報告番号	※甲　　　第　　　号

主　論　文　の　要　旨

論文題目　　CANの高速化と最大遅れ時間解析手法の研究

氏　　名　　倉地　亮

論　文　内　容　の　要　旨

自動車に求められる様々な要求を実現するために，自動車にはECU (Electronic Control Unit) と呼ばれる制御用コンピュータが搭載されており，各ECUは車載制御ネットワークを介してデータを共有することでその機能を実現している．また，自動車の制御システムは，ある時間以内に処理が必ず実行されることが求められるリアルタイムシステムであるため，各ECUの処理と各ネットワークに流れるメッセージには厳しいデッドラインが課されている．

近年，車両1台あたりに搭載されるECUの数は急増しており，車載制御ネットワークに流れるデータ量も増加している．特に，車載制御ネットワークの事実上の標準であるCAN (Controller Area Network) の転送能力の限界から，より高い転送能力を持つ次世代車載LANプロトコルへの移行が検討されている．しかしながら，次世代車載LANプロトコルの多くは既存する車載制御システムを再構成することが求められており，自動車の開発ライフサイクルやコスト，品質などのリスクから直ぐに移行することは難しいとされている．このため，近い将来に対してはCANの転送容量を効率的に使用する方法，その先の将来に対してはCANに代わる次世代車載LANプロトコルが求められている．

これらCANを中心とする車載制御ネットワークの課題に対して，本研究は主に以下の3つに分類される．

1つ目に，既存するCANネットワークのスケジュール可能性を向上するために各CANメッセージに初回送信時間を分散するためのオフセットと呼ばれる初回送信時間が与えられている場合がある．このオフセット付きCANメッセージの最大遅れ時間解析手法がこれまでに提案されている．しかしながら，この従来手法は解析に要する時間は少なく抑えられているものの，解析結果が現実的に発生しうるよりも悲観的になる場合がある．このため，本研究では，まず従来手法が悲観的に解

析される場合があることを指摘し，その悲観さを取り除いたより正確な最大遅れ時間を導出する方法を提案する．本評価の結果，提案手法は従来の解析手法に比べて解析に要する時間は必要となるものの，悲観さの無いより正確な最大遅れ時間を導出するとともに，最悪状況発生時のシナリオを導出することで解析結果の妥当性検証を容易にした．

2つ目に，次世代車載LANプロトコルとして，PtoP型スケーラブルCANプロトコルを提案する．PtoP型スケーラブルCANプロトコルは，ネットワークトポロジをスター型に限定することで，伝送路効率を最大限に保ちながら，極力短いバックオフ時間で調停されるアルゴリズムにより高速化を実現したプロトコルである．このプロトコルの評価として，ネットワークシミュレータや最大遅れ時間解析手法を用いて，提案プロトコルがCANの10倍のメッセージ量を送信できる能力があることを示した．さらに，FPGA (Field-Programmable Gate Array) 上へ通信コントローラを実装し，AUTOSAR (AUTomotive Open System ARchitecture) に準拠できること及び，実環境下でも転送速度10Mbpsにおいて約7Mbpsのスループットがあることを確認した．

3つ目に，2つ目の次世代車載LANプロトコルとしてタイムスロット型スケーラブルCANプロトコルを提案する．PtoP型スケーラブルCANプロトコルは，各ノードが物理的に1対1接続とすることで，リアルタイム性を保証し，転送速度に対するスケーラビリティを確保した．しかしながら，コスト制約の厳しい車載制御ネットワークにおいてCANの置き換えを狙うには，ゲートウェイなどの追加装置が必要になることや，ゲートウェイまでのケーブルの配線長が長くなることが課題となる．そこで，PtoP型スケーラブルCANプロトコルの前提を緩め，CAN同様のバス型ネットワークを構成できるタイムスロット型スケーラブルCANプロトコルを提案する．このタイムスロット型スケーラブルCANプロトコルは，マルチマスタを維持しつつ，バス上での衝突を極力回避するよう送信権を巡回するプロトコルである．このプロトコルの評価として，提案するプロトコルの最大遅れ時間解析手法を用いて，CANにおけるデッドラインを保証しつつ，6〜10倍のメッセージ量が送信できる能力があることを示した．さらに，FPGA上へ通信コントローラを実装し，実環境下においてシステム起動時のノード間の同期に要する時間を評価し考察した．

最後に，本研究全体を通じて，車載制御ネットワークの事実上の標準であるCANを対象とし，その最大遅れ時間解析手法とCANに代わる次世代車載LANプロトコルを提案することで，今後さらに重要性が増すであろう車載制御ネットワークの技術的な進展に貢献する．