

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 22 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25240007

研究課題名(和文) 組み込みシステム向けデータ集約型パラダイムの実現と車両走行制御への適用

研究課題名(英文) Realization of data-intensive paradigm for embedded systems and its application to vehicle control

研究代表者

高田 広章 (Takada, Hiroaki)

名古屋大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：60216661

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,800,000円

研究成果の概要(和文)：近年、ビッグデータを解析してその中から有用な情報を取り出す研究が多く行われ、これを元に新しい科学的手法であるデータ集約型科学が登場している。本研究では、この新しいパラダイムを組み込みシステムに適用し、安全運転支援アプリケーションとしての有用性を検証した。特に、リアルタイム性、あるいは、可用性のアルゴリズムを確認するために、ダイナミックマップ実現のためのデータベース管理システムを開発し、複数の自動運転車両、路側センサ、クラウドシステムを利用して実証実験を行った。

研究成果の概要(英文)：Recently big data mining is the capability of extracting useful information from large datasets, which introduces a new analysis paradigm called data-intensive science. In this research we have tried to adopt this new paradigm into embedded systems, and to verify the usefulness of as safety driving support applications. We developed the data base management system, for confirming real-time functions and availability, to realize dynamic map functions and performed the field experiment by using multiple automated vehicles, roadside sensors and cloud systems.

研究分野：組み込みシステム

キーワード：組み込みシステム ストリームデータ処理 ダイナミックマップ 知的交通システム(ITS) クラウド

1. 研究開始当初の背景

(1) ビッグデータを扱う手法として、科学第 4 のパラダイムである「データ集約型科学 (data-intensive science)」として注目されている。従来のように既知の法則に基づいて設計法を構築するのではなく、高性能な計算資源を基盤に膨大なデータ(ビッグデータ)を出発点として規則を発見するという新しいパラダイムであり、天文学や医学、環境学における科学的法則の発見や近未来の予測や異変の察知、産業分野では利用者のニーズに則したサービスの提供、業務運営の効率化など、さまざまな分野において新しく研究がなされている。

(2) 一方で、最近、高齢者ドライバによる事故数の増加が著しく、今後この傾向はさらに顕著になると予想されている状況において、自動車にカメラやレーダなどのセンサを搭載し、危険を事前に察知し運転者に警告を与え補助する技術が登場してきた。さらに、Google では実際に自動運転の公道での実験なども実施されている。しかし、自車に搭載された単独のセンサの検知範囲には限界があり、死角や急な飛び出しなどには対応できない。そこで、無線通信ネットワークを利用して走行車両や路側、歩行者から得られるセンサデータを動的に収集、解析することで、安全性の確保や効率性の向上を目的とした車両走行制御が求められている。

2. 研究の目的

(1) ビッグデータの観点から、データ集約的科学的な新しいパラダイムにおける現在の一般的な研究方法は、主にクラウドに集約されたビッグデータをデータマイニングなどの手法で詳細に解析し、そのデータの中に潜む規則性を探索するものである。ビッグデータを比較的静的な環境に

おいて解析し、そこに法則を導き出すという成功例はすでにいくつかある。一方、本研究の位置づけは、このパラダイムを組込みシステムに対して適用し、組込みシステムとして重要な要因であるリアルタイム性、信頼性、可用性といった動的データ品質の保証に重点を置いて研究開発を実施し、実際のアプリケーションに適用して有効性について検証する。

(2) 本研究で対象とするアプリケーションは、センサデータをリアルタイムに集約、解析する必要のある車両走行制御である。現在、各車両等のセンサデータを融合させ、歩行者や障害物などの認識をアルゴリズムの観点から向上させる取り組みが国内外で実施されている。また、車々間通信、路車間通信を利用して情報交換を行うことで、安全性向上、環境配慮を目的とした協調 ITS に関する研究開発も世界中で行われている。特に、欧州では欧州電気通信標準化機構が中心となって、協調 ITS のネットワークアーキテクチャや通信メッセージの標準化の積極的な検討が実施され、車両の走行状態(位置や速度、進行方向)や障害物、信号状態などの動的情報を地図上で統一的に管理するダイナミックマップあるいは **Local Dynamic Map (LDM)** としての実現を目指している。

3. 研究の方法

(1) 車両に搭載されたセンサ情報に基づき衝突危険を判断しドライバへの警告や自動で危険を回避する安全運転システムや、車々間・路車間通信を利用した協調型 ITS、さらに、これらの技術を基盤とした自動運転が研究されており、我々のこれまでの研究成果として開発した「走行環境認識のための車内および周辺状況データの統合化・抽象化」として複数の車載センサから得ら

