

平衡点解析によるトークンバスプロトコルの解析

1W-2

楠 和浩 中川路 哲男 水野 忠則

三菱電機(株) 情報電子研究所

1. はじめに

IEEE 802.4 トークンバスプロトコルは、負荷が高い状態でも、データ送信権であるトークンの巡回時間が保証されているため、各ステーションのデータ送出までの時間が保証できるという特徴をもつ。したがって、確定的な応答時間を必要とする工場用のLANの国際標準であるMAP^[1] (Manufacturing Automation Protocol) に採用されている。

トークンバスプロトコルの性能解析は、おもにトークンバスプロトコルのプライオリティ機能についての解析が主であった^{[2][3]}が、これらの解析においては、LLC副層とMAC副層との間の送信待ちキューは無限大に仮定されていた。

しかしながら、現在のトークンバスプロトコルを使用したLANでは、プライオリティ機能はほとんど使用されておらず、LANの性能を把握するためにはLLC副層とMAC副層との間の送信待ちキューサイズ長の問題が重要である。

本稿では、平衡点解析^[4]の手法を用いてトークンバスプロトコルを解析し、送信待ちキューと、各ステーションでの送信可能時間との関係を考察する。

2. トークンバスプロトコル

2.1 トークンバス

トークンバスネットワークに接続された全てのノードが、送信すべきパケットを持っていない場合には、1つのトークンが、予め決められた論理的なリング上を巡回している。送信すべきパケットが発生したノードは、トークンの受信を待ち、トークンを受信した後、パケットを送信することが出来る。この際、各ノードからの送信時間は、トークン保持タイマで設定された時間を上限としてパケットの送信が可能である。

2.2 トークンバスのモデル化のための仮定

トークンバスを解析するために、次の様な仮定を行う。解析するシステムの、ノード数をM台、ノードがトークンの送出に要する時間を L_t とする。パケットは固定長で、ノードが送出に要する時間を T_a とする。

各ノードに接続した端末から発生するパケットは、ノード内の端末バッファと呼ぶバッファに蓄えられ、トークンを保持した時に順次送信される。この端末バッファは有限長であり、その有限長を T とする。さらに、時間を T_a/M 毎の時間単位(ステップ)に分割し、次の仮定を行う。

(仮定1) 各ノードのトークンおよびパケットの伝搬遅延は無視する。

(仮定2) 各端末はステップ当り確率 σ でパケットを1つ発生し、端末バッファに蓄える。パケットの発生は、ステップの最後の時点で起きるものとする。

(仮定3) 端末バッファに蓄えられるパケットの宛先は、

自ノード以外の全ノードに対して一様である(仮定4) パケット長は、トークンの整数倍である。つまり、 $H = T_a / L_t$ を満たす整数Hが存在する。

(仮定5) トークン保持時間はトークンを送出するのに必要な時間の整数倍(Nとする)である。

2.3 モデル化

トークンバスを平衡点解析の手法により解析するためにM台のノードがとりうる状態(モード)間の遷移関係を表した離散時間のマルコフモデルを作成する。

各ノードがとるモードは、トークンの受信を待つか、トークンを転送中であるモード(Wモード)と、トークンを持ちパケットを送信中であるモード(Sモード)の2つに分類することができる(図1)。

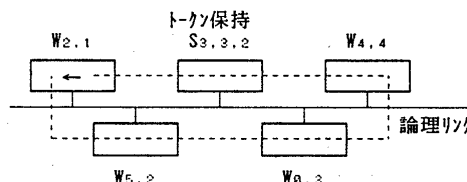


図1. 各ノードがとるモード例

Wモードにあるノードの状態は、端末バッファ内に x 個($x=0,1,\dots,T$)のパケットがあることを示す x パラメータ、論理的にリングを形成するトークンの転送順において、転送順とは逆に y ノード($y=0,1,\dots,M-1$)さかのぼったノードが、現在トークンをもっていることを示す y パラメータにより決定される。

Sモードにあるノードの状態は、Sモードになった時に送信パケットを含めて端末バッファに i 個のパケットがあったことを示す i パラメータ、現在端末バッファ内に j 個のパケットがあることを示す j パラメータ、パケットの送信を完了するまでに k トークン時間かかることを示す k パラメータにより決定される。

これらのモードにより、トークンバスプロトコルは、文献[5]に示したようなモデルとして表現される。

2.4 平衡点解析

平衡点解析の手法を用いて、作成したモデルの解析を行う。 $W_{x,y}$ モードにあるノード数を表す確率変数を、 $W_{x,y}$ とし、 $S_{i,j,k}$ モードにあるノード数を表す確率変数を $S_{i,j,k}$ とする。

モデルの状態ベクトル Ω を、

$$\Omega = (W_{0,0}, W_{0,1}, \dots, W_{0,M-1}, W_{1,0}, W_{1,1}, \dots, W_{1,M-1}, \dots, W_{T,0}, W_{T,1}, \dots, W_{T,M-1}, S_{1,1,0}, S_{1,1,1}, \dots, S_{1,1,H}, S_{2,1,0}, S_{2,1,1}, \dots, S_{2,1,H}, S_{2,2,0}, S_{2,2,1}, \dots, S_{2,2,H}, \dots, S_{T,T-N+1,0}, S_{T,T-N+1,1}, \dots, S_{T,T-N+1,H}, \dots, S_{T,T,0}, S_{T,T,1}, \dots, S_{T,T,H})$$

