

多層構造を考慮した伝送効率の評価

Evaluation of Transmission Efficiency on Multi-Layered Protocol

石原 久*

斉藤 忠夫**

猪瀬 博**

Hisashi ISHIHARA

Tadao SAITO Hiroshi INOSE

*コンピューターサービス株式会社

**東京大学工学部

Computer Services Corporation

Faculty of Engineering, The University of Tokyo

1. はじめに

ネットワークアーキテクチャは現在、OSI 7層モデルの形で世界的な標準化が進められている。7層モデルは、コンピュータネットワークの構成に必要な通信機能を階層的に整理し、種々のネットワークを使用する場合について、論理的に取りまとめられたものである。このモデルは、論理的には矛盾が生じないように良く検討されているが、その性能についての評価検討は十分ではない。

コンピュータ相互があるプロトコルによって接続されている時のネットワークの性能は、単純なデータリンクレベルの場合でも、様々な条件によって多様に変化し、複雑ではあるが、そのスループット、遅延等に関しては色々な評価がある。しかし、プロトコルが多層化した場合については、評価すべきパラメータも多様となって、従来その性能についての評価としてまとまったものはあまりない。

本研究では、OSI 7層モデルの下位層、すなわちデータリンク層、ネットワーク層及び、トランスポート層について、両端の端末が、有限の時間をかけて各層のプロトコルを処理することを仮定して、ネットワークの評価を行なった。ネットワークは下位層のプロトコルを持つ2つの端末が、単純な1本のリンクで接続されているものと仮定している。

評価に当たっては、一方の端末から他方の端末に対して多量のデータが転送される場合を仮定して、そのスループットを主として評価している。各層においては、コネクション型とコネクションレス型の両方のプロトコルを評価しており、またコネクション型の場合においては、そのウィンドウサイズを変化させて、ウィンドウサイズの組み合わせの変化が、スループットに与える影響を調べている。

2. 手計算モデル

図1にOSI 7層モデルプロトコルの論理的な下位3層による、Point to Point型データ送受信の手順の概略を表すタイムチャートを示す。この図において横方向は時間経過を表す。また、ここではトランスポート層は、誤り回復機能をサポートするクラスを仮定している。

多層プロトコル性能評価の第1段階として、このようなタイムチャートを描き、その手順に従ってデータ送受信に要する経過時間から、伝送効率を導く手計算を試みた。

ここでの主な検討すべき項目は次の2点である。

◎プロトコルの多層化と伝送効率の関係。

◎各層に同じウィンドウサイズを与えた場合の、伝送効率の変化。

これらの評価を行うための前提条件として、以下に挙げる仮定を設けた。

- ・ Point to Point の2ノード構成。
- ・ 各層の論理処理は単一のプロセッサで実行。
- ・ 物理伝送路上のビット誤りは、無視する。(後の評価で扱う)
- ・ トランスポート層には、その上の層(=セッション層)から128バイトのデータが連続して与えられるものとする。
- ・ 各層の論理処理時間を以下のように仮定して固定。

