

ソフトTCCSオブジェクトクラス・ STOCについて

中野 宣政[†]、安藤 勉[‡]、太田 賢[‡]、佐藤 文明[‡]、水野 忠則[‡]

[†]三菱電機(株)、[‡]静岡大学工学部

既存のネットワークを利用し、その応用層にTCCS(Time Critical Communication System)を構築するためには、対象ネットワークの諸特性を限定的にモニタリングすることでその利用可能な帯域を、何らかのアルゴリズムにより予測し把握する必要がある。特に、昨今FAにおいて有用性が高まりつつあるCSMA/CDに関しては、利用する側の与える負荷の内容により、ダイナミックな特性を有し、特に我々が利用したいとする、ライトウエイトな負荷対応での十分な理論構築が成されていない。本稿では、CSMA/CDネットワーク上へのTCCS構築のため、とくにライトウエイト状況での特性解析の試みとして、マルコフ連鎖理論の応用によるモデル構築と、理論計算、および数値解析の試みについて述べる。

The Development of STOC: Soft TCCS Object Class

Nobumasa Nakano[†],

Tsutomu Ando[‡], Ken Ohta[‡], Fumiaki Sato[‡], Tadanori Mizuno[‡]

[†]Mitsubishi Electric Co.LTD., [‡]Shizuoka University

It must be required to have some scheme and algorithms to estimate the bandwidth of existing networks on which the Time Critical Communication system will reside as its application layer by observing some restricted characteristics on it. Especially it is strongly requested to utilize CSMA/CD networks as TCCS in FA Field.

This Paper describes the experimental work of creation of discrete timed Queue models using Markov chains theory to analyze the performance of CSMA/CD Network and also the calculation based on the derived theory.

1. はじめに

我々は、TCCS (Time Critical Communication System)の実現に関し、既存のオープンネットワークプロバイダーを利用し、その上にネットワーク資源の管理、サーバの応答性能管理、モニタリング機能メカニズムを構築するソフトTCCSを提唱している。先の飯塚におけるワークショップにて、これらに関しそのフレームワークを提示した。また、ソフトTCCSを構築する上でのTCCSオブジェクトクラスの抽出と、そのLOTOS記述仕様のミュレーション実証システムの構築について発表した^[1]。

現場のネットワーク応用の世界では、既存のネットワーク対応の現実的な解決策が緊急に必要とされている。例えばFAにおいては、IEEEイーサネットおよびTCP/IPを、その優れた相互接続性/低価格性に着目し、FAシステム用ネットワークとして使用したいとする要求が高まっている。またマルチメディア対応では、電話と計算機通信を既存のイーサネットネットワークに同居させ、ケーブルを一本に統合するシステムの提案がある。しかしながらこれら応用において、既存のネットワークは上記技術報告書、およびフレームワークにまとめられているTCCA/TCCSの要件を何等満たしていないため、例えば上記FA応用においては、ネットワーク上のトラフィックの多寡によって、IEEE802.3-CSMA/CDのレスポンスは大幅に変動し、少なくともトータルの帯域制限無しではTCCAとしてのサービス要件である”所定のタイムウインドウ内での通信サービスの完了”は図れないであろう。また上記電話と計算機通信の同一ケーブル上への同居例でも、相互の帯域の管理無しでは、お互いに相手の通信を阻害することになり、音声通信に必要とされる一定のジッター以内でのスムーズな送達要求、または計算機間のスムーズなデータ伝送要求を同時に満たせないことは明らかである。

本稿はISO8802.3CSMA/CDに関し、工場自動化における大部分のリアルタイム要

求性能を充分満足できるのではないかと、という期待に対し、先に発表したソフトTCCSのスキームを適用するための検討に関するものである。即ち、我々のソフトTCCSスキームに置いては、明示的にネットワーク帯域を監視制御する必要があるが、CSMA/CDにおいてはトークンパッシングにおけるトークン巡回時間のごとき、ネットワークとしてのコントローラブルな帯域制御手段なるものが存在しない。またそのスループットは、衝突の際のリゾリューションとしてのバックオフシーケンスの発生により、ダイナミックに変化し、垂下特性(負荷が増すに従いスループットが低下する)を有することが知られている^{[2][3]}。

