第 78 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2016), 2016 年 3 月 10 日～3 月 12 日.
- P19. 丸山 純, 天笠 俊之, 北川 博之, "EPUB 出版物のための EPUBCFI に基づく索引の提案", 情報処理学会第 78 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2016), 2016 年 3 月 10 日～3 月 12 日.
- P20. 索手 一平, 早瀬 康裕, 北川 博之, "可逆圧縮を利用したプロダクト派生関係推定手法の実験的評価 - 圧縮アルゴリズム毎の誤りの傾向分析 -", 情報処理学会第 78 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2016), 2016 年 3 月 10 日～3 月 12 日.

(4) 著書、解説記事等

該当なし

7. 異分野間連携・国際連携・国際活動等

- 地球環境研究部門との連携：気象庁気象予報データベース「GPV/JMA アーカイブ」(<http://gvpjma.ccs.hpcc.jp>)の開発、管理、運用.
- 素粒子物理研究部門との連携：Japan Lattice Data Grid (JLDG), International Lattice Data Grid (ILDG)の運営.
- 生命科学研究部門との連携：機械学習を用いた非モデル生物におけるミトコンドリア及び関連オルガネラタンパク質の予測に関する研究.
- 国際統合睡眠医科学研究機構(IIIS)との連携：マウスの脳波／筋電図データを利用した睡眠ステージの自動判定アルゴリズム・ソフトウェアの研究開発.
- Carnegie Mellon University とのソーシャルメディア分析に関する国際共同研究.

8. シンポジウム、研究会、スクール等の開催実績

- 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM フォーラム 2016), ヒルトン福岡シーホーク (福岡県福岡市), 2016 年 2 月 29 日 (月) ～3 月 2 日 (水)

9. 管理・運営

北川博之教授

- 学外

- 該当なし
- 学内
 - システム情報工学研究科：研究科長
 - 計算科学研究センター：計算情報学研究部門長，計算科学振興室長

天笠俊之准教授

- 学外
 - 該当なし
- 学内
 - 該当なし

塩川浩昭助教

- 学外
 - 該当なし
- 学内
 - 該当なし

10. 社会貢献・国際貢献

北川博之教授

- 国際委員等
 - 国際ジャーナル編集委員：World Wide Web Journal
 - 国際会議運営委員：WAIM Steering Committee Member, DASFAA Steering Committee Member Emeritus
 - 国際会議プログラム委員：DEXA2015, IDEAS2015, CoopIS2015, AAAI2016, ACM SAC2016
- 国内委員等
 - 日本データベース学会会長
 - 日本学術会議連携会員
 - （独）科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業「ビッグデータ統合利活用のための次世代基盤技術の創出・体系化」領域アドバイザー

天笠俊之准教授

- 国際委員等
 - ACM SIGMOD 日本支部 副支部長
 - 国際会議プログラム委員：DaWaK2015, IDEAS2015, iiWAS2015, DEMoC-2015, DSAA2015, DASFAA2015, FutureTech2015 他.

- 国内委員等

- 電子情報通信学会論文誌特集号編集委員長
- 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM フォーラム 2016) 副実行委員長

塩川浩昭助教

- 国際委員等

- 国際ジャーナル査読委員 : IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, IEICE Transactions on Information & Systems, Proceedings of VLDB Endowment (PVLDB)
- 国際会議査読委員 : DASFAA2015, DEXA2015, DaWaK2015

- 国内委員等

- 日本データベース学会電子広報委員会編集委員
- 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM フォーラム 2016) Web・出版委員

11. その他

該当なし

VII-2. 計算メディア分野

1. メンバー

准教授 亀田 能成

准教授 北原 格

学生 大学院生 17 名、学類生 6 名、研究生 1 名

2. 概要

当グループが属する計算情報学研究部門は、「中長期的観点から計算科学の研究を抜本的に発展させる斬新な方法の開拓研究を行う部門」として、2004 年度に発足した部門であり、人間社会とその環境を主な対象とする新しい計算科学の枠組みを創成し、その基盤を確立することを目標として研究活動を推進している。

