

高速衛星データ通信網における高効率 LLC プロトコルとその性能評価

鈴木 隆宏 田坂 修二

(名古屋工業大学 工学部)

あらまし 本報告は、高速衛星データ通信網における高効率 LLC プロトコルとして、ファストセレクトコネクション型 (FS-CO) を提案している。この LLC プロトコルでは、通信オーバーヘッドを小さくするため、インプリシットにコネクションの確立が行われる。ここでは、多元接続プロトコルとして、TDMA 予約を用いる場合について検討する。本報告では、まず、FS-CO-LLC プロトコルの性能を平衡点解析の手法により解析し、この LLC プロトコルとコネクション型 (CO) 及びコネクションレス型 (CL) LLC プロトコルとの性能を比較する。この比較により、チャネル伝送速度が大きくなると、FS-CO-LLC プロトコルは、CO-LLC 及び CL-LLC プロトコルと比べて、いかなる平均メッセージ長においても優れた性能を持つことを定量的に示す。

An Efficient LLC Protocol in a High-Speed Satellite Data Network and Its Performance Evaluation

Takahiro SUZUKI and Shuji TASAKA

Faculty of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Nagoya 466, Japan

Abstract This paper proposes an efficient Logical Link Control (LLC) protocol, referred to as Fast Select Connection-Oriented (FS-CO), for high-speed satellite data networks. The FS-CO-LLC protocol employs a method of implicit connection establishment to decrease the communication overhead. We analyze the performance of the FS-CO-LLC protocol in a satellite network with the TDMA-Reservation multiple access protocol. We also indicate in a quantitative way that if the channel transmission rate is high, the FS-CO-LLC protocol outperforms both a connection-oriented LLC protocol and a connectionless LLC protocol at all values of the average message length.

1 まえがき

高速データ通信網においては、伝送路の高速化のため、データ伝送時間より通信処理時間がシステム性能の支配的要因となる。このため、通信処理に要する時間が大きいと、アプリケーションレベルでの十分なシステム性能は得られない。従って、効率的な高速データ通信網を実現するためには、従来のネットワークアーキテクチャについて見直しを行うとともに、コネクション制御方式、フロー制御方式等の各プロトコル機能の改良を行い、処理時間の短いプロトコルを構築する必要がある⁽¹⁾。特に、高速衛星データ通信網の場合には、チャネル伝搬遅延時間がシステムのボトルネックとなるので、プロトコル設計の際、これを十分考慮すべきである。

本報告では、高速衛星データ通信網に適した LLC プロトコルとして、ファストセレクトコネクション型 (Fast Select Connection-Oriented: FS-CO) プロトコルを提案する。FS-CO-LLC プロトコルは、XTP, VMTP 等の高速データ通信網用プロトコルと同様に、インプリシットにコネクションの確立を行う。すなわち、コネクション確立要求をデータフレームに含ませ、このデータフレームに対する ACK を送信局が受信した時点でコネクションが確立される。この方法により、従来の CO-LLC プロトコルで生じるコネクションオーバーヘッドによる性能劣化を防ぐことができる。本報告では、多元接続プロトコルとして、文献 (2)~(4) と同じく、TDMA 予約を用いる場合について検討する。この LLC プロトコルを CSMA/CD ローカルエリアネットワークで用いた場合については、既に文献 (5) において筆者らが解析している。

以下、2. で、まず、TDMA 予約多元接続プロトコルについて述べ、次に、FS-CO-LLC プロトコルを定義する。そして、3. で、FS-CO-LLC プロトコルを、平衡点解析 (EPA)⁽⁶⁾ の手法により解析する。更に、4. で、数値例により、FS-CO-LLC プロトコルと CO-LLC 及び CL-LLC プロトコルとの性能比較を行う。特に、チャネル伝送速度が高速になると、FS-CO-LLC プロトコルは CO 及び CL-LLC プロトコルと比較して、いかなる平均メッセージ長に対しても優れた性能を示すことを定量的に明らかにする。

2 データリンクプロトコル

2.1 TDMA 予約多元接続プロトコル⁽²⁾

TDMA 予約多元接続プロトコルは、図 1 に示すようなフレーム構造のチャネルを用いる。各チャネルフレームは、 L 個の大スロットから構成され、一つの大スロットは 1 個のデータスロットと V 個の連続する小スロットから成る。データスロットはデータフレーム伝送用であり、その長さはデータフレーム長に等しい。(ここでの“フレーム”は、データリンク層プロトコルデータ単位を指し、以下、単にフレームという場合にはこれを意味する。) 小スロットは各局に TDMA 的に固定割当てされており、予約フレームや他の制御フレームの送信に用いられる。すなわち、結合型のデータリンクプロトコルを用いる⁽⁷⁾。従って、網内の局数を M とすると