CSMA/CDにおいては、このようにネットワークとしてアクティブな制御は不可能であるが、CSMA/CDネットワークの対負荷特性を詳細に把握することにより、ネットワークユーザのバケット送出数の許諾制御と、実送出数のモニタリングを行うことにより、仮想的にネットワークユーザの、従ってトラフィックのダイレイの予測と制御が可能であり、TCCSの特性を発揮することが可能となるであろう。本稿では、この目的のために行った、ISO8802.3CSMA/CDのスループット/ダイレイ特性の理論的な解析と、その結果より得られた同ネットワーク帯域管理のスキームについて述べる。

2. 従来の理論検討モデルについて

過去のCSMA/CDに関するチャンネルキャパシティー、ダイレイ解析における解析モデルのほとんどは、重負荷時におけるバックオフシーケンスの挙動を前提として成されている。即ち、チャンネルの挙動を、衝突発生区間、アイドル区間、正常伝送区間より構成される平衡状態にあるサイクルと見なす。また、送出バケットを有するユーザの送信を試みる確率をバックオフアルゴリズムによる遅延を考慮に入れて解析する。通常はレディー局Qと送信データ量Pをパラメータとして、スループット、チャンネル効率、チャンネル

$$x^{B_i} = x^{B_0} f^i = \frac{f^i}{(1-b)} x^{T_1}; 0 \leq i \leq m \quad (10)$$

$$x^i = \frac{\gamma}{\sigma} x^{T_1} \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^H x^{T_i} = H x^{T_1} \quad (12)$$

$$\sum_{i=0}^m \alpha x^{B_i} = \frac{x^{T_1} (1-f^{m+1})}{(1-b)(1-f)} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=1}^K x^{B_{ij}} &= K \sum_{i=0}^{m-1} x^{B_i} \cdot (1-b) \\ &= K(1-b) f S_{i=0}^{m-1} f^{i+1} x^{B_0} = K(1-b) S_{i=0}^{m-1} f^{i+1} \frac{x^{T_1}}{1-b} \\ &= K f \frac{(1-f^m)}{1-f} x^{T_1} \quad (14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j,i=1}^{i+1} x^{B_{ij}} &= \sum_{i=0}^{m-1} \frac{2^{i+1}-1}{2} x^{B_{ik}} \\ &= \sum_{i=0}^{m-1} \frac{2^{i+1}-1}{2} f^{i+1} x^{B_0} \\ &= \frac{x^{T_1}}{2(1-b)} \sum_{i=0}^{m-1} (2^{i+1}-1) f^{i+1} \\ &= \frac{K x^{T_1}}{2(1-b)} \left(\frac{2f(1-(2f)^m)}{1-2f} - \frac{f(1-f^m)}{1-f} \right) \quad (15) \end{aligned}$$

(7)式に(11)～(14)式を代入することにより、

$$x^{T_1} \left(\frac{\frac{\sigma}{\gamma} + H + \frac{1}{(1-b)(1-f)}}{1} + K f \frac{(1-f^m)}{1-f} + \frac{K f}{2(1-b)} \left(\frac{2f(1-(2f)^m)}{1-2f} - \frac{f(1-f^m)}{1-f} \right) \right) = N \quad (16)$$

となる。

次に、 f 、 $(1-b)$ を導出する。

f は、2局以上が同時に送信を始める確率であるから、

$$f = 1 - \binom{N}{0} p^0 (1-p)^N - \binom{N}{1} p^1 (1-p)^{N-1} \quad (17)$$

$$\text{但し } p = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda} = \lambda e^{-\lambda} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} f &= 1 - (1-\lambda e^{-\lambda})^N - N \lambda e^{-\lambda} (1-\lambda e^{-\lambda})^{N-1} \\ &= 1 - (1-\lambda e^{-\lambda})^{N-1} (1 + \lambda(N-1)e^{-\lambda}) \quad (19) \end{aligned}$$

ところで

$$\alpha x^l = \gamma x^T H x^T H = \frac{\sigma}{\gamma} x^l$$

$$(1-b)x^{B_0} = \left(\sigma + \frac{\sigma}{\gamma} (1-\gamma) \right) x^l = \frac{\sigma}{\gamma} x^l$$