長データ送信 2 msec

長データ受信 3 msec

Ack受信後処理 1 msec

短データ(Ack)送信 .. 1 msec

短データ(Ack)受信 .. 2 msec

- ・ 各層のプロトコル仕様

データリンク層

HDLC NRM HDX

ネットワーク層

X.25 Level 3

トランスポート層

コネクションオリент Class 1

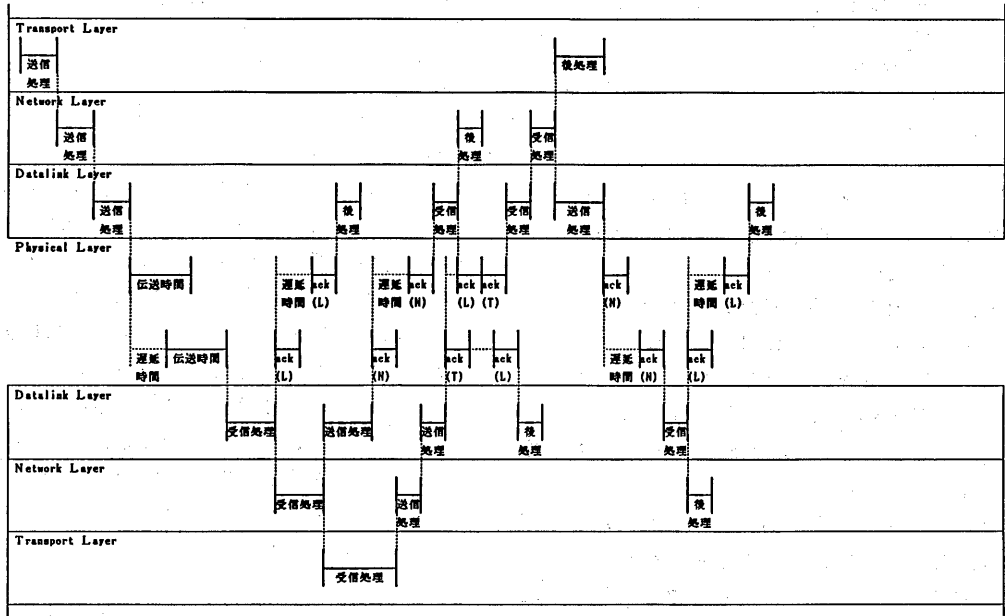


図1. 下位3層のタイムチャート

・物理レベルパラメータ

伝送速度 2400, 9600, 48k, 256k, 1M (bps)

遅延時間 5 msec(地上系を仮定)

270 msec(衛星系を仮定)

図2に遅延時間5 msecの場合におけるプロトコルの多層化と伝送効率の関係を示す。プロトコルの多層化によってプロトコル処理量が増加し、そのために伝送効率が低下する。

図3に遅延時間5 msecの場合におけるウィンドウ

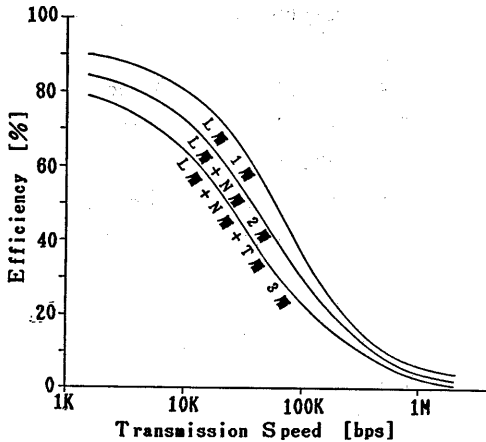


図2. プロトコルの多層化と伝送効率

ドウサイズと伝送効率の関係を示す。また、図4に遅延時間270 msecの場合のウィンドウサイズと伝送効率の関係を示す。これらはともに3層に等しいウィンドウサイズを与えた時の結果であるが、両方の場合とも、ウィンドウサイズの拡大に伴って伝送効率が改善されている事がわかる。遅延時間の大きい場合には、ウィンドウ制御を行わないと(Window=1)、著しい低効率となるが、Window=127とすると、ほぼ遅延時間が小さい場合のWindow=7に等しい程度にまで改善される事がわかる。

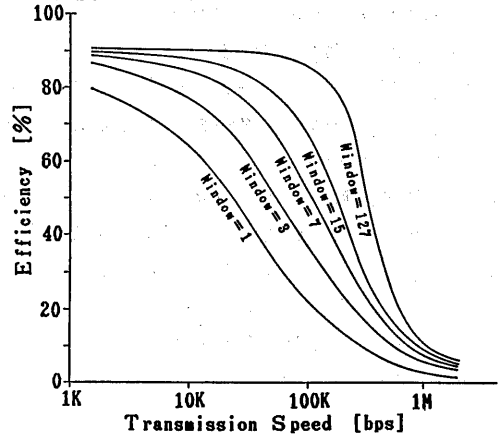


図3. ウィンドウサイズと伝送効率
(伝搬遅延時間 5 msec)