れるデータを論理的データ空間に統合し高速ストリーム処理を通してアプリケーション自動構築プラットフォームの研究を基盤とし、組込みシステム向けデータ集約型パラダイムを適用した新しいソフトウェアフレームワークを構築し、LDM (Local Dynamic Map, さらには、内閣府が中心に進める戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)におけるダイナミックマップの研究開発に向けて、本研究の成果としてのデータ集約型パラダイムにおける組込みシステムとしての検証を行うとともに、実証実験を行いその有効性を確認する。

(2) 車載システムに搭載される組込みシステム向けデータ管理システムeDSMSから得られる各種センサデータや車車間通信など様々なデータをスマートデバイスのアプリケーションから利用することを可能とするデータストリーム処理システム AeDSMS(Android embedded DataStream Management System)を開発した。これによって運転手や乗客、歩行者を支援するスマートデバイス向けアプリケーションの開発が容易にする。2013年度に AeDSMS v0としてその効果がより早期に検証するため、車載 eDSMS 側のスキーマへの依存する簡易なアーキテクチャを採用した。すなわち、eDSMS から取得するデータのフィールド情報を定義した XML 形式のスキーマファイルを作成する、次に PC でスキーマファイルを入力として、AeDSMS のソースコードを自動生成するものを開発した。2014年度は AeDSMS v1として、より汎用的なアーキテクチャを目指して車載 eDSMS 側のスキーマへの依存をなくすことを目指した。このために、Java のハッシュマップ機能を利用した。複数アプリケーションからの利用を可能とするために、Android eDSMS を Android の Activity だけでなく

Service としても実装した。Android のアプリケーションプログラムからこの実装の違いが見える利用が簡単でなくなるため、通信ライブラリを作成し、両者の違いを Android のアプリケーションプログラムから隠ぺいした。2015年度は、AeDSMS v1を車載システムだけでなく、情報共有・協調動作アプリケーションのプラットフォームとしての利用を図るため、新たなスケジューラを考案した。

4. 研究成果

(1) 車載システムの構成要素である電子制御ユニット(ECU)が複数連動して動作する環境において、ECUの環境に依存せずダイナミックマップのデータを扱える基本機能を定義した。そのアーキテクチャを定義した基本仕様におけるコンセプトの検証のため、Windows 環境でのプラットフォームを実装した。本プラットフォームでは、リアルタイム性の維持・保証を実現することができる。ユーザはアプリケーションに出力されるストリームにデッドラインを指定でき、車両制御、衝突警告、情報提供に、それぞれ個別のデッドラインを指定できる。リアルタイム性を満たすため、ストリーム処理にリアルタイムスケジューリングを導入する。ここでは、広範なストリーム処理に適用可能なリアルタイムスケジューリング方式を提案した。本ス

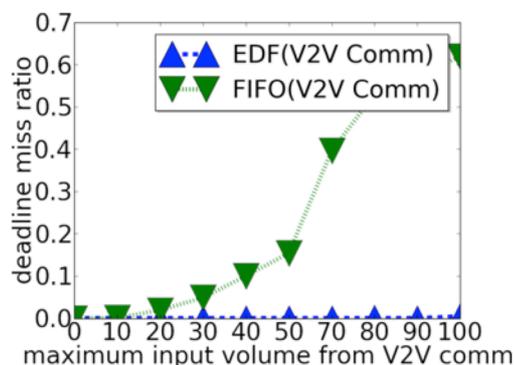


図1:リアルタイム性評価

スケジューリング方式(EDF)は、従来方式(FIFO)よりも、リアルタイム性を満たして多くのストリームデータを処理できることを確認した。本研究のスケジューリング方式と、従来方式を車間通信アプリケーションに適応してリアルタイム性の評価した結果を図1に示す。

(2) 可用性向上を目指して、データ更新の際のコールバックによる処理駆動、およびプラットフォーム内のタイマによるスケジュールに従った処理を有し、動的データを扱う基本構造を具現化し、ソースコードを自動生成するツールも開発した。センサ情報としてGPSの位置情報から車両走行レーンを特定し、詳細地図の属性情報であるレーン毎の危険度と、ステレオカメラで検知した障害物情報を組み合わせ、運転者へ注意喚起を促すアプリケーションを作成した。それぞれのセンサが異なる周期で動作してデータを提供しながら、プラットフォームを介してデータ更新を契機に処理を駆動するシステムを実現することができた。走行シナリオは PreScan を用いて作成し、ZMP社のRoboCar 1/10上で性能を測定した。ユーザが記述するプログラムは、行数にして9割以上が削減され、有効性も確認した。京都スマートシティエキスポのデモンストレーションとして、複数の自動運転車両および路側センサに通信機能を搭載し、実際のクラウドにデータを集約し地図データと重畳できるダイナミックマップのシステムを構築した。各車両からクラウドのデータを利用できるとともに、一般のスマートフォンなど歩行者の携帯端末からも閲覧となるような実証実験を実施した。実証実験風景を図2に示す。

