

報告番号	※甲	第	号
------	----	---	---

主論文の要旨

論文題目 車載システム向けリアルタイム分散ストリーム処理

氏名 山口 晃広

論文内容の要旨

近年、自動車の機能として自動運転や車両衝突回避などの安全運転支援に注目が集まっている。このような安全運転支援システムは、車速センサ、レーダ、レーザ、カメラなど、車両の状態や周辺状況を監視するセンサを車載システムに搭載し、複数のセンサデータを組み合わせて周辺環境を認識し、その情報をもとに車両の制御やドライバーへの警告を行うセンサ情報処理として実現される。そのため、車載システムのデータ処理は複雑化している。

このような自動運転も含めた安全運転支援におけるセンサ情報処理には、平均的に低遅延だけでなく、センサからデータが発生してからその処理が完了するまでの end-to-end の遅延時間があらかじめ定められた許容時間（end-to-end デッドライン）を超えないリアルタイム処理が求められる。このリアルタイム処理要求を満たせないと、車両の前方に危険な事象が発生したときドライバーへ警告を行うなどの遅延時間を保証できず、車両が衝突するなどの事故を防ぐことができない。

一方、安全運転支援のセンサ情報処理では、車両や歩行者の追跡が行われる。しかし、センサデータには誤差がのるため、GPS や複数のセンサを統合して誤差を低減することで信頼性を上げるセンサデータフュージョンが必要である。車載システムに搭載されるセンサのみを用いた安全運転支援では、見通しの悪い交差点からの急な飛び出しなど、走行中に搭載センサで監視できない状況への対応が難しい。このような問題に対して、近年、搭載センサに加えて車々間通信や路車間通信など車外との通信を利用して相互に情報を交換することで、より安全な走行を目指す協調 ITS の活用が進められている。特に車々間通信では、各車両が通常 100 ミリ秒周期でブロードキャストするため、車々間通信から受信するデータの量は走行状況により増大する。このような状況では、リアルタイム処理要求を満たしながら、多くのデータの信頼性をあげて処理することが重要な課題となる。また、車々間通信から受信するデータでは、到着タ

イメージが通信遅延を無視しても 100 ミリ秒遅れる可能性があり、センサからデータを読み込む時刻と車々間通信を経由して車載システムにデータが到着する時刻には差が生じる。そのため、このような out-of-order な入力データへの対応も課題となる。

一方、車載システムは ECU (electronic control unit) と呼ばれる複数のノードが車載ネットワークで繋がれた分散システムであり、各ノードに様々な複数のセンサが搭載されている。車載ネットワークはバスとゲートウェイで繋がれた複雑なネットワークである。また、それらの構成は車種によって異なる。そのため、自動車の製造メーカーではソフトウェアの開発コストを抑えることが課題となっており、ソフトウェアプラットフォームが必要である。

データの管理や処理を効率的に行うプラットフォームとしてはデータ管理システムの導入が有効である。特にデータレートの変化する連続的なデータを低遅延に処理するには、データストリーム処理 (ストリーム処理) が好適である。データストリーム処理システムでは、ユーザがデータ処理を容易に記述できるクエリを提供する。これにより、センサやアプリケーションの追加や変更に対応しやすくなる。特に、車載システムではそれを構成する各ノードにセンサが分散して搭載されているため、そのデータ処理は複数のノードに分散する。そのため、分散ストリーム処理システムが必要となる。

しかしながら、従来のストリーム処理を直接用いて車載システムのデータ処理要求を満たすことは難しい。リアルタイムシステムの分野ではリアルタイムスケジューリングがリアルタイム処理要求を満たすのに有効であることが知られている。一方、ストリーム処理の分野においてもスケジューリングの研究は良く行われているが、平均時間やメモリ使用量の削減やスループットの向上を目的としており、リアルタイム処理要求を満たすことを目的としていない。そのため、ストリーム処理における従来のスケジューリング方式ではリアルタイム処理要求を満たすことは難しい。また、分散ストリーム処理ではオペレータと呼ばれる演算単位を各ノードに割り当てるオペレータの配置方式が良く研究されている。しかしながら、それらの従来方式はオーバーレイネットワークを想定しており、バスやゲートウェイで繋がれた車載ネットワークへ適用することは難しい。全てのストリームキューを走査しようとするとうバヘッドが増大する問題がある。このように、車載システムのデータ処理要求に合った分散ストリーム処理の技術開発が必要となる。