と定義すると、この状態ベクトルは、既約な有限状態マルコフ連鎖となる。

平衡点解析では、システムは常に平衡点に留まっていると仮定しており、したがって、各モードに変化する平均ノード数と、各モードから別のモードに変化する平均ノード数は等しいとする。この仮定から、平衡点方程式が得られる^[5]。

求められた平衡点方程式を解くことにより、平衡点 (n_s) を求めることが出来る。

スループット S は、求められた平衡点から、

$$S = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^H s_{i,j,k} + \sum_{i=N+1}^T \sum_{j=i-N+1}^H s_{i,j,k}$$

で、表される。

3. 数値例および考察

以上の結果を基に、表1の様な条件の基で行った解析のうち、 $T = 10$ の場合の例を図2に示す。

表1 解析に用いたパラメータ

パラメータ名	数値
ノード数 (M)	30
トークン長	184 [bits]
データ長	1104 [bits]
T_s/L_t (H)	6
端末バッファ長 (T)	5~10
トークン保持時間 (N)	6~9 (T=10)
パケット発生確立 (σ)	0.0001 ~ 0.01

ネットワークのスループットは、約0.83で飽和している。トークンを保持したときにデータを送信することができる時間(トークン保持時間)とスループットが飽和する負荷との間には相関関係がなく、負荷が約 $\sigma = 0.005$ の時にスループットは飽和している。

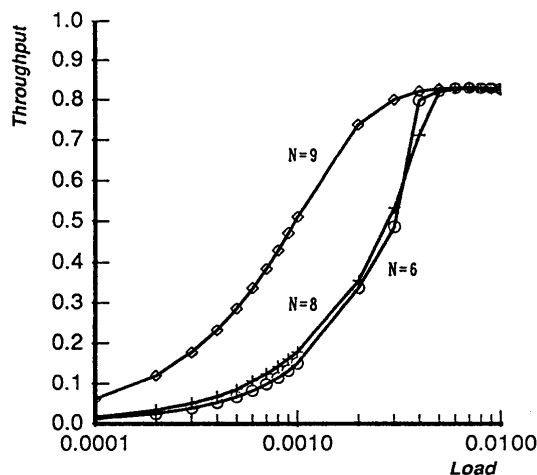


図2. スループットと負荷の関係

また、 T の値を変えて解析を行った結果、端末バッファ長 (T) とトークン保持時間 (N) との割合によって負荷とスループットの解析値が同じ値をとることが分かった。図3にそれらの関係を示す。図3では、横軸は端末バッファ長を示し、縦軸は、ある負荷に対して同じスループットをとる端末バッファ長とトークン保持時間の割合を示している。

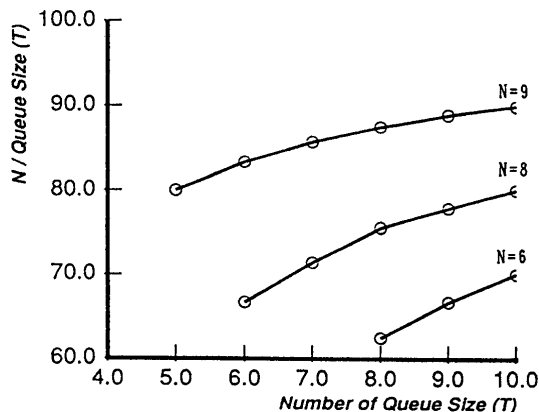


図3. 端末バッファ長、トークン保持時間とスループットとの関係

4. おわりに

平衡点解析の手法を用いてトークンバスプロトコルの性能解析を行ない、送信待ちキューと各ノードでの送信可能時間の関係を考察した。

- 今後の課題としては、次のことがあげられる。
- ・今回は、スループットの点からの考察を行ったが、LANの性能を考える場合には、同時に転送遅延や送信キューのあふれについて考察する必要がある。
- ・シミュレーションまたは実測値との比較を行い、本解析の有効性を確認する必要がある。
- ・モデルをプライオリティ機能まで拡張した場合の、各プライオリティの送信待ちキューと送信可能時間との関係を考察する必要がある。

謝辞

当研究にあたり、貴重な御助言を頂いた名古屋工業大学田坂修二教授に深く感謝します。

参考文献

- [1] General Motors Corporation: MANUFACTURING AUTOMATION PROTOCOL SPECIFICATION Version 3.0, C-13 (1987)
- [2] O.-C. Yue and C.A. Brooks, "Performance of the Timed Token Scheme in MAP", IEEE Trans. Commun., vol. 38, No. 7, pp. 1006-1012, July 1990.
- [3] A.P. Jayasumana, "Throughput Analysis of IEEE 802.4 Priority Scheme", IEEE Trans. Commun., vol. 37, No. 6, June 1989
- [4] S. Tasaka, "Performance Analysis of Multiple Access Protocols", MIT Press, Cambridge, MA, (1986)
- [5] 楠 他, "Mini-MAPオブジェクトディクショナリの性能評価", 第44回情報処理学会全国大会, pp. 6-265-266, 1992