

多層構造プロトコルを用いたネットワークの 3U-7 伝送効率の評価式

福井俊之 井上一郎 相田 仁 齊藤忠夫

東京大学 工学部

1. はじめに

コンピュータネットワークにおけるプロトコルは、7層の階層化された体系として標準化されている。階層化構成によりコンピュータやネットワーク間の接続は容易になるが、ネットワークの性能はプロトコルに大きく影響される。

既に我々は、ネットワークのスループット評価の一つの尺度として伝送効率を取り上げ、多層構造プロトコルを用いたネットワークにおいて、種々のプロトコルパラメータがどのように伝送効率に影響するかについて考察し、伝送効率の近似評価式を報告した^[1]。本稿では、その後の研究の結果、伝送効率の評価式を求めたので報告する。但し、層としては、OSIモデルの論理レベルの下位3層、すなわち、トランスポート層、ネットワーク層、データリンク層を考える。

2. 性能評価の方法

プロトコルが多層化した場合、その通信手順は複雑になり、各層の多くのプロトコルパラメータがネットワーク全体の性能に影響を及ぼす。図1に論理レベル下位3層における通信手順を示す。この図は2つの通信ノード間で1つのデータ単位を送受信する場合を示している。3層がそれぞれレスポンスを要求するCO (Connection Oriented) 型であるために、トランスポートコマンドを送信して、それに対するレスポンスを受信する間に、8つのデータユニットがデータリンク内を往復する。

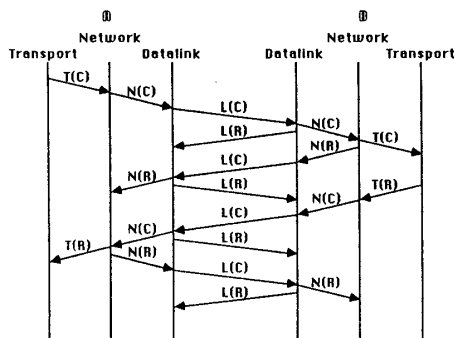


図1 論理レベルの下位3層による通信手順

本稿においては、ネットワークの評価を伝送効率を用いて行う。これは、スループットを正規化したものであり、その定義は以下のようである。

$$\begin{aligned} \text{伝送効率} &= \text{スループット} \div \text{伝送速度} \\ &= \frac{\text{受信者に受け取られた情報ビット数}}{\text{これらのビットが受け取られるために必要な全時間}} \div \text{伝送速度} \end{aligned}$$

上式の分母に必要な時間は、図2に示すようなタイムチャートから計算できる。この図は、2つの通信ノード間において、1つのデータ単位を送受信する場合を示したものである。横方向は時間の経過を表す。但し図2では、見易くするためにデータリンク層がCL (Connectionless) 型である場合を、3.1節に示す記号を用いて示している。

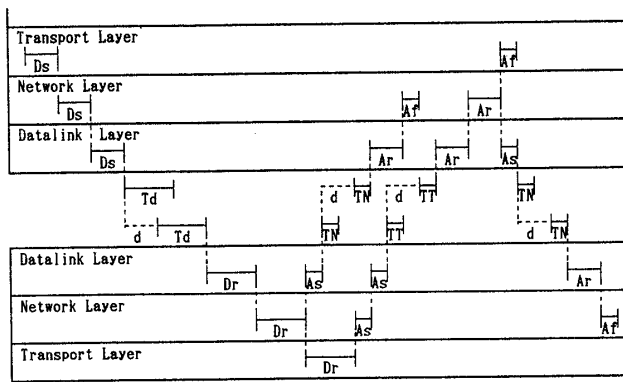


図2 3層(OOL型)の場合のタイムチャート

プロトコルが多層化すると、コマンドとレスポンスのやり取りが複雑に影響を及ぼしあう。しかし、上記のようなタイムチャートを周期性がみられるまで調べることによって、伝送効率を厳密に評価することが可能になる。具体的には、 W^k (W :ウィンドウサイズ, k :CO型の階層の数)だけのデータ単位の動作と、それに伴うAckの動作を考えればよい。しかし、 W の値が各層で違うなどという場合は、複雑すぎて求めることができない。そこで、本稿では、各層同一のウィンドウサイズを持つネットワークについて評価式を導出した。