$$V = \lceil M/L \rceil \quad (1)$$

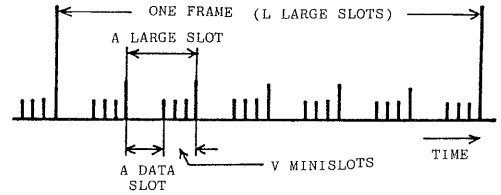


図 1: TDMA 予約プロトコルのチャネルフレームの構造

なる式が成立する。但し、 $\lceil x \rceil$ は、 x より小さくない最小の整数を意味する。

2.2 FS-CO-LLC プロトコル

以下に、FS-CO-LLC プロトコルの動作を記述する。一つのメッセージを発生した局は、一つの予約フレームを送信する。その予約フレームから構成される全てのデータフレーム送信のためのデータスロットの予約要求が含まれている。それらの予約されたデータスロットを用いて、1 回目のデータフレームの送信を行う。但し、最初のデータフレーム中にコネクション確立要求を含ませる。受信局は、これらの一連のデータフレームのうち、バッファオーバーフローすることなく正しく受信したものに対して ACK(D-ACK) を返送する。この D-ACK には、以後行われるフロー制御のためのウィンドウサイズ W が記されている。この D-ACK を送信側が受信した時点でコネクションが確立される。(もし、最初に転送されたすべてのデータフレームがオーバーフローすることなく正しく受信された場合には、この D-ACK を送信局が受信した時点でメッセージの転送は終了する。) 1 回目のデータフレームの送信の際、正しく受信されなかったフレームは再送される。2 回目以降のデータフレーム送信の際には、サイズ W のウィンドウフロー制御が行われる。すなわち、送信局が一度に予約可能なデータスロット数は高々 W 個である。また、最後に送信するデータフレーム中にコネクション終結要求を含ませ、それに対する D-ACK を送信側が受信した時点でコネクションは終結される。

3 FS-CO-LLC プロトコルの解析

3.1 モデル化

FS-CO-LLC プロトコルをモデル化する際に次の仮定を置く。

- A1) システムは M 個の局からなる。
- A2) 衛星チャネルの伝送速度を C bps とする。
- A3) 衛星チャネルの往復伝搬遅延を R データスロット長とする。
- A4) 全てのフレームの転送は誤りなく行われる。
- A5) 一つの局でのメッセージ発生間隔は、平均 $1/\sigma$ データスロット長の幾何分布をなす。
- A6) 一つのメッセージは、平均 $h = 1/\gamma$ の幾何分布に従う数のデータフレームに分割される。
- A7) 一つのメッセージは、一つの局にのみ向けられる。
- A8) メッセージの転送は、一つの局から、他の局への一

方向のみ行われる。

A9) 一つのメッセージを発生した局は、そのメッセージの転送が完了するまで、次のメッセージを発生しない。

A10) 予約フレーム及び D-ACK は全て同じ長さとし、自局割当ての小スロットを用いて転送される。

A11) 各受信局は、常に、一つの送信局当り W データフレーム分の受信バッファを用意している。各局において、一度に W 個までの連続したデータフレームは正しく受信されるが、 W 個を越えるものについてはオーバフローによって失われる。

A12) 自局宛のデータフレームを受信した局は、受信後最初に現れる自局割当ての小スロットを用いて、D-ACK の返送を行う。

A13) 受信したフレームの処理時間と、D-ACK 作成のための時間は、十分小さく無視できる。

A14) 一つの局で、D-ACK の返送要求と予約フレームの送信要求とが同時に生じた場合には、D-ACK の送信を優先する。

A15) ある局が一つの大スロット内において他の局より自局宛の D-ACK を受信し、それに引き続いて予約フレームの送信を行う必要のあるとき、仮に、その大スロット内で予約フレームの送信が可能であったとしても、ここでは送信せず、1 フレームだけ送信を遅らせる。

本報告においては、文献 (2) と同様に、モデルにおける時間の単位を 1 大スロット長とする。このため、仮定 A3 と仮定 A5 を次のように修正する。

A3m) 衛星チャネルの往復伝搬遅延を J 大スロット長とする。但し、

$$J \triangleq [R/(1+V\eta)] \quad (2)$$

である。ここで、 η は小スロット長とデータスロット長との比を表す。

A5m) 各局は、1 大スロット当り確率 α で一つのメッセージを発生する。但し、

$$\alpha \triangleq (1+V\eta)\sigma \quad (3)$$

である。また、メッセージの発生は、大スロットの開始時点で起こるものとする。

FS-CO-LLC プロトコルの動作は非常に複雑なため、厳密なモデル図を作成することは困難である。そこで、文献 (2) と同様に、モデル化のために更に次の仮定を置く。A16) [ACK 仮説] 一つの局が、D-ACK を待っているとき、その局の状態を相手局が送信する D-ACK の状態によって表現する。