(3) Android eDSMSの有効性を検証するためにデモシステムを作成した(図3)。デモシステムは車載eDSMSを搭載したZMP社の1/10ロボカーとAndroid eDSMSから構成されるアプリケーションである。これ以外に利用者の好みに合わ



図2:ダイナミックマップ実証実験風景

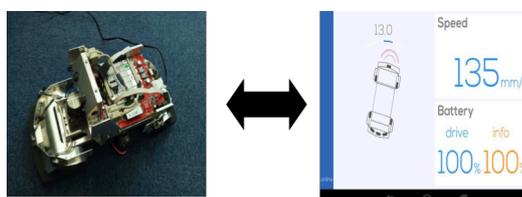


図3:Android版試作デモシステム

せた画面を短期間で開発することができた。本デモシステムは2014年11月28, 29日の神戸市で行われた神戸ITフェスティバル他でデモ展示した。また、Android eDSMSの性能評価を行った。クエリジェネレータが生成するクエリの実行制御部のオーバーヘッドは、0.06ミリ秒であり、許容範囲と考えている。次にAndroidの単一プログラムでActivityを利用する場合と複数プログラムからServiceとして利用する場合の比較を行った。前者は4.69ミリ秒、後者は8.75秒であり、大きな差が出た。これはService利用においてAndroidのプロセス間通信が発生しているため

である。利用時に注意が必要であることが分かった。上で開発したデータフロークエリ言語を利用して、共同協調作業支援のために、作業におけるワークフローの記述を試みた。共同協調活動では車載システムのように直ちに処理を行うのではなく、時間がたってから処理を行うことも想定される。これを簡単に実現するためにデータフロークエリの階層型スケジューラを導入した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 11 件)

- ① Meng Xie, Ryota Ayaki, Hideki Shimada, and Kenya Sato, P2P-based Mobile Video Delivery Method Using Network Coding, The Science and Engineering Review of Doshisha University, 査読有, 54(3), 2013, pp.:211-220.
- ② 佐藤 健哉, 狭帯域通信を考慮した車両環境情報の効率的分散処理プラットフォーム, 自動車技術, 査読無, 68(2), 2014, pp.29-34.
- ③ Shingo Akiyama, Yukikazu Nakamoto, Akihiro Yamaguchi, Kenya Sato, and Hiroaki Takada, Vehicle Embedded Data Stream Processing Platform for Android Devices, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 査読有, 6 (2), pp.285-294, DOI: 10.14569/IJACSA.2015.060240.
- ④ Hideki Shimada, Akihiro Yamaguchi, Hiroaki Takada, and Kenya Sato, Implementation and Evaluation of Local Dynamic Map in Safety Driving Systems, Journal of Transportation Technologies, 査読有, 5(2), 2015, pp.102-112, DOI: 10.4236/jtts.2015.52010.
- ⑤ 山口 晃広, 渡辺 陽介, 佐藤 健哉, 中本 幸一, 高田 広章, 車載組込みシステム向けデータストリーム処理のリアルタイムスケジューリング, 情報処理学会データシステム論文誌, 査読有, 8(2), 2015, pp.1-17.
- ⑥ 山口 晃広, 渡辺 陽介, 佐藤 健哉, 中本 幸一, 高田 広章, 車載組込みシステム向けデータストリーム処理のリアルタイムスケジューリング, 情報処理学会データシステム論文誌, 査読有, 8(2), 2015, pp.1-17.

- ⑦ Tatsuya Yamada, Mayu Mitsukawa, Hideki Shimada, Kenya Sato, Evaluation of Effective Vehicle Probe Information Delivery with Multiple Communication Methods, Communications and Network, 査読有, 7(1), 2015, pp.71-80, DOI: 10.4236/cn.2015.72007.
- ⑧ 渡辺 陽介, 高田 広章, 運転支援・自動運転のための高精度デジタルマップ, 日本ロボット学会誌, 査読無, 30(10), 2015.