純粋なデータ処理の効率や速度が求められる通常のスーパーコンピュータ分野とは違い、人間に纏わる情報を処理対象とする計算科学では、情報処理の時間軸を人間に合わせることに必須である。そのために、グローバルに広がる人間社会とそれを取り巻く環境（生活空間や都市環境など）を対象とした研究を進めている。それによって得られる実観測データとシミュレーション結果の融合情報を、人間に分かり易い形で提示し人間社会へフィードバックするためには、実世界計算情報学と呼ぶべき新しい枠組みが必要となる。

具体的には、“実世界の情報をセンシングする機能”，“多様な情報を処理する潤沢な計算機能”，“情報を選択・蓄積する大規模データベース機能”を、コンピュータネットワーク上で融合することにより大規模知能情報メディアをバックボーンとして実現していく。そのバックボーン上で、先端的要素技術の研究開発と、ニーズに密着した応用システムの研究開発を並行して進めている。

本年度の報告では、下記の 2 件の研究について概要を説明する。

【1】モーションブレンダーを活用したバドミントンシャトル追跡手法：高速に移動する物体を撮影した映像中で観測されるモーションブレンダーを活用することにより、物体の位置推定精度の向上を実現する手法を提案した。物体の位置推定処理では、モーションブレンダーを観測誤差と見なすのが一般的であるが、その一方で、モーションブレンダーの観測形状は、物体の移動速度の情報を有していることが知られている。この特徴に注目し、映像情報から移動物体の位置と速度を両方同時に観測し、それらにカルマンフィルタを適用することにより、頑健な追跡手法を実現した。（主な研究費：科研費基盤 B（大田）2012～2016 年度）

【2】ドライバの体感速度変化を促すバーチャルパターン：ドライバの体感速度変化を促すバーチャルパターンを車上で運転者に提示することを提案した。自動車運転時に光学シース

ルーディスプレイが利用できることを想定し、自動車の走行速度に応じて変化するバーチャルパターンをドライバ視界に重畳する．バーチャルパターンの変化により，ドライバの体感速度変化を促し，速度抑制を目指す．実車映像を用いたシミュレーション実験による評価を実施し，提案手法の有効性を検証した．また，実車環境による評価実験も実施し，提案手法の有効性を確認した．

3. 研究成果

【1】 モーションブラーを活用したバドミントンシャトル追跡手法

映像情報を用いた移動物体追跡処理の応用分野としてスポーツ競技に注目が集まっている．スポーツシーンにおける物体追跡処理は，大規模空間で撮影した映像から，複数の高速で複雑な動きを伴う物体を同時に検出・追跡するといった課題を含有する．我々は，大規模空間で撮影された比較的解像度の低い映像から，低速から高速まで大きな速度変化を伴いながら移動する観測物体を検出し，安定して追跡する手法を提案する．高速移動する物体を撮影した映像では，物体はモーションブラー（動きによるブレ）を伴って観測される．物体の位置推定処理では，モーションブラーを観測誤差と見なすのが一般的であるが，その一方で，モーションブラーの観測形状は，物体の移動速度の情報を有していることが知られている．本研究ではこの特徴に注目し，映像情報から移動物体の位置と速度を両方同時に観測し，それらにカルマンフィルタを適用することにより，頑健な追跡手法を実現する．

図 1 のように世界座標系を定め，フレーム k におけるシャトルの状態を 3 次元位置とその速度及び加速度を用いて，式(1)のように表す．このときカルマンフィルタの状態モデルは式(2)で表される．ここで， $\mathbf{A}$ は状態遷移行列であり斜方投射運動方程式で表される．移動物体が比較的低速で運動している場合は，モーションブラーの影響を受けにくく位置 (x_k, y_k, z_k) を高い精度で推定可能なので，まず位置情報を求め，その差分情報として速度 $(\dot{x}_k, \dot{y}_k, \dot{z}_k)$ と加速度 $(\ddot{x}_k, \ddot{y}_k, \ddot{z}_k)$ を推定し，式(1)(2)を用いて追跡する．移動物体が高速で運動している場合，モーションブラーの影響により位置 (x_k, y_k, z_k) の推定精度が低下するため，モーションブラーの観測形状から速度 $(\dot{x}_k, \dot{y}_k, \dot{z}_k)$ を求め，その差分情報として加速度 $(\ddot{x}_k, \ddot{y}_k, \ddot{z}_k)$ を，積算情報として位置 (x_k, y_k, z_k) を推定し，式(1)(2)を用いて物体追跡を実現する．