従って、

$$\lambda = \frac{\sigma}{\gamma} \quad (20)$$

次に $(1-b)$ の値を求める。

$$\Pi(c_1) = \Pi(c_2) = \dots = \Pi(c_{k+1}) = \Pi(c_i) = f_2 \Pi(i) \quad (21)$$

$$\Pi(t_1) = \Pi(t_2) = \dots = \Pi(t_{H+1}) = f_1 \Pi(t) \quad (22)$$

但し、 f_1, f_2 は、

$$f_1 = \binom{N}{1} p (1-p)^{N-1} = N(\lambda e^{-\lambda}) (1-\lambda e^{-\lambda})^{N-1} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} f_2 &= 1 - \binom{N}{0} p^0 (1-p)^N - \binom{N}{1} p (1-p)^{N-1} \\ &= 1 - (1-\lambda e^{-\lambda})^N - N(\lambda e^{-\lambda}) (1-\lambda e^{-\lambda})^{N-1} \quad (24) \end{aligned}$$

ノーマライジング条件式は、バックオフ

シーケンスの存在確率平均を \bar{S}^i として、

$$\Pi(i) + \sum_{j=1}^{H+1} \Pi(t_j) + \sum_{k=1}^K \Pi(c_k) + \bar{S}^i \Pi(c_i) = 1 \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \bar{S}^i &= \sum_{i=0}^{m-1} f^i + 1 \frac{2^{i+1}(2^{i+1}-1)}{2} \\ &= \left(\frac{2^m-1}{2} \left(\frac{2f(1-(2f)^m)}{1-2f} - \frac{f(1-f^m)}{1-f} \right) \right) \quad (26) \end{aligned}$$

以上をノーマライジング条件式(25)に代入することにより、

$$\begin{aligned} \Pi(i) + (H+1)f_1 \Pi(i) + (K+1)f_2 \Pi(i) + \\ \left(\frac{2^m-1}{2} \left(\frac{2f(1-(2f)^m)}{1-2f} - \frac{f(1-f^m)}{1-f} \right) \right) f_2 \Pi(i) = 1 \quad (27) \end{aligned}$$

$$\Pi(i) = (1-b) =$$

$$\frac{1}{1 + (H+1)f_1 + (K+1)f_2 +} \quad (28)$$

$$\left(\frac{2^m-1}{2} \left(\frac{2f(1-(2f)^m)}{1-2f} - \frac{f(1-f^m)}{1-f} \right) \right) f_2$$

4. モデルによる計算結果と考察

以上の計算により得られた結果を基に、実際のスループットを算出し、帯域管理の観点から、考察を加える。

(1) ユーザ数の影響

ユーザ数をパラメータとしたスループットの計算結果を図2. に示す。ユーザの多寡に対するイーサネットの対応は極端である。少ない場合は衝突は起らず、ほぼユーザのオフロードに対し比例してスループットはあがっていく、我々の着目するTCCS対応の利用範囲とは真にこの

範囲をマルチユーザ間キープすること（管理すること）を目標とする。

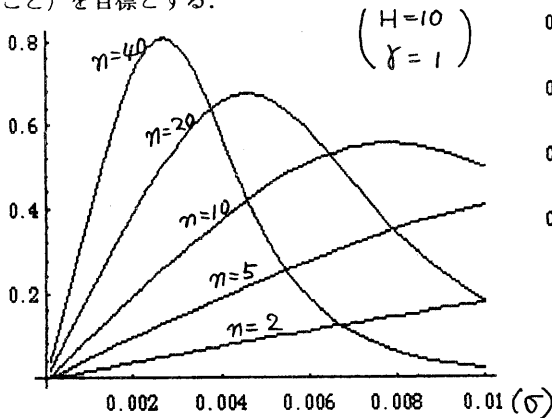


図2. スループット／伝文発生率 (σ)

(パラメータ；ユーザ数)

γ (平均伝文長) = 1, K (ジャム時間) = 1τ ,
 m (バックオフ最大回数) = 16, H (伝文セグメント長) = 10τ , $n = 2, 5, 10, 20, 40$

(2) セグメント長とセグメント数 (伝文長)

