

## 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 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22240003

研究課題名（和文）

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・抽象化技術の開発

研究課題名（英文）

Development of Automotive Data Integration Architecture Platform for Vehicle Driving Environment Recognition

研究代表者

高田 広章 (HIROAKI TAKADA)

名古屋大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：60216661

研究成果の概要（和文）：近年，車両に搭載されたセンサにより走行環境を認識し，ドライバへの警告や自動で危険を回避する安全運転支援システムが登場してきた．しかし，車載センサとそのデータの種類・量の増加に伴い，アプリケーションのデータ依存による再利用性や代替性が低下し，システム全体の設計・開発の複雑化が問題となっている．この問題へのアプローチとして本研究では，ストリームデータ処理技術を適応した車載データ統合アーキテクチャに基づく組込みシステム実現のためのソフトウェアプラットフォーム(Cloudia)の構築を行い，その有効性，実現性を示した．

研究成果の概要（英文）：Safety driving support systems to recognize vehicle driving environment with onboard sensors are appeared recently, which is to provide safe driving and danger warning to drivers. However, due to the systems composed of many kinds of sensors and need to handle sensor data with onboard complicated application situations, it has become difficult to design and develop the whole sophisticate systems. In this study, to approach the problems we have developed a software platform "Cloudia" based on the automotive data integration architecture with data stream processing technology, and verify its availability and realization through feasibility study.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	8,900,000	2,670,000	11,570,000
2011年度	9,400,000	2,820,000	12,220,000
2012年度	9,400,000	2,820,000	12,220,000
総計	27,700,000	8,310,000	36,010,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，計算機システム・ネットワーク

キーワード：知的交通システム (ITS)，データベース，組込みシステム，センサ情報

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 近年，自動車事故が原因による死者数は減少の傾向にあるが，事故数そのものは増加の傾向にある．特に高齢者ドライバによる事故数の増加が著しく，高齢化社会を迎えるに

あたり今後この傾向はさらに顕著になると予想されている．高齢者ドライバの事故の原因は，加齢にともなう状況判断能力の低下と操作の遅れ・誤りだと言われており，高齢者の運転を的確に支援する技術が求められて

いる。

(2) 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プリクラッシュセーフティなどの技術が登場してきた。しかし、これらの技術は発展途上であり、非常に高価であるため、広く普及するには至っていない。

## 2. 研究の目的

(1) 一般に車載ソフトウェアの規模と複雑性の増大に対処するため、現在は AUTOSAR に代表されるようにソフトウェアプラットフォームを利用したアプリケーション連携が有用であると考えられている。しかし、本研究では、ソフトウェアのモジュール化による設計を考えるのではなく、ソフトウェアの規模以上に今後大幅な増大が予想される多種多様なセンサから得られる走行環境に関するデータを論理的な空間に統合し、このデータ空間に対して統一的な手法でアクセスするアーキテクチャの確立を目指す。

(2) 本研究におけるデータ統合アーキテクチャの実現により、車両システムの設計容易性向上、低価格化、高性能化、高付加価値の実現が可能となることを検証するため、地図データに関して欧州から世界標準として提案されている Local Dynamic Map (LDM) で定義されている API を持つデータベースを構築し、その中にストリーム型データ管理システムの機能を組み込んだ融合システムを構築し、複数車両の走行を模擬できるシミュレータからのデータを利用した処理性能評価を通して、システムとしての妥当性の検証を行う。

(3) 車両間のセンサ情報の交換により、自動車の隊列走行や次世代新世代交通のためのデータ通信プラットフォームにも応用でき、安全性に加え、環境にも優しい交通システムの導入にもつながる。加えて、ロボットの走行制御などの自動車以外の多方面の分野への応用が可能であり、これからの組み込み産業を支える基盤技術と成りうる。