図 1：世界座標系と原点の位置

$$X_k = \{x_k, y_k, z_k, \dot{x}_k, \dot{y}_k, \dot{z}_k, \ddot{x}_k, \ddot{y}_k, \ddot{z}_k\} \quad (1)$$

$$X_k = AX_{k-1} + Bu_k + \omega_k \quad (2)$$

図 2 にモーショントラッキングの観測像を用いた物体の速度の推定処理を示す．本手法では，粒子を用いて観測対象の物体の 3 次元位置と速度情報を確率的に表現する．まず，カルマンフィルタで予測された 3 次元位置周辺に粒子を散布する．初期の散布は，プロセスノイズ ω_k の範囲（球状）とする．次に，図 2 (b) に示すように，物体の色情報に基づいて粒子の位置に追跡対象の物体が存在している尤度を求め，図 2 (c) のように尤度値が低い粒子を除去する．最後に，粒子に対して図 2 (d) のように楕円体を当てはめ，その長軸ベクトル l をシャッター開放時間 t 中で割ることにより物体の速度ベクトル $\mathbf{v} = (\dot{x}_k, \dot{y}_k, \dot{z}_k)$ を求める．

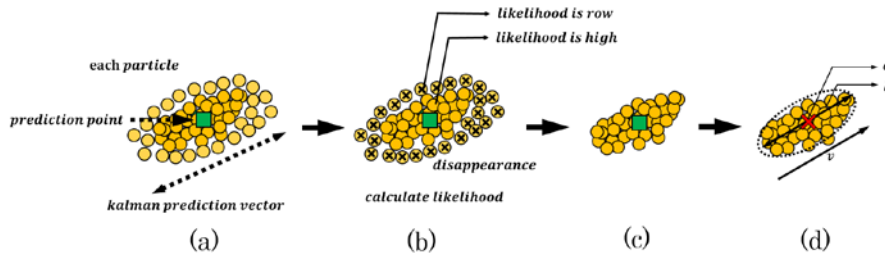


図 2：モーショントラッキングの観測像を用いた物体の速度の推定処理

低速から高速まで大きな速度変化を伴いながら移動する物体としてバドミントンシャトルを取り上げ，評価実験を実施した．図 3 に提案手法によって推定された 3 次元移動軌跡を示す．手動で位置情報を与えた結果（緑色のバツ印）と遜色のない追跡精度を自動処理によって実現できていることがわかる．