3. 性能評価モデル

3.1 評価式で取り扱う記号

評価式で用いられている記号は以下の通りである。

- Data送信処理時間 : D_s
- Data受信処理時間 : D_r
- Ack送信処理時間 : A_s
- Ack受信処理時間 : A_r
- Ack受信後処理時間 : A_f
- 伝搬遅延時間 : d
- ウィンドウサイズ : W
- 伝送効率 : E
- TSDU (トランスポートサービスデータ単位) 長 : U
- Dataユニット伝送時間 : T_d
- (= (TSDU長+下位層のPCI長) ÷ 伝送速度)
- 各層のAckの伝送時間 : T_T, T_N, T_D
- (= (各層のAck長+下位層のPCI長) ÷ 伝送速度)
- (T:Transport, N:Network, D:Datalink)

3.2 評価式導出の際の仮定

評価式を導くにあたって、以下のことを仮定した。

- (1) ポイント-ポイントのネットワーク形態を考え、通信は1方向のみとする。
- (2) セッション層からデータが連続して与えられる。
- (3) 各層のコネクションの確立、解放の手順は無視する。
- (4) 層はトランスポート層以下を考え、各層のプロトコル処理は層ごとのプロセッサで並列に実行する。
- (5) プロトコル処理時間、データ長などは一定値であり、ばらつきは考えないこととする。
- (6) ウィンドウサイズは、各層同一とする。
- (7) ウィンドウの制御は、確認応答一括返送方式とする。
- (8) プロトコル処理時間長は $D_r \geq D_s \geq A_r \geq A_s \geq A_r$ と仮定し、同種のものに関しては、各層同一とする。
- (9) データ等の伝送時間は $T_d > T_r > T_n > T_D$ とする。
- (10) 中継ノードが存在する場合には、
 - ・中継ノードのプロセッサは、送受信を行うリンクに対応して、各1個ずつ存在する。
 - ・データリンク層はリンク-リンクに、それより上位の層はエンド-エンドの通信を行う。
 - ・各リンクの伝送速度、伝搬遅延時間は同一とする。

4. 評価式

ここでは、OOLなどのようにして、プロトコルの組み合わせを表す。

O : CO型 (Connection Oriented)

L : CL型 (Connectionless)

として、OOLとは、トランスポート層とネットワーク層がCO型、データリンク層がCL型であることを表す。

4.1 OLL型の場合の伝送効率の評価式

$$E = \frac{WU}{R1}$$

但し $R1 = P1(V) + n \times P2(V)$

$$P1(V) = 3(D_s + D_r) + 2(A_s + A_r) + A_r + 2d + T_d + T_r + (W-1)k1(V)$$

$$k1(V) = \text{Max}[T_d, D_r]$$

$$P2(V) = D_s + D_r + A_s + A_r + 2d + T_d + T_r$$

4.2 OOL型の場合の伝送効率の評価式

$$E = \frac{W^2U}{W \times R2 + R3}$$

但し $R2 = P1(V) - (D_r + A_s) + k2(V) + n \times P2(V)$

$$k2(V) = \text{Max}[T_n, (D_r + A_s)]$$

$$R3 = \text{Max}[(T_n + A_s - A_r - 3D_s), 0]$$

4.3 OOO型の場合の伝送効率の評価式

$$E = \frac{W^3U}{W^2 \times R4 + W(W-1) \times R5 + W \times R6 + R7}$$

但し $R4 = P1(V) - 2(D_r + A_s) + k2(V) + k3(V) + n \times P2(V)$

$$R5 = 2d + A_r + D_s + T_D + k4(V) - k5(V)$$

$$k3(V) = \text{Max}[T_D, (D_r + A_s)]$$

$$k4(V) = \text{Min}[T_d, D_r]$$

$$k5(V) = \text{Max}[T_D - (D_r + A_s), 0]$$

($T_r < D_r$) の場合

$$R6 = \begin{cases} 2d + (A_r + A_r - D_r) + T_n + T_D & (W: \text{odd}) \\ 0 & (W: \text{even}) \end{cases}$$