## 3. 研究の方法

(1) 本研究では、車両に搭載された複数のセンサから得られる走行環境情報を論理的なデータ空間に統合し、このデータ空間に対して統一的な手法でアクセスすることで、複数のアプリケーションから容易に情報を取得する技術の開発を行う。そこで、安全運転支援のため車両に搭載されたセンサからの情報に基づき障害物や前方車との衝突危険性を論理データ空間として実現するため、センサデータの蓄積型データ管理システム(図 1)を利用したシステムを構築する。

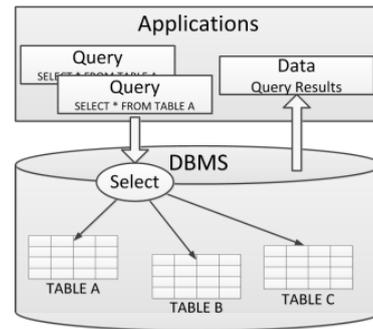


図 1 蓄積型データ管理システム

蓄積型データ管理システムでは、逐次生成されるセンサおよびアプリケーションからのクエリの実行において、データベースへのアクセスがボトルネックになることが予想される。そこで、センサデータを効率的に処理するためデータストリーム型データ処理システム(図 2)を開発し、情報処理に必要な計算量やモジュール間の通信オーバーヘッドを評価する必要がある。

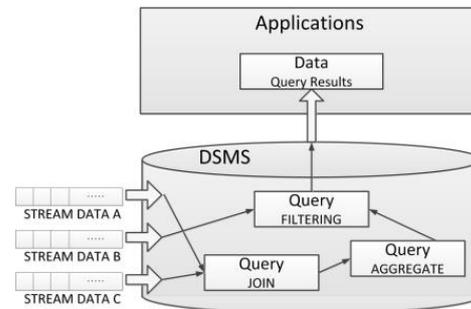


図 2 ストリーム型データ処理システム

これら 2 つのシステムを比較すると、蓄積型データ管理システムは、地図データをはじめ固定的障害物のデータに関して効率がよいが、短時間で移動する車両や歩行者に関するデータを処理すると実時間性の要件を満たすことができず、一方で、ストリーム型データ処理システムはその逆の特性を持つ。そこで、これら双方のメリットを活かすため蓄積型データ管理システムとストリーム型データ処理システムを融合したシステム(図 3)の検討、設計を計る。

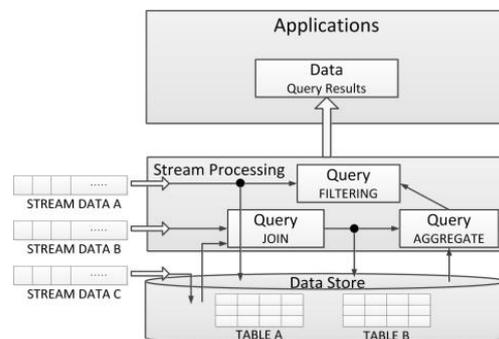


図 3 蓄積型・ストリーム型を融合したデータ処理システムの設計

(2) 車載データ統合アーキテクチャのデータ空間において、ストリーム処理技術を利用したデータ管理を適応したデータストリーム管理システム(DSMS)を適応ため、DSMSは従来の蓄積型データベース管理システム(DBMS)と異なり、時々刻々センサから送られてくる一過性のデータを逐一データベースに格納した後に処理するのではなく、CQL(Continuous Query Language)を用いて、Filter, Union, Map, Join, Aggregateなどのオペレータを用いて処理を行う。クエリは、各オペレータ間のデータの流れを指定することで実現され、そのオペレータを置換、追加することにより、処理内容を容易に統合、分散することが可能となる。実際に車載データ統合アーキテクチャに基づいたアプリケーションを開発するためには、従来のソフトウェア開発手法とことなり、アプリケーション設計者がクエリを組み合わせることで機能を実現し、それに基づきターゲットシステムに最適化したバイナリを自動生成するソフトウェア開発システムを開発する。図4にソフトウェア自動生成の手順を示す。