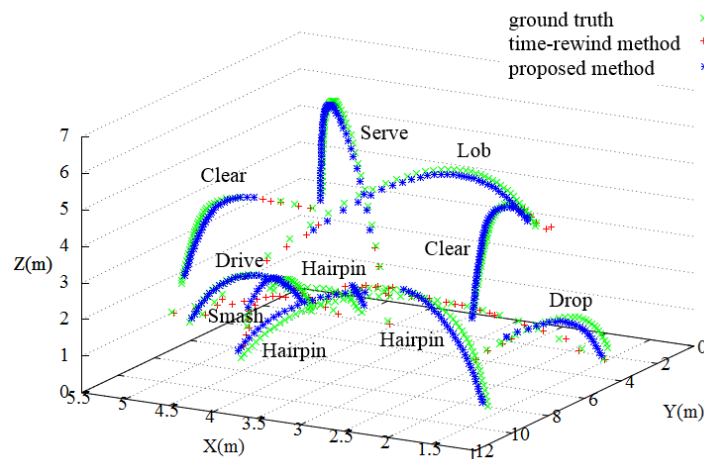


図 3：提案手法を用いた物体追跡結果

【2】ドライバの体感速度変化を促すバーチャルパターン

本研究では、バーチャルパターンによる視覚的な働きかけにより、ドライバの体感速度変化を促す方法を提案する。

人間の体感速度は、自己の身体感覚によって得られる情報の統合に基づいており、その中でも、特に視覚情報の重要性は高い。例えば、観察者が静止している電車の中で座っている際に、向かい側のホームの列車が動き出した時、自分の体は動いていないにも関わらず、視覚から受け取った情報により、自分の乗っている電車があたかも動いているかのように感じる事がある。この現象は視覚誘導自己運動（Vection）と呼ばれている。ドライバが運転の際に手掛かりとする情報の大部分が視覚情報であるため、視覚情報を用いた速度抑制手法は、理にかなっていると言える。これまでの実際的な取り組みとしては、減速してほしい路上に幾何パターンを描くことで、走行車両の速度低下を促している例などが挙げられる。ただし、この方式では、その場に差し掛かったドライバにしかその効果を与えることができない。

本研究では、光学シースルーディスプレイの具現例の一つである Wind-Shield Display（WSD）を用いて、速度抑制を促す模様を拡張現実感によって再現したバーチャルパターンを提示することを提案した。これにより、場所を問わずに速度抑制が可能となる。

バーチャルパターンは運転の際に邪魔にならないようなデザインを工夫して作成する。バーチャルパターンを提示する際の速度をコントロールすることによって、高い速度抑制効果を目指した。

バーチャルパターンは、運転者に対して速度抑制を与えるものでありながら、運転の際の邪魔にならないものとなるように注意深く作成する必要がある。本提案で提示するバーチャルパターンは、WSD を用いて表示することから、模様が浮いて見えるため、形状によらず運転風景中にある他の物体とすぐに区別できるという利点がある。そのため、バーチャルパターンを単調な形状で構成する。単調な形状であれば、面積が少なく、物体を隠しづらいため、オクルージョンが発生しづらいと考えられる。

エレメントとしては、面積が小さいほど視界の妨げにならないことから、まず点（点群）が候補となるが、運転風景によっては、視認が困難であるという問題点がある。そこで、線図形をエレメントに用いることを提案する。エレメントの配置には、空中と路面の2か所が考えられる。そのそれぞれについて、見かけの速度変化が得られるような進行方向に直交する垂直形状エレメントと、進行方向に沿った流れが分かりやすい進行方向に沿った平行形状エレメントの2種類を用意する。進行方向に沿った平行形状エレメントは路上や環境中の道路に沿った線分に埋没して見える可能性があるため、その面積を増加させた平行形状エレメントも視認性向上に有効と考えてさらに用意した。ここでは、平行形状エレメントは、面積