$$R7 = 2d + (A_s + A_r - 2D_s) + T_n + T_D$$

($D_r < T_D$) の場合

$$R6' = \begin{cases} 2d + (A_r + A_r) + A_s + T_D & (W: \text{odd}) \\ \text{Max}[\{T_D - (3D_s + A_r + A_r)\}, 0] & (W: \text{even}) \end{cases}$$

$$R6 = R6' + T_D + T_n - (3D_s + A_r + A_r)$$

$$R7 = 2d + T_D + A_r + A_r + D_s$$

5. シミュレーションによる検証

図3に評価式で求めた伝送効率と、シミュレーションによって求めた伝送効率のグラフを示す。曲線が評価式より求めた値、○がシミュレーションから求めた値である。なお、プロトコルパラメータは次のような値とした。

$D_r = 3[\text{ms}]$, $D_s = A_r = 2[\text{ms}]$, $A_r = A_s = 1[\text{ms}]$, $d = 5\text{ms}$, $U = 128[\text{byte}]$

PCI長: Transport:3, Network:4, Datalink:6[byte]

Ack長: Transport:3, Network:4, Datalink:6[byte]

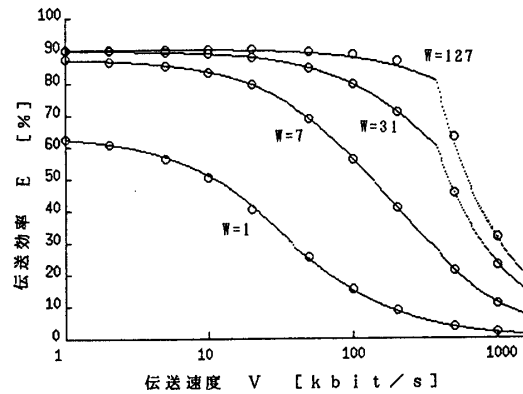


図3 伝送速度と伝送効率の関係 (OOO型 中継ノード数=0)

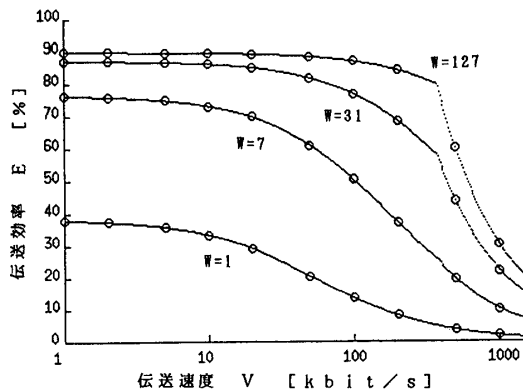


図4 伝送速度と伝送効率の関係 (OOL型 中継ノード数=1)

図3のW=127の場合を除いて、ウィンドウサイズ、中継ノード数によらず両者は完全に一致している。

図3のW=127の評価値とシミュレーション結果の差は、計算時間短縮のために途中でシミュレーションを打ち切ったことによるものであり、評価式の方が正確な値を与えるものと考えられる。

6. おわりに

本稿では、ポイント-ポイントの形態のネットワークの伝送効率の評価式を導出した。これらの式を用いることで、シミュレーションによらずとも、伝送効率の値が正確に求められるようになった。

参考文献

[1] 白畑他: "多層構造プロトコルを用いたネットワークの性能評価," 情報処理学会第36年全国大会, 2G-6, 1988.