[学会発表] (計 57 件)

- ① Yukikazu Nakamoto, Masanori Okamoto, Mohanmed Bhuiya, Akihiro Yamaguchi, Kenya Sato, Shinya Honda, Hiroaki Takada, Android Platform based on Vehicle Embedded Data Stream Processing, 2013 IEEE 10th International Conference on Ubiquitous Intelligence & Computing and 2013 IEEE 10th International Conference on Autonomic & Trusted Computing, 2013.12.18, LLOYD'S BAIA HOTEL (VIETRI SUL MARE, ITALY).
- ② Akihiro Yamaguchi, Kenya Sato, Naoyuki Shiba, Shinya Honda, and Hiroaki Takada, ADVISE: Autonomous Driving Vehicle for Individuality in a Stream Environment, The 6th Biennial Workshop on Digital Signal Processing for In-Vehicle Systems, 2013.9.29-2013.10.2, Korea University (Seoul, Korea).
- ③ Kenya Sato, Erika Matsumoto, Hideki Shimada, Akihiro Yamaguchi, Shinya Honda, Hiroaki Takada, A Proposal of Network Architecture for Narrowband V2X Communication, The 20th ITS World Congress, 2013.10.14-2014.10.18, Tokyo Big Sight (Tokyo, Japan).
- ④ Satoshi Katsunuma, Shinya Honda, Kenya Sato, Yousuke Watanabe, Yukikazu Nakamoto and Hiroaki Takada, Real-time-aware Embedded DSMS Applicable to Advanced Driver Assistance Systems, The 1st International Workshop on Future Technologies for Smart Information Systems, 2014.10.6, Nara, Japan.
- ⑤ 山口 晃広, 渡辺 陽介, 佐藤 健哉, 中本 幸一, 高田 広章, デッドラインを持つクエリプラン割り当てによる分散ストリーム処理のリ

- アルタイムスケジューリング方式, 情報処理学会研究報告(データベース), 2014.11.11., 東京, 日本.
- ⑥ 山口 晃広, 佐藤 健哉, 中本 幸一, 渡辺 陽介, 高田 広章, 車々間通信を用いた安全運転支援のためのリアルタイムストリーム処理, 情報処理学会研究報告(高度情報システムとスマートコミュニティ), 2014.9.12, 鳥取, 日本.
- ⑦ Jaeyong Rho, Akihiro Yamaguchi, Kenya Sato, Takuya Azumi and Nobuhiko Nishio, ROP-EDF: Reservation-Based OP-EDF Scheduling for Automotive Data Stream Management System, IEEE 11th International Conference on Embedded Software and Systems, 2014.8.20, Paris, France.
- ⑧ Yukikazu Nakamoto and Shingo Akiyama, A Propose for Mobile Collaborative Work Support Platform Using an Embedded Data Stream Management System, The 14th International Workshop on Assurance in Distributed Systems and Networks, 2015.6.29, Columbus, USA.
- ⑨ Yukikazu Nakamoto, Exploring a Uniform Framework for a Mobile Collaborative Work Support Platform, The 12nd IEEE International Conference on Advanced and Trusted Computing, 2015.8.10, Beijing China.
- ⑩ Akihiro Yamaguchi, Yukikazu Nakamoto, Kenya Sato, Yousuke Watanabe and Hiroaki Takada, EDF-PStream: Earliest Deadline First Scheduling of Preemptable Data Streams - Issues Related to Automotive Applications, the 21st IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications, 2015.8.21, Hong Kong, China.
- ⑪ Akihiro Yamaguchi, Yukikazu Nakamoto, Kenya Sato, Yoshiharu Ishikawa, Yousuke Watanabe, Shinya Honda, and Hiroaki Takada, EDSMS: Automotive Embedded Data Stream Management System, IEEE 31st International Conference on Data Engineering, 2015.4.14, Soeul, Korea.
- ⑫ Hiroaki Takada, Dynamic Map for Efficient Software Development, ITS World Congress 2015, 2015.10.9, Bordeaux, France.
- ⑬ Kenya Sato, A Field Experiment of LDM Global Concept in Kyoto, ITS World Congress 2015, 2015.10.9, Bordeaux, France.
- ⑭ 鈴木 有也, 佐々木 健吾, 佐藤 健哉, 高田 広章, クラウド型自動運転を指向したストリーム処理型 LDM の低遅延処理手法, 組込みシステムシンポジウム 2015, 2015.10.14, 東京都 早稲田大学.

[図書] (計 2 件)

- ① 佐藤 健哉, 昔農 凜太郎, コンピュータネットワーク, 共立出版, 2014.4, p.169.
- ② 佐藤 健哉 (分担執筆), 自動運転, 先進運転支援システムの最新動向とセンシング技術, 技術情報協会, 2015.9.30, p.366.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高田 広章 (TAKADA HIROAKI)

名古屋大学・情報科学研究科・教授

研究者番号:60216661

(2) 研究分担者

佐藤 健哉 (SATO KENYA)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号:20388044

中本 幸一 (NAKAMOTO YUKIKAZU)

兵庫県立大学・応用情報科学研究科・教授

研究者番号:70382273

本田 晋也 (HONDA SHINYA)

名古屋大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号:20402406