を増加させても停止線や交通標識など運転上重要な指標を隠す可能性が低いため、面積を増加させても運転への妨げになる可能性が低いと考えている。

実際のバーチャルパターンの例を図 4 に示す。これを運転者が運転中に見ている世界に重畳した様子が図 5 である。

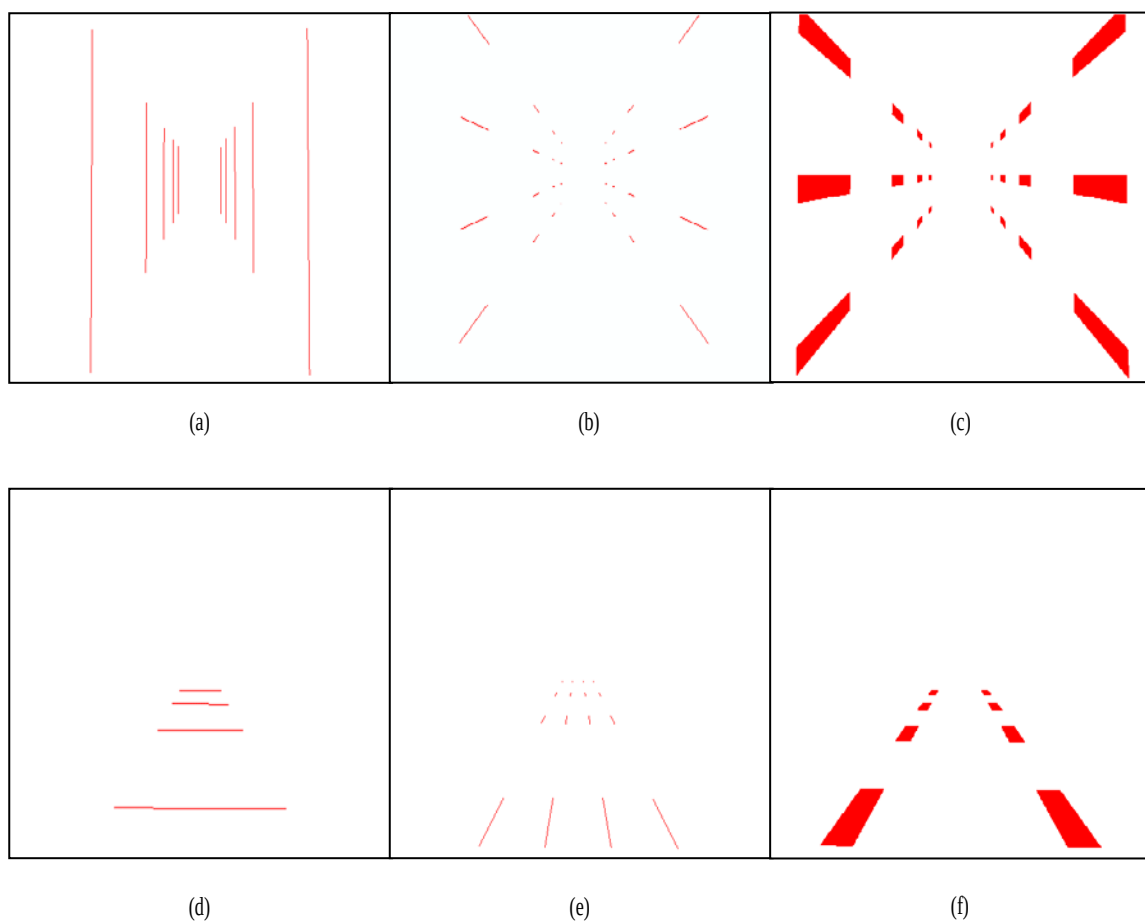


図 4：6 種類のバーチャルパターン

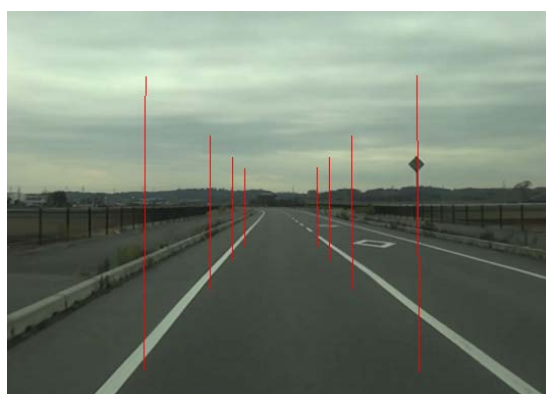


図 5：バーチャルパターン提示

こうして用意した 6 種類のバーチャルパターンに対して、速度や提示環境を変えながら被験者による評価実験を行った結果、実験においては(a)が体感速度の変化について最も効果があり、続いて(b)の効果が高いという知見が得られた。なお、詳細については下記発表文献を参照されたい。

東井 隼斗, 北原 格, 亀田 能成, 大田 友一“ドライバの体感速度変化を促すバーチャルパターン”, 電子情報通信学会論文誌 D, vol. J99-D, no. 1, pp. 45-55, 2016.