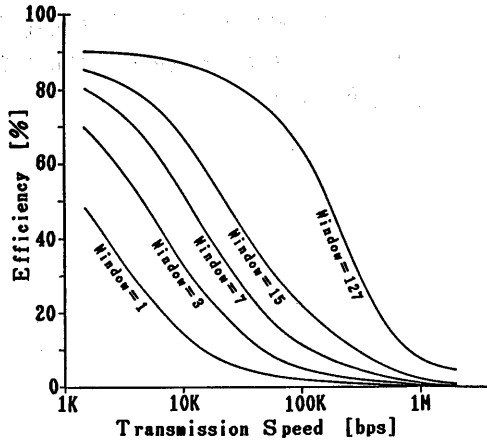


図4. ウィンドウサイズと伝送効率
(伝搬遅延時間 270 msec)

3. 評価シミュレーション

(1) 概要

これまでに行なった手計算では、物理伝送路上にランダムに発生するビット誤りが伝送効率に及ぼす影響を考慮することができず、また、各層のウィンドウサイズを各層間で変化した時の影響や、ネットワーク、トランスポート層におけるコネクションオリエンテッド/コネクションレスの影響を取り入れることができなかった。そこでこれらの問題を扱うために、計算機上にプロトコル評価シミュレータを作成した。

図5に評価シミュレータの論理の概略を示す。管理モジュールは評価しようとするプロトコルの最上位層に対するデータ長テーブルを作成する。データ長テーブルのエントリ数はウィンドウサイズを表し、データ長テーブル内の数の総和は、最上位層の1サイクルで送信されるデータ長となる。トランスポート層、ネットワーク層の各処理モジュールでは、それぞれの内部に持つ同様のデータ長テーブルに、上位の処理モジュールのデータ長テーブルの内容を再構成する。この段階で、セグメンテーション、ブロッキングなどの処理が加えられる。各層に対応する処理モジュールでは、各層のプロトコル処理に要する時間が計算され、管理モジュールにおいて全体の経過時間が計算され、効率求められる。

データリンク層処理モジュールでは、物理伝送路上におけるビット誤りを考慮した処理時間

が計算される。その処理ロジックは以下の通りである。

HDLC HDX NRM の伝送効率は

N : ウィンドウサイズ

b : フレーム長(bit)

h : オーバーヘッド長(bit)

c : 伝送速度(bps)

Tr : ラウンドトリップ遅延(sec)

d : $c \cdot Tr / b$

Pe : Bit Error Rate

S : $= (1 - Pe)^b$ フレーム送信成功確立とすると、

$$\text{伝送効率} = \frac{S(1 - S^N)}{(1 - S)(N + d)}$$

となる。

(参考文献 [1])

したがって、求められた伝送効率から、データリンク層の処理時間が導かれる。

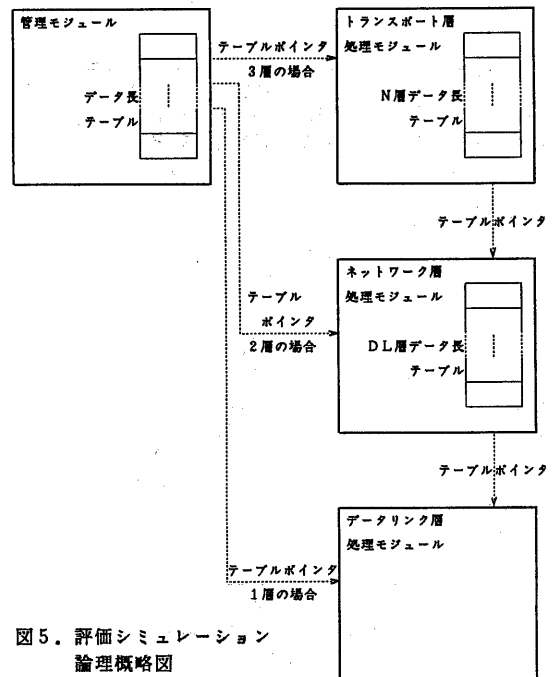


図5. 評価シミュレーション
論理概略図

(2) データリンク1層

図6にユーザーデータ長256バイト、ウィンドウサイズ7の場合の伝搬遅延と効率の関係を示す。図7に同様にウィンドウサイズ127の場合の伝搬遅延と効率の関係を示す。

図6、図7ともにビット誤り率は、 1.0×10^{-7} である。手計算の結果と同様にウィンドウサイズが大きく、遅延時間が小さい場合に高効率となる一般的傾向はあるが、ともに効率におよぼす影響が小さい。

