

氏名	いし がき まさ ひろ 石 垣 政 博
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 2086 号
学位授与の日付	平成 13 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工学研究科応用システム科学専攻
学位論文題目	Studies on Modeling and Performance Analysis of Communication Systems with Improved CSMA/CD (改良 CSMA/CD を採用した通信システムのモデリングと性能評価に関する研究)
論文調査委員	(主査) 教授 高橋 豊 教授 金澤 正憲 教授 酒井 英昭

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論分は、通信システムにおける代表的なランダムアクセスプロトコルである CSMA/CD プロトコルのマルチメディア通信に向けた再送制御方式ならびに回線監視方式の改良とその性能評価を待ち行列理論におけるマルコフモデルに基づく厳密な解析手法を用いて行った研究成果を纏めたものである。全体は 5 章からなっており、CSMA/CD プロトコルをベースとした通信システムにおける、1) 動的再送制御方式の安定性、2) リアルタイムトラヒックに対応する再送制御方式の性能特性、3) 無線通信への回線監視スキーム適用の有効性、について述べている。

第 1 章は序論であり、最初に LAN (Local Area Network) における通信プロトコルの分類とランダムアクセスプロトコルに分類される CSMA ならびに CSMA/CD プロトコルのトラヒック制御方式の概要について述べ、CSMA/CD プロトコルの有効性に触れている。次に、本論文で用いる待ち行列理論に基づく通信プロトコルの厳密な解析手法を示し、システム状態の定義と解析のポイントとなるトラヒックが衝突する場合のモデル化を考察し、解析から得られる性能評価量について述べている。さらに、通信システムにおける標準的な CSMA/CD のトラヒック再送制御方式と回線監視方式について、本論文で取り扱う個別の話題を中心に概説している。

第 2 章では、IEEE802.3 として標準化されている CSMA/CD プロトコルにおける音声などのリアル・タイム・トラヒックの送信遅延の安定性問題を取り上げ、これを解決するために考案されたプロトコルの性能解析とそれに基づく性能評価結果を与えている。まず、改良プロトコルのトラヒック再送制御方式について概括し、離散時間隠れマルコフ連鎖による再送制御方式のモデル化を行っている。次に、第 1 章で述べられた基本的な状態定義に従って、通信回線の状態遷移間隔長の結合確率母関数ならびに隠れマルコフ点間の状態遷移確率母関数を導出し、これから平衡状態確率分布を求めている。次に、出力時間間隔の結合確率母関数を導出している。さらに、送信遅延の解析では、これを互いに独立な期間に分割して解析し、起こり得る事象をすべて捉えることで、応答時間の確率母関数の導出に成功している。これら解析結果から、性能評価尺度を算出し、改良プロトコルが達成する安定性に対する効果の確認に成功している。

第 3 章では、リアル・タイム・トラヒックと非リアル・タイム・トラヒックをそれぞれの通信品質への要求レベルに合わせて送信する問題を取り上げ、マルチメディア通信に対する CSMA/CD の改良を提案し、その性能解析と数値的な評価結果を与えている。ここでは、リアル・タイム・トラヒックと非リアル・タイム・トラヒックのそれぞれで異なる再送制御を行い、リアル・タイム・トラヒックの平均送信遅延を短くする方法が提案されている。初めに、システム状態の定義を行い、第 2 章と同様な解析手法により、通信回線の状態遷移間隔の結合 LST ならびに隠れマルコフ点間の結合状態遷移 LST を導出し、さらに、リアル・タイム・トラヒックおよび非リアル・タイム・トラヒックそれぞれの出力時間間隔の結合 LST ならびにそれぞれの送信遅延の LST を導出している。性能評価量の数値結果から、即時呼の応答特性が改良されていることを確認している。さらに、リアル・タイム・トラヒックのみならず非リアル・タイム・トラヒックについても、回線利用率、平均送信遅延などの性能評価量の向上を確認し、改良プロトコルの有効性を示している。また、少ない計算機資源でも、

高精度の性能評価予測が可能であることも示している。

第4章では、無線通信へCSMA/CD方式を適用した場合の問題点を論じ、回線監視方式の改良を述べ、そのプロトコルの性能解析と評価結果を与えている。回線監視を一定長の短いパケット送信後に行うことにより、衝突の検知を可能にする新しいプロトコルに関して、モデル化に際するシステム状態の定義に工夫を施し、解析的な取扱いを可能にしている。ここでは、隠れマルコフ点間の遷移において起こり得る事象を正確に分析し、厳密な状態遷移記述を行い、出力時間間隔の結合LSTならびに送信遅延のLSTの導出に成功している。さらに、性能評価量の数値結果を算出し、これらから、回線監視方式を適用した効果の確認に成功している。

第5章は結論であり、本論文で得られた結果について要約している。さらに、本論文で適用されている解析手法の有効性について述べ、他のプロトコルの解析も同様なアプローチで可能であることに言及している。また、無線通信特有の問題の解析を取り上げ、今後更に重要となると考えられるいくつかの課題について触れて、本論文を締めくくっている。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、通信システムにおける代表的なランダムアクセスプロトコルであるCSMA/CDプロトコルのマルチメディア通信に向けた改良とその性能評価に関する研究成果を纏めたもので、得られた主な成果は以下のように要約される。

- (1) 標準のCSMA/CDプロトコルにおいてはトラフィック量が増加するに伴い、分散的な再送制御から生じる応答時間の変動の増大により実時間トラフィックの即時性が損なわれる問題を解決するために、動的再送制御機能を付加したCSMA/CDプロトコルを提案し、その性能評価を行っている。待ち行列理論に基づく解析により、性能評価尺度の確率母関数を陽に導出し、提案方式の優位性を数値結果で示した。
- (2) 実時間トラフィックを優先的に処理するとともにトラフィック種別に動的再送制御を行うCSMA/CDプロトコルを提案し、厳密な解析から性能評価尺度のLSTを陽に導出した。解析結果に基づく数値結果から、システム全体のスループットの向上、トラフィック種別に応じた通信品質確保に向けた柔軟な対応が可能であることを示し、改良方法の有効性を示した。
- (3) CSMAプロトコルを無線通信に適用するために送信を複数パケットに分割し、パケット間に回線監視を取り入れたCSMA/CD方式の性能評価を行っている。厳密な解析から性能評価尺度のLSTを陽に導出し、スループットに関して改良方法の有効性を数値結果により明示した。

以上、本論文は、今後のマルチメディア・トラフィックの多様な通信品質を実現する観点から、CSMA方式の改良とその性能評価に関する研究を纏めたものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成13年5月18日、論文内容とそれに関連する試問を行った結果、合格と認めた。