4. 教育

学生の指導状況（学生氏名、学位の種類、論文名）

笹井 翔太 修士(工学) 搭乗者のストレス軽減を目的とした自車シースルー処理と車幅の可視化

及川 純耶 修士(工学) 透明スクリーンを用いた固定カメラ映像中の被写体の実物大提示

上山 嵩 修士(工学) バドミントン競技解析のための選手追跡を用いた映像の時間分割

湊 洋輔 修士(工学) プール俯瞰映像を用いた競泳のレース解析

楊 茗越 修士(工学) 拡張現実による前方車両までの距離提示

XU HAOWE I 修士(工学) 監視カメラへの反応の観測による異常行動検知

山内 敬太 学士(工学) 快適な乗車を目的とした搭乗者の心理状態推定システム

釜坂 一步 学士(工学) 歩行者ナビゲーションに適した事前撮影映像からのデータベース生成

積田 貴幸 学士(工学) 競泳プールにおける泳者位置推定のための色情報解析

今井 健太 学士(工学) RGB-D カメラを用いた歩行可能な平面領域の検出

北村 誠之 学士(工学) 観察視点の 3 次元操作に基づく多視点映像切り替え法

志村 直樹 学士(工学) 撮影距離の異なる 2 台のカメラ間の視点移動表現法

集中講義など

北原 格

2015 年 10 月 16 日 放送大学 面接授業「体育・スポーツにおける情報学」

2015 年 11 月 12 日 豊橋技術科学大学 情報・知能工学大学院特別講義 II「スポーツ映像における物体追跡処理」

5. 受賞、外部資金、知的財産権等

受賞

該当なし

外部資金

(名称、氏名、代表・分担の別、採択年度、金額、課題名)

科学研究費補助金 基盤研究(B) 課題番号 25280056、大田友一(研究代表者)、亀田能成(分担者)、北原格(分担者)、採択 2012 年度、2,470,000 円(2015 年度分)、「大規模空間を対象とする人物ビルボードを用いた任意視点映像生成提示方式の高画質化」

科学技術振興機構受託研究費、亀田能成(研究担当者)、採択 2014 年度、7,247,500 円(2015 年度分)、「持続可能な多世代共創社会のデザイン」研究開発領域「多世代共創による視覚障害者移動支援システムの開発」

知的財産権

該当なし

6. 研究業績

(1) 研究論文

A) 査読付き論文

Youhei Kawamura, Kento Ishii, Hyongdoo Jang, Markus Wagner, Hajime Nobuhara, Ashraf M Dewan, Bert Veenendaal, and Itaru Kitahara, “Analysis of radio wave propagation in an urban environment and its application to initial disaster response support”, Journal of Disaster Research, Vol.10, No.4, pp.655-666, 2015 年 4 月

宍戸 英彦, 北原 格, 亀田 能成, 大田 友一 “モーションブレンダーを活用したバドミントンシャトル追跡手法”, 電子情報通信学会論文誌 D, vol. J98-D, no. 7, pp.1083-1097, 2015 年 7 月 1 日

宍戸 英彦, 北原 格, 亀田 能成, 大田 友一 “異なるシャッタ速度で撮影した映像を用いたバドミントンシャトル軌跡推定法”, 映像情報メディア学会学会誌, vol. 69, no. 8, J237-J244, 2015 年 7 月

雫 泰裕, 北原 格, 大田 友一 “複合現実感を用いた関心共有による展示物閲覧支援”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 20, No. 4, pp. 273-281, 2015 年 12 月

東井 隼斗, 北原 格, 亀田 能成, 大田 友一 “ドライバの体感速度変化を促すバーチャルパターン”, 電子情報通信学会論文誌 D, vol. J99-D, no. 1, pp. 45-55, 2016. 2016 年 1 月 1 日

B) 査読無し論文

該当なし

(2) 国際会議発表

A) 招待講演

該当なし

B) 一般講演

Tsukasa Sumiya, Yoshinari Kameda, and Yuichi Ohta “Location Sensitive Monitoring of Surveillance Camera Videos”, The Eighth Korea-Japan Workshop on Mixed Reality (KJMR15), 2015.

Bo Gao, Itaru Kitahara, Yuichi Ohta, “MR Lighting Coordinate Support System”, Korea-Japan Workshop on Mixed Reality (KJMR2015), 2015.

Yosuke Minato, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, and Yuichi Ohta “Swimmer Tracking by Single High-Definition Camera”, 20th Congress of European College of Sport Science (ECSS), 2015.

Yoshinari Kameda, Itaru Kitahara, Yuichi Ohta, Joe Yoshimi, Keisuke Ishikura, and Hideki Takagi, “Digital Zoom Video of Swimmers by High-Definition Camera”, 20th Congress of European College of Sport Science (ECSS), 2015.

Peng Yang, Itaru Kitahara, Yuichi Ohta, “Remote Mixed Reality System Supporting Interactions with Virtualized Objects”, IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2015), Poster, pp.64-67, 2015.