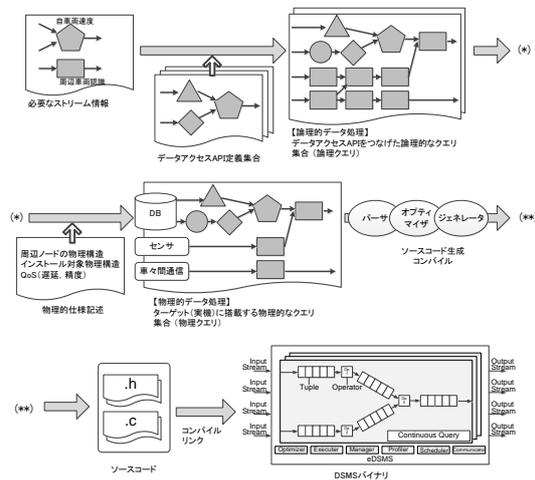


図4 ソフトウェア自動生成

まずアプリケーションの要求に従って、あらかじめ定義したAPI(ライブラリ)を組み合わせることでクエリのセットを生成する。次に、実行環境やQoSに従って、クエリの枝狩りをし、実際にシステムに組込むクエリを生成する。ここでの自動生成ではクエリを最初から開発するというよりは、事前に定義しているAPIを活用するにより開発容易性が向上させる。次の過程では、クエリからDSMSのランタイムのソースコードを生成する。生成した物理クエリに対し処理最適化を施し、実行表現を生成する。そして実行表現を読み込み、事前に定義したストリームの管理部や、各オペレータの実行部、スケジューラやLDMのDBとの連携部のソースのテンプレートから、ソースコードを生成します。このように、従来の汎用システム向けDSMSとは異なり、クエリからDSMSのソースコードを生成することで、静的にコードを決定できる。また、処理最適化によりソースコードを最適

化することにより、レイテンシ削減、スループット向上、コードサイズやデータサイズの最小化を実現することが可能となる。車載向けの組込みシステムなどでは、特に、安定性、高速性、信頼性が求められるため、本研究では、動的なノード割り当てではなく、ノードの処理性能、ネットワークの特性を判断し、静的に定義した複数のクエリを分散するノードへ配置する方式を採る。

#### 4. 研究成果

(1) 車載データ統合アーキテクチャの検証にあたり、MITなどが開発した動的分散型データストリーム管理機構 Borealis をモデルとした組込みシステム向けストリーム処理モジュール、および、その開発のためのランタイム環境である Cloudia の開発を行った。Borealis は、アプリケーションからのクエリは複数のオペレータを接続したグラフとして与え、登録されたオペレータはシステムによって動的に最適なノードに割り当てられるが、Cloudia では車載組込みシステムをターゲットとして静的にソフトウェアを生成する。通常の蓄積型データ管理システムを利用してLDMを実現したシステムと、本研究で開発したストリーム型データ処理システムを利用した場合において、実際の地図上において車両モデルを走行させ、車両走行シミュレータを利用して、前方車両衝突検知警告アプリケーションを実装して評価を行った。その結果、ストリーム型データ処理システムのほうが100倍以上高速に動作するという評価結果が得られた。

(2) アプリケーションを実現するためのソフトウェア自動生成の環境を構築し評価を行った。本研究では、車載組込みシステムの中でシステム開発コストの増大が特に課題となっている運転支援(AUTOSAR)およびカーナビゲーション(Linux)に適応可能なDSMSとして、eDSMS(embedded DSMS)の開発を行った。eDSMSでは、システム内においてアプリケーションが固定され、クエリにより記述された処理が動的に変更されないことに着目して、開発時に静的にランタイムジェネレータによりクエリからランタイムを生成し、ランタイムの最適化や、車載組込みシステムに適したランタイム構成を実現することにより、遅延時間増大、システム安定性低下の問題を解決する。具体的には、クエリに従って必要最小限のモジュールのみを含むランタイムを生成することで、ROM使用量を削減する。また多種多様なハードウェア/OSに対応したモジュールを持ち、実行環境のコンフィギュレーションに応じて適切なモジュールを選択することで、車載組込みシステムの様々なハードウェア/OSに適用する。さらに複数のクエリ間の処理の共有化等を静的に行うことで、動的なオペレータ間の接続が必要な箇所を最小限とし、RAM使用量及び処理レイテンシを削減することが可能とな