図8、図9にデータリンク層のユーザーデータ長とビット誤り率が伝送効率におよぼす影響を表すグラフを示す。誤り率の低下とともに最大効率を得られるデータ長は、大きくなる。

これより、遅延時間の大きい場合の性能改善の手段として、このデータ長の拡大が有効であることが推察される。

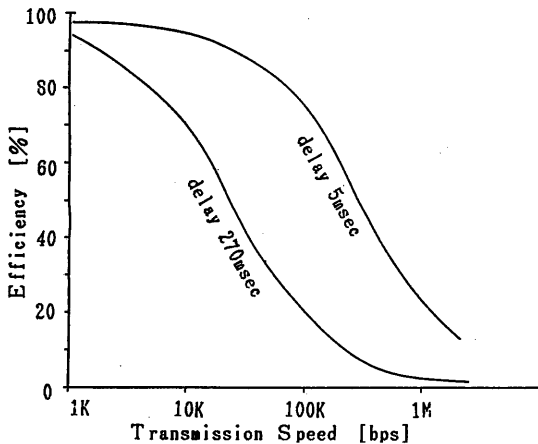


図6. データリンク1層の伝搬遅延と効率
データ長 = 256 B、ウィンドウ = 7

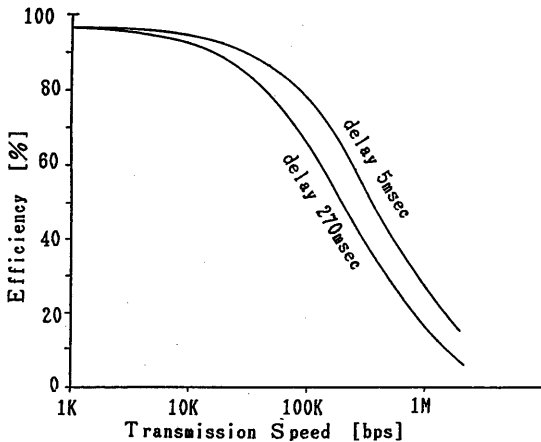


図7. データリンク1層の伝搬遅延と効率
データ長 = 256 B、ウィンドウ = 127

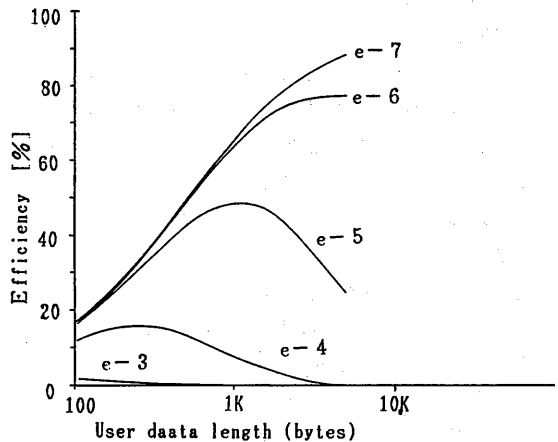


図8. データ長とBERと効率
ウィンドウ = 7、48 kbps、270 msec

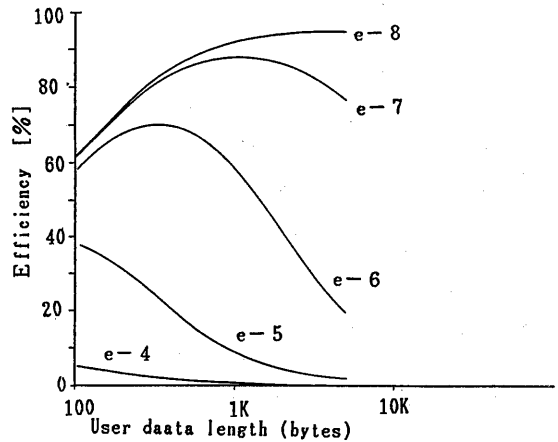


図9. データ長とBERと効率
ウィンドウ = 127、48 kbps、270 msec

(3) データリンク層 + ネットワーク層

図10、図11に同一仕様のデータリンク層に対して、コネクションオリエント/コネクションレスと仕様ノード異なるネットワーク層が機能した時の効率を表すグラフを示す。