Shota Sasai, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, Masayuki Kanbara, Norimichi Ukita, Tetsushi Ikeda, Yoichi Morales, Norihiro Hagita, Kazuhiko Shinozawa, “MR Visualization of Wheel Trajectories of Driving Vehicle by Seeing-Through Dashboard”, International Workshop on Diminished Reality as Challenging Issue in Mixed and Augmented Reality (IWDR2015), 6pages, 2015.

Kazuho Kamasaka, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, and Yuichi Ohta, “Reference-Frame Selection at Walking Navigation Based on Prerecorded Video”, 1st International Workshop on Challenges and Applications of Urban Augmented Reality (in conjunction with ISMAR2015), 2015.

Hidehiko Shishido, Yoshinari Kameda, Itaru Kitahara, and Yuichi Ohta, “3D Position Estimation of Badminton Shuttle Using Unsynchronized Multiple-View Videos”, 7th Augmented Human International Conference (AH2016), 2016.

(3) 国内学会・研究会発表

A) 招待講演

北原 格, 韓垂 由美, “ドライビング・アシスト・デザイン 視知覚情報 AR 拡張現実によるアプローチ”, 総合デザイン工学科公開レクチャー講演会, 2015. 4. 21, 前橋工科大学

北原 格, “複合現実感技術によるウィンドシールドディスプレイの開発と運転者への視覚支援”, AR ヘッドアップディスプレイセミナー, 2015. 9. 8, 技術情報協会, 日幸五反田ビル

北原 格, “自由視点映像技術を用いたスポーツ中継システムの開発”, 次世代デジタルコンテンツが拓く新ビジネス創出セミナー2015, 2015. 9. 18, みなとパーク芝浦 リーブラホール

北原 格, PoTS 映像学シンポジウム～自由視点映像／自由焦点映像が切り開く新しい映像表現の地平～ パネルディスカッション “PoTS 映像学をどう育て、どう活用

して行くのか”のパネリスト担当, 2016. 3. 10, 慶應義塾大学 日吉キャンパス 来往舎

B) その他の発表

笹井 翔太, 北原 格, 亀田 能成, 大田 友一, 神原 誠之, 浮田 宗伯, 池田 徹志, Morales Yoichi, 萩田 紀博, 篠沢 一彦, “拡張現実提示による自動走行ストレス軽減の試み”, 交通心理学会第 80 回大会, 2A-1, 2015 年 6 月 6 日～7 日, 早稲田大学

上山 嵩, 北原 格, 亀田 能成, 大田 友一, “Image Inpainting 処理を用いたバドミントン映像における選手追跡精度の向上”, 映像情報メディア学会年次大会 2015, 2 pages, 2015 年 8 月 26 日～28 日, 東京理科大学

鵜 亮輔, 北原 格, 亀田 能成, 大田 友一, “車両の進行方向に対する対称性を利用した外形復元”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.115, no.245, pp.103-108, 2015 年 10 月 8 日～9 日, 小樽観光物産プラザ

志田 全弘, 亀田 能成, 北原 格, 大田 友一, 松田 壮一郎, 山本 淳一, 鈴木 健嗣, “多視点映像閲覧のためのデータハンドリングとカメラ位置ズレ補正”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.115, no.245, pp.67-72, 2015 年 10 月 8 日～9 日, 小樽観光物産プラザ

及川 純耶, 北原 格, 亀田 能成, 大田 友一, “環境埋め込み型カメラ映像提示のための透明スクリーンキャリブレーション”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.115, no.245, pp.55-59, 2015 年 10 月 8 日～9 日, 小樽観光物産プラザ

上山 嵩, 北原 格, 亀田 能成, 大田 友一, “白線領域除去によるバドミントン映像からの選手位置解析”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.115, no.245, pp.37-42, 2015 年 10 月 8 日～9 日, 小樽観光物産プラザ

楊 茗越, 亀田 能成, 北原 格, 大田 友一, “測域センサを用いた前方車両の視覚情報提示支援”, 第 13 回 ITS シンポジウム 2015, 6 pages, 2015 年 12 月 3 日～4 日, 首都大学東京

北原 格, 志田 全弘, “多視点を用いたコミュニケーションの記録と観察”, HCG シンポジウム 2015, pp.327-331, 2015 年 12 月 16 日～18 日, 富山国際会議場