る。車載組込みシステムを想定した組込み環境で eDSMS を動作させ、車載組込みシステムの多様なハードウェア/OS への適用性、RAM/ROM 使用量、処理レイテンシについて評価を行った。運転支援システムとしては、Altera 社の FPGA ボードを活用し、OS として AUTOSAR に準拠した RTOS である TOPPERS/ATK2 を搭載した。eDSMS 上で動作させる車載データ処理は先行車両認識に関するクエリである。先行車両認識クエリでは、前方のレーダや自車速、ステアリングの情報を入力源とし、オペレータにより先行車両の有無、先行車両の速度、先行車両との相対速度/車間距離を計算し、追従走行を支援するアプリケーションに配信する。一方、カーナビゲーションとしては、ZMP 社の RoboCar を活用し、OS は Linux (Fedora10)である。eDSMS 上で動作させる車載データ処理は周辺車両認識に関するクエリである。周辺車両認識クエリでは、自車センサ情報、車々間通信により受け取る他車センサ情報、データベースに格納されている道路地図情報を入力源とし、オペレータにより前方車両及び、交差点における交差車両、右折時の対向車両の情報を計算し、アプリケーションに配信する。eDSMS でコンパイル対象のモジュールを選択することにより、運転支援システム及びカーナビゲーションを想定した環境のハードウェア/OS に自動的に適用することを検証した。同じくモジュール選択によりROMの使用量(表1)を減らし、またオペレータの動的接続の除去により、RAM使用量(表2)を削減することで、実システムのメモリに搭載可能となることを確認した。

表1 ROM使用量

	運転支援	カーナビ
コード領域	101,376 byte	171,612 byte
定数領域	260 byte	10,236 byte
合計	101,636 byte	181,848 byte

表2 RAM使用量

	運転支援	カーナビ
静的領域 (初期値なし)	32,688 byte	63,500 byte
静的領域 (初期値あり)	264 byte	212 byte
スタック領域	688 byte	1,309 byte
ヒープ領域	—	1,309 byte
合計	33,640 byte	66,300 byte

また、オペレータの動的接続除去及び、スレッド数の削減により処理レイテンシを削減することで遅延時間を削減し(表3)、具体的に車載データ処理の必要性能を満たすことを確認した。

表3 処理レイテンシ

	運転支援	カーナビ
平均	683 $\mu$ s	11,800 $\mu$ s
最大	689 $\mu$ s	13,100 $\mu$ s
最小	662 $\mu$ s	9,490 $\mu$ s

eDSMS では従来の汎用システム向けの DSMS とは異なり静的に定義されたクエリから、(1)DSMSのランタイムを生成、(2)クエリ内の不要なオペレータの動的接続を除去、(3)スケジューラによるオペレータ呼出しやストリームキューを削減、(4)クエリやコンフィギュレーションに従ってランタイムに搭載するモジュールを選択、(5)静的に指定されたアプリケーションと DSMS をリンク、これらの過程を経て単一スレッドで実行可能であることを確認し実システムとしての動作を検証した。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計9件)