図10の遅延時間が短い場合は、終始コネクションオリエント型がコネクションレス型に勝っているのがわかる。それに対して図11の遅延時間ノード大きい場合は、ごく低速の領域を除いてコネクションレス型がコネクションオリエント型に勝っている。これは、コネクションレス型のプロトコルのプロトコルデータユニット内のオーバーヘッドの大きさがその一つの原因であると考えられる。従って、コネクションレス型のプロトコルは、遅延が大きく、伝送速度が大きい衛星リンクなどにたいして使用すると有効であると考えられる。

次に図12にデータリンク層とネットワーク層のウィンドウサイズを入れ換えた場合、どちらのウィンドウサイズがより効率的か、を表すグラフを示す。図12では、二つの場合のあいだの効率の差はわずかである。この問題についてはここでは扱っていないネットワークシステム内の問題、たとえば多重化、有限バッファによるフロー制御、などとの関連において検討する必要があると考えられる。

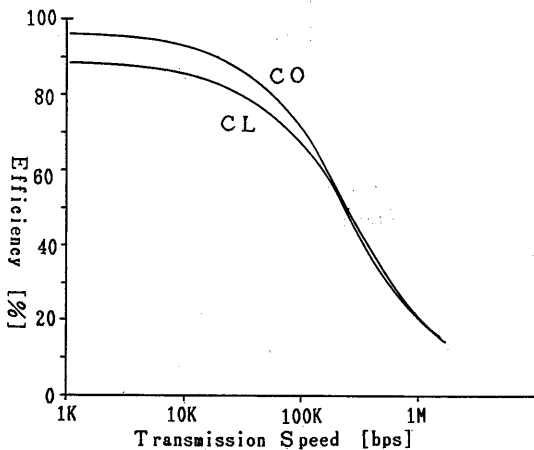


図10. ネットワーク層コネクションと効率
BER = 1.0×10^{-7} 遅延 5msec

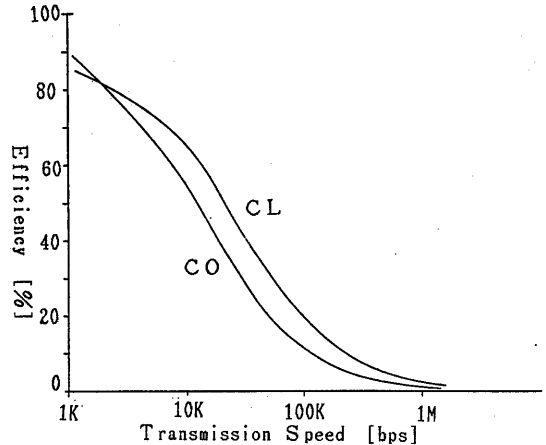


図11. ネットワーク層コネクションと効率
BER = 1.0×10^{-7} 遅延 270msec

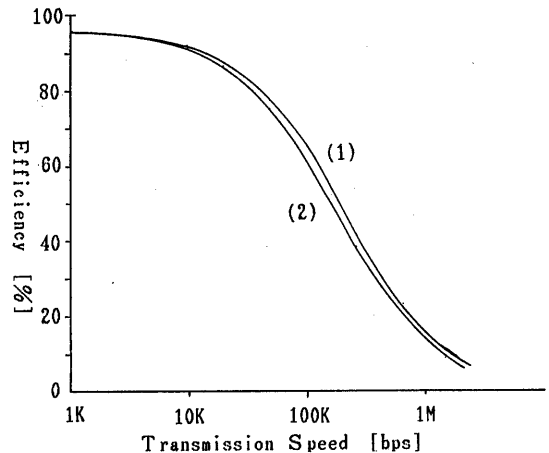


図12. 層間のウィンドウ交換と効率

BER = 1.0×10^{-7} 遅延 5msec
(1)DL : Window = 7 L = 512
N : Window = 3 L = 256
(2)DL : Window = 3 L = 512
N : Window = 7 L = 256