謝 淳, 亀田 能成, 北原 格, 大田 友一, “大規模空間における Interactive Projection Mapping システム”, HCG シンポジウム 2015, pp.283-286, 2015 年 12 月 16 日～18 日, 富山国際会議場

今井 健太, 北原 格, 亀田 能成, 大田 友一, “RGB-D カメラを用いた歩行可能な平面領域の検出”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.115, no.494, pp.13-18, 2016/3/7-8, 名桜大学

釜坂 一步, 北原 格, 亀田 能成, 大田 友一, “経路上の歩行者位置推定に適した事前撮影映像からのデータベース生成”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.115, no.494, pp.19-24, 2016/3/7-8, 名桜大学

馬 雪詩, 北原 格, 亀田 能成, 大田 友一, “視覚障害者の歩行支援のためのジェスチャ入力方式の検討”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.115, no.494, pp.163-168, 2016/3/7-8, 名桜大学

Xu Haowei, 亀田 能成, 北原 格, 大田 友一, “監視カメラへの反応の観測による異常行動検知”, 情報処理学会第 78 回全国大会, no.2, pp.223-224, 2016 年 3 月 19 日～12 日 慶応義塾大学

Cesar Daniel Rojas Ferrer, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, and Yuichi Ohta, “Players Displacement Based on Captured Data in a Vr Soccer Training Simulation”, Proceedings of the 2015 IEICE General Conference, pp.306, 2016/3/15-18, Kyushu University, Japan

張 欣博, 北原 格, 亀田 能成, 大田 友一, “サッカー選手軌跡記録からの試合の VR 再体験”, 電子情報通信学会 2015 年総合大会講演論文集, pp.305, 2016 年 3 月 15 日～18 日, 九州大学

宋戸 英彦, 亀田 能成, 北原 格, 大田 友一, “モバイルカメラ映像を補完的に用いた疎に配置した多視点カメラのキャリブレーション”, 電子情報通信学会 2015 年総合大会講演論文集, pp.134, 2016 年 3 月 15 日～18 日, 九州大学

原崎 葵, 亀田 能成, 北原 格, 大田 友一, “高速で移動する物体を撮影した映像に適したフレーム補間法”, 電子情報通信学会 2015 年総合大会講演論文集, pp.152, 2016 年 3 月 15 日～18 日, 九州大学

(4) 著書、解説記事等

亀田 能成 (Chapter 5, Section 2, “Casper Cartridge”), 北原格 (Chapter 3, Section 4, “自由視点映像技術を用いた MR”), “AR (拡張現実) 技術の基礎・発展・実践” (蔵田武志, 清川清監修, 大隅隆史編集), 2015.

亀田 能成, “コンピュータビジョンに基づく動きの計測”, 日本バイオメカニクス学会 バイオメカニクス研究, vol.19, no.4, pp.256-260, 2016 年 3 月 15 日

7. 異分野間連携・国際連携・国際活動等

8. シンポジウム、研究会、スクール等の開催実績

9. 管理・運営

亀田 能成

筑波大学 e ラーニング委員会委員

エンパワーメント情報学プログラム運営委員会委員

エンパワーメント情報学プログラム学生委員会委員長

北原 格

筑波大学全学共通教育計算機システム WG 委員

システム情報工学研究科広報委員長

10. 社会貢献・国際貢献

亀田 能成

IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2015;

PC member

電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解 研究専門委員会 委員

電子情報通信学会 マルチメディア・仮想環境基礎 研究専門委員会 副委員長

電子情報通信学会 サイバーワールド 時限研究専門委員会 委員

北原 格

電子情報通信学会和文論文誌 D 編集幹事

映像情報メディア学会スポーツ情報処理時限研究会 (SIP)幹事

日本バーチャルリアリティ学会 SIG-MR 研究会幹事

11. その他

北原格 野村総合研究所による「スポーツ×IT 教室」(スポーツ分野での IT 活用に関する授業)に技術協力, 2016 年 3 月 3 日

Digital Contents Expo (DCEXPO2015), Features2015 スポーツを変えるコンテンツ技術展示「自由視点映像スタジアム」, 2015 年 10 月 23 日・25 日