- [1] 勝沼 聡, 本田 晋也, 佐藤 健哉, 高田 広章, 車載組込みシステム向けデータストリーム管理の静的スケジューリング方式, 情報処理学会論文誌 データベース, 査読有, Vol.5, No.3, 2012, pp. 36-50
- [2] Kenya Sato, Hideki Shimada, Satoshi Katsunuma, Akihiro Yamaguchi, Masahiro Yamada, Shinya Honda, and Hiroaki Takada, Stream LDM: Local Dynamic Map (LDM) with Stream Processing Technology, The Science and Engineering Review of Doshisha University, 査読有, Vol. 53, No.3, 2012, pp. 28-35
- [3] 勝沼 聡, 山口 晃広, 熊谷 康太, 本田 晋也, 佐藤 健哉, 高田 広章, 車載組込みシステム向けデータストリーム管理システムの開発, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J95-D, No.12, 2012, pp. 2031-2047
- [4] Ryota Ayaki, Hideki Shimada, and Kenya Sato, A Proposal of Sensor Data Collection System Using Mobile Relay Nodes, Wireless Sensor Network, 査読有, Vol. 4, No. 1, 2012, pp. 1-7, DOI: 10.4236/wsn.2012.41001
- [5] 加藤 隆志, 光川 真由, 綾木 良太, 島田 秀輝, 佐藤 健哉, 車々間通信のためのデータセントリックルーティング(DCR)の設計と評価, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 53, No. 1, 2012, 265-174
- [6] 山田 達也, 光川 真由, 島田 秀輝, 佐藤 健哉, 車々間通信における効率的なジオキャスト伝送方式の検討, 情報科学技術フ