本研究の具体的な内容は以下の 3 つである。

1 つ目の研究として、車載システムのデータ処理要求からデータストリーム処理システムに必要な技術課題を整理し、それらを解決する分散ストリーム処理システム (Automotive Embedded Data Stream Management System; AEDSMS) を提案する。AEDSMS では、ソフトウェア開発時に位置透過で再利用性の高い高レベルなクエリから車種ごとにカスタマイズされた低レベルなクエリに変換する。ソフトウェア開発時にクエリを変換することで、クエリ実行時にはその変換を行わずオペレータのノードへの配置が確定した状態となる。これにより、リアルタイム処理要求に必要な予測可能性と車種展開におけるクエリの再利用性を高める。また、クエリが車種ごとに異なるノードやネットワーク構成に影響を受けない性質である位置透過性を実現するためのオペレータ配置方式においては、車載ネットワークに対してノード間でデータが流れる

経路を正しく考慮してネットワーク使用量を見積もるようにすることで従来のオペレータ配置方式を適用可能にする。更に、各ノードに配置されたオペレータセットにデッドラインを適切に設定し、各ノード上の DSMS にリアルタイムスケジューリングを導入することで、分散ストリーム処理全体のリアルタイム処理要求を満たす。加えて、センサデータフュージョンを行うオペレータをデータストリーム処理システムに導入することでデータの信頼性を向上する。車々間通信を用いる車両衝突警告を AEDSMS のクエリとして作成し、AEDSMS におけるクエリ実行時の性能を評価する。その結果、デッドライン処理要求を満たすことを確認し、車両衝突事故率の低減及び車両情報の位置精度の向上を確認する。

2 つ目の研究として、各ノード上の DSMS におけるリアルタイムスケジューリング方式を提案する。車載システムのストリーム処理ではオペレータの出力が分岐する場合や車外からの入力データの到着が遅れてタイムアウトする場合など複雑なデータ処理に対応する必要がある。特に車々間通信のように大量のデータが様々なタイミングで入力されるストリーム処理ではスケジューリングのオーバーヘッドを削減することが必要となる。そこで、本研究ではオペレータの列をまとめてスケジューリングを行うことでスケジューリングのオーバーヘッドを削減する方法を提案する。本提案では、オペレータの出力に分岐がある場合やタイムアウトがある場合に対応できるようにオペレータの列を構成するアルゴリズムを示す。基本性能評価により本方式がストリーム処理における従来のスケジューリング方式に比べてデッドライン処理要求を満たすことを確認する。アプリケーション性能評価により、車々間通信を用いた車両衝突警告のクエリを用いて、デッドライン処理要求を満たし車両衝突事故率を低減することを確認する。

3 つ目の研究として、通信遅延などの影響でセンサからデータを読み込む時刻 DSMS にデータが入力される時刻が異なる out-of-order な入力データに対して、各ノード上の DSMS のリアルタイムスケジューリングを効率的に行う方法を提案する。Out-of-order な入力データを考慮するには、ストリームキューは従来のように First-In, First-Out (FIFO) ではなく優先度キューが必要となる。特に特定のストリームキューで優先度キューの走査が不要であることを明らかにし、それに基づき効率的にリアルタイムスケジューリングを行う方式を示す。実験評価では、車々間通信を用いた車両衝突警告のクエリを用いてストリーム処理のリアルタイムスケジューリング方式を含む従来方式と比較し、デッドライン処理要求を満たし車両衝突事故率を低減することを確認する。

以上の 3 点を柱として、入力データ量が大きくその到着タイミングも変動する車々間通信を用いた安全運転支援を主なアプリケーションの対象として、そのデータ処理要求を満たすストリーム処理方式を提案する。車々間通信を用いた車両衝突警告をストリーム処理により実現し、リアルタイム処理要求や車両衝突回避及び車両位置精度向などにおけるクエリ実行時の性能を評価する。以上の内容により、車々間通信を用いた安全運転支援システムにおける提案方式の有効性を確認する。