(4) データリンク層 + ネットワーク層 + トランスポート層

図13、14にデータリンク + ネットワーク + トランスポート 3層の構成による、プロトコルの性能評価の例を示す。

図13ではネットワーク、トランスポートの2層にわたってコネクションの有無の自由度を持たせている。図13、14では遅延時間の大小にかかわらず、ネットワーク、トランスポートの2層共にコネクションレスとしたときに、効率の低下が見られる。その場合、高速の

領域においてもコネクションレスのメリットが見出だせない。この原因は、大きいヘッダーのオーバーヘッドの2層にわたる相乗効果かと考えられる。

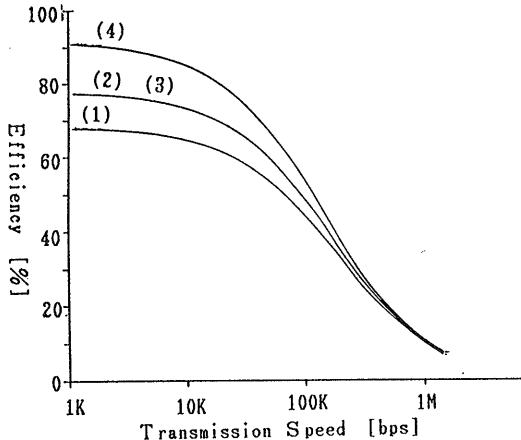


図13. 3層プロトコルと効率

Ber : 1.0×10^{-7} Delay 5msec
 DL : CL / CO w = 7, l = 256
 N : CL / CO w = 127, l = 128
 (1): N : CL, T : CL
 (2): N : CL, T : CO
 (3): N : CO, T : CL
 (4): N : CO, T : CO

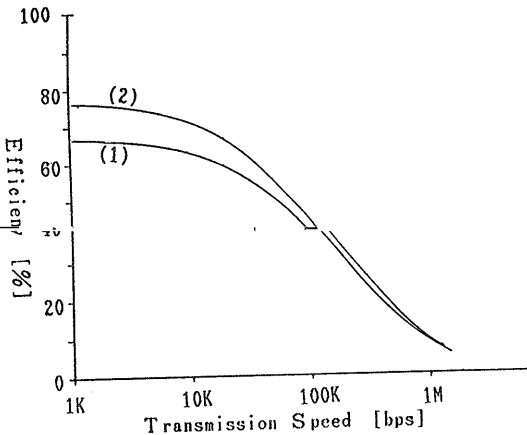


図14. 3層プロトコルと効率

Ber : 1.0×10^{-7} Delay 270 sec
 DL : CL w = 7, l = 256
 N : CL / CO w = 7, l = 128
 (1): T : CL
 (2): T : CO

4. おわりに

ここまで手計算、評価シミュレータを通してOSI基本参照モデルに基づく多層プロトコルの伝送効率に着目した性能評価を行ってきたが、これまでの手法ではネットワークシステム内の多重化や、有限の物理資源の制約からくるフロー制御など、現実のシステムに近いあたりの性能評価までには、さらに考慮、検討すべき事柄が数多い。

それを踏まえた上で、ここまでに分かった事柄を列挙してみる。

- ・伝搬遅延時間が大きいような、高効率を得られない場合の性能改善の手段としてはデータ長の拡大、ウィンドウサイズの拡大、などが考えられる。
- ・コネクションレスプロトコルの使用については、そのプロトコルオーバーヘッドを十分に補えるような、長いデータ長を選ぶなどの検討をすべきである。

さらに将来への展望としては、OSI 7層すべてを含んだ性能評価、そしてネットワークポロジを考慮した性能評価が課題となると考える。

[参考文献]

- [1] A. K. Kaul, "Performance of High-level Datalink Control in satellite communications", COMSAT TECHNICAL REVIEW VOLUME 8 NUMBER1, SPRING, 1978

「ネットワークアーキテクチャの標準化動向」

「ネットワークアーキテクチャの標準化動向」