- フォーラム講演論文集, 査読有, Vol.4, 2011, pp. 63-66
- [7] 周 勅, 綾木 良太, 島田 秀樹, 佐藤 健哉, クラウドサービスにおける分散コンポーネントフレームワークの提案, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 52, No.2, 2011, pp.415-423
- [8] 山田 真大, 鎌田 浩典, 佐藤 健哉, 手嶋 茂晴, 高田 広章, 車両制御システムのためのセンサデータ統合管理方式の検討, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J93-D, No.7, 2010, pp.1189-1201
- [9] 山田 真大, 鎌田 浩典, 手嶋 茂晴, 高田 広章, 佐藤 健哉, データストリーム管理機構を利用した車載データ統合モデルの提案と評価, 自動車技術会論文集, 査読有, Vol.41, No. 2, 2010, pp.419-424
- [学会発表] (計22件)
- [1] 佐藤 健哉, [招待講演] ストリーム LDM -ストリーム処理による LDM の高速化とアプリケーション開発プラットフォームの構築-, 平成 24 年度第 2 回 DRM セミナー, 2013.3.14, 日本デジタル道路地図協会 (東京都)
- [2] 勝沼 聡, 熊谷 康太, 山口 晃広, 本田 晋也, 佐藤 健哉, 高田 広章, 車載データ管理プラットフォームの運転支援アプリケーションへの適用, 第 5 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, 2013.3.4, ホテル華の湯 (福島県)
- [3] 山口 晃広, 島田 秀輝, 伊藤 信一, 石原直樹, 本田 晋也, 佐藤 健哉, 高田 広章, ストリーム LDM: データストリーム管理システムによる LDM の高速化, 第 11 回 ITS シンポジウム, 2012.12.13, 愛知県立大学 (愛知県)
- [4] 佐藤 健哉, Cloudia: Car-to-X データ統合プラットフォーム~安全運転支援のための分散ストリーム処理の実現~, 第 3 回名古屋大学組込みシステム研究センターシンポジウム, 2012.10.9, 名古屋大学 (愛知県)
- [5] 山口 晃広, 本田 晋也, 佐藤 健哉, 高田 広章, 車載システム向けデータストリーム管理システムにおけるクエリ自動構築手法, 第 11 回情報科学技術フォーラム, 2012.9.5, 法政大学 (東京都)
- [6] Shiwei Yang, Mayu Mitsukawa, Hideki Shimada, and Kenya Sato, A Study of Data Processing Platform by MapReduce for Driving Environment, 第 74 回情報処理学会全国大会, 2012.3.6, 名古屋工業大学 (愛知県)
- [7] 佐藤 健哉, 勝沼 聡, 山口 晃広, 島田 秀輝, 本田 晋也, 中本 幸一, 高田 広章, Cloudia: 車載データ統合プラットフォーム -基本コンセプト-, 第 24 回 EMB 合同研究発表会, 2012.3.3, ホテル松島大観荘 (宮城県)
- [8] 勝沼 聡, 杉本 明加, 山口 晃広, 山田 真大, 金 榮柱, 本田 晋也, 佐藤 健哉, 高田 広章, 車載システム向けストリームデータ処理の提案と評価, 情報処理学会組込みシステム研究会, 2011.11.29, 立命館大学 (京都府)
- [9] 佐藤 健哉, 山田 真大, 島田 秀樹, 金 榮柱, 本田 晋也, 高田 広章, Local Dynamic Map (LDM) の設計と評価, 問題点とその対策, 第 10 回 ITS シンポジウム, 2011.11.4, 東京大学 (東京都)
- [10] 山口 晃広, 山田 真大, 勝沼 聡, 本田 晋也, 佐藤 健哉, 高田 広章, 車載 DSMS における静的クエリ最適化, 第 4 回 Web とデータベースに関するフォーラム, 2011.11.4, 工学院大学 (東京都)
- [11] 勝沼 聡, 山口 晃広, 山田 真大, 杉本 明加, 金 榮柱, 本田 晋也, 佐藤 健哉, 高田 広章, 組込みシステム向けストリームデータ処理プラットフォーム -車載データ統合への適用-, 第 13 回組込みシステム技術に関するサマーワークショップ, 2011.9.1, 水明館 (岐阜県)
- [12] 松本 江里加, 光川 真由, 島田 秀輝, 佐藤 健哉, 車線を考慮した車々間通信向け効率的 IP アドレス割り当て手法の提案, 第 10 回情報科学技術フォーラム, 2011.9.9, 函館大学 (北海道)
- [13] 島田 秀輝, 山田 真大, 佐藤 健哉, 行動履歴を用いた詳細道路情報収集システムの提案, 第 10 回情報科学技術フォーラム, 2011.9.8, 函館大学 (北海道)
- [14] Masahiro Yamada, Kenya Sato, and Hiroaki Takada, Implementation and Evaluation of Data Management Methods for Vehicle Control Systems, IEEE Vehicular Technology Society Conference, 2011.9.8, Hilton Union Square (San Francisco, USA)
- [15] 光川 真由, 山田 達也, 島田 秀輝, 佐藤 健哉, 車々間通信による車両走行環境情報の階層的伝送手法の検討, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム, 2011.7.7, 天橋立宮津ロイヤルホテル (京都府)
- [16] 勝沼 聡, 山田 真大, 本田 晋也, 佐藤 健哉, 高田 広章, ストリーム処理を用いた車々間通信データのフィルタリング方式, 情報処理学会 ITS 研究会, 2011.6.24, 大阪大学 (大阪府)
- [17] 山田 達也, 光川 真由, 島田 秀輝, 佐藤 健哉, 車々間通信における効率的なジオキャスト伝送方式の検討, 第 73 回情報処理学会全国大会, 2011.3.4, 東京工業大学 (東京都)
- [18] 佐藤 健哉, [招待講演] 自動車走行環境

認識のためのセンサデータ処理機構, 電子情報通信学会 データ工学研究会, 2010.6.29, 名古屋大学(愛知県)

- [19] 山田 真大, 青木 優, 日高 隆博, 山崎 二三雄, 佐藤 健哉, 高田 広章, 交通事故シナリオに基づく予防安全システムのシミュレーション分析, 情報処理学会 ITS 研究会, 2010.6.18, 首都大学東京 秋葉原サテライトキャンパス(東京都)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

<http://www.nces.is.nagoya-u.ac.jp/project/index.html#02>

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

高田 広章(TAKADA HIROAKI)  
名古屋大学・大学院情報科学研究科・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  
手嶋 茂晴(TESHIMA SHIGEHARU)  
株式会社豊田中央研究所・BR 社会システム  
研究部・主任研究員  
研究者番号:50394599