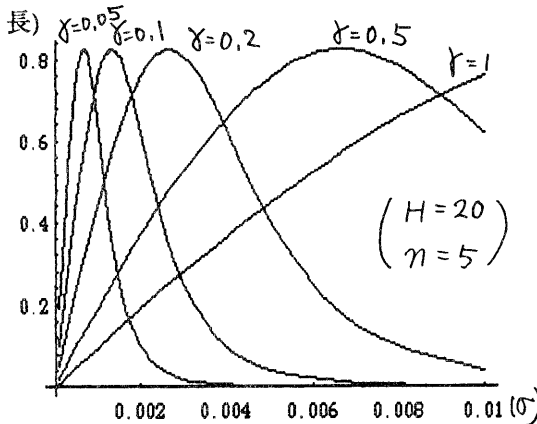


図3. スループット／伝文発生率 (σ)

(パラメータ；セグメント数)

$K = 1, m = 16, n = 5, H = 20\tau$
 $\gamma = 1, 0.5, 0.2, 0.1, 0.05$

短セグメントを使用する伝送は極端に効率が悪い。またマルチセグメントは、オフロードの増大をもたらす。

問題は、負荷自体の特性として、ダイナミックに

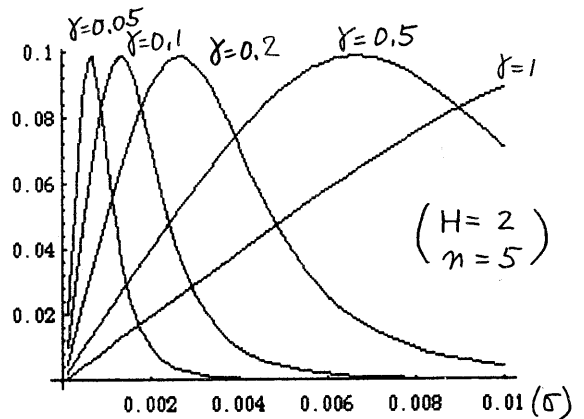


図4. スループット／伝文発生率 (σ)

(パラメータ；伝文内セグメント数)

$K = 1, m = 16, n = 5, H = 2\tau$

$\gamma = 1, 0.5, 0.2, 0.1, 0.05$

その構成セグメント長の平均値が揺動する場合である。もし、長セグメントの傾向が、短セグメントに移行する場合は、目いっぱい帯域を許諾していたとすると、すでに許諾している帯域を取戻さなければならなくなることが予想される。

さらに問題なのは、短セグメントを多数使用するマルチセグメント伝送に対しては、さらにチャンネル効率が低下することにより、許諾していた帯域の回収がさらに必要となる。

5. まとめ

マルコフ連鎖理論の応用により、CSMA/CDのダイナミックなバックオフアルゴリズムを含む性能解析モデルを構築した。今回のモデルはユーザの特性を総て同一としているが、今後ユーザ対応マルチな特性を指定可能なモデルに拡張する。

また、今回はバッファレスであったが、有限バッファを有するモデルに拡張することにより、上記と併せて、現実をより忠実に表現できるモデル構築を目指す。また、シミュレーションによりこれら解析結果の妥当性を検証することを合わせて実施する。

参考文献

[1] 中野宣政、太田賢、渡辺尚、水野忠則；分散T C C S 実現のためのグループ管理機能、マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集、情報処理学会、平成6年10月。

[2] Andrew S. Tannenbaum: COMPUTER NETWORKS, PP286-295, Prentice-Hall, Inc, 1981.

[3] Fouad A. Tobagi and V. Bruce Hunt: Performance Analysis of Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, Computer Networks 4 , pp245-249 (1980)

[4] Hideki Takagi, Leonard Kleinlock: Throughput Analysis for Persistent CSMA System, IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-33, No.7, pp627-638, July 1985.

[5] Shuji Tasaka: Dynamic Behavior of a CSMA-CD System with a Finite Population of Buffered Users, IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-34, No.6, pp576-586, June 1986.

[6] Theodor K. Apostolopoulos and Emmanuel N. Protonotairos: Queueing Analysis of Buffered CSMA/CD Protocols, IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-34, No.9, September 1986.

[7] Michael E. Woodward: Communication and Computer Networks, IEEE Computer Society Press, 1994.