A17) [メッセージ長の近似] ある局が 1 回目のデータフレームの送信において、 W 個を越えるデータフレームを連続送信した場合と、2 回目以降のデータフレームの送信の際、送信すべきデータフレームを持っているにもかかわらずウィンドウが閉じた場合とを考える。これらの場合、その局が、D-ACK を受信した時点で持っている送信すべき残りのデータフレーム数は、平均 $h = 1/\gamma$ の幾何分布に従って新たに決定される。

A18) ある局が、空の仮想待ち行列⁽²⁾に加わった場合、1 大スロットだけ送信開始を遅らせる。

A19) ある局が、現大スロットにおいて一つの予約フレームを発生したとする。この場合、その局に割当てられた小スロットは、確率 $1/L$ で i ($0 \leq i \leq L-1$) 大スロット後に現れる。

以上の全ての条件の下で作成した近似モデルを図 2 に示す。図中のモードの意味は次の通りである。

T モードは、送信すべきメッセージを持っていない状態を表す。

WS_i ($1 \leq i \leq J+L-1$) モードは 1 回目のデータフレーム送信のための予約フレームの送信を行っている状態を表す。このうち WS_i ($J+1 \leq i \leq J+L-1$) モードは仮定 A19 を表しており、実際に予約フレームの送信が行われるのは T モード或は WS_{J+1} モードである。 WS_i ($1 \leq i \leq J$) モードは、チャネル伝搬遅延の影響を表す。 WS_0 モードは、予約が完了して仮想待ち行列に加わっている状態を表す。但し、 WS_0 モードには、仮定 A18 が用いられている。また、 AC_i, WD_i, AD_i, AF_i ($1 \leq i \leq J+L-1$) の各モードの添字の意味も WS_i ($1 \leq i \leq J+L-1$) モードと同様である。

S タイプのモードは 1 回目のデータフレームの送信を表す。 $S_{n,n} \sim S_{n,1}$ ($1 \leq n \leq W$) モードは、 n 個のデータフレームの連続送信を表しており、送信されたフレーム数が受信バッファサイズ以下であった場合に対応する。 $SC_{c,h}$ ($1 \leq h \leq W$) モード及び BO モードは、 W 個を越えるデータフレームの連続送信を表している。このうち、 $SC_{c,h}$ ($1 \leq h \leq W$) モードは最初の W 個のデータフレームの連続送信を表しており、これらのデータフレームは受信局で正しく受信される。また、 BO モードは、 $(W+1)$ 番目以降のフレームの送信を表す。すなわち、受信局においてオーバフローを起こしているにも関わらず、データフレームを送り続けている状態を表すモードである。

DS_j 及び DB_j ($1 \leq j \leq J$) モードは、ともにチャネル伝搬遅延の影響を表す。

AC_i ($0 \leq i \leq J+L-1$) モードは、ACK 仮説による D-ACK の送信を表す。このうち、 AC_0 モードは仮定 A15 を表している。また、一つの局が AC_i モードにある間に、その局と相手局とのコネクションが確立され、次の大スロット開始時点でその局は AC_0 モードに入る。

WD_i ($1 \leq i \leq J+L-1$) モードは 2 回目以降のデータフレーム送信のための予約フレームの送信を行っている状態を表す。 WD_0 モードは、予約が完了して仮想待ち行列に加わっている状態を表す。

D タイプのモードは 2 回目以降のデータフレームの送信を表す。これら一群のフレームでウィンドウフロー制御を表現している。 $D_{n,n} \sim D_{n,1}$ ($1 \leq n \leq W$) モードは、 n 個のデータフレームの連続送信を表しており、この送信によって、手持ちのデータフレームの送信が終了した場合に対応する。 $DC_{c,h}$ ($1 \leq h \leq W$) モードは、 W 個のデータフレームの連続送信を表しており、送信局にまだ送信すべきデータフレームが残っているにも関わらずウィンドウが閉じた場合に対応する。

DD_j 及び DF_j ($1 \leq j \leq J$) モードは、チャネル伝搬遅延の影響を表す。

AD_i ($0 \leq i \leq J+L-1$) モード及び AF_i ($1 \leq i \leq J+L-1$) モードは、ACK 仮説による D-ACK の送信を表す。このうち、 AD_0 モードは仮定 A15 を表している。また、 DF_j ($1 \leq j \leq J$) モード經由で AF_i ($1 \leq i \leq J+L-1$) モードに遷移した局と相手局とのコネクションは、その局が AF_i モードにある間に終結される。

図 2 において、確率 q_n ($1 \leq n \leq W$)、 q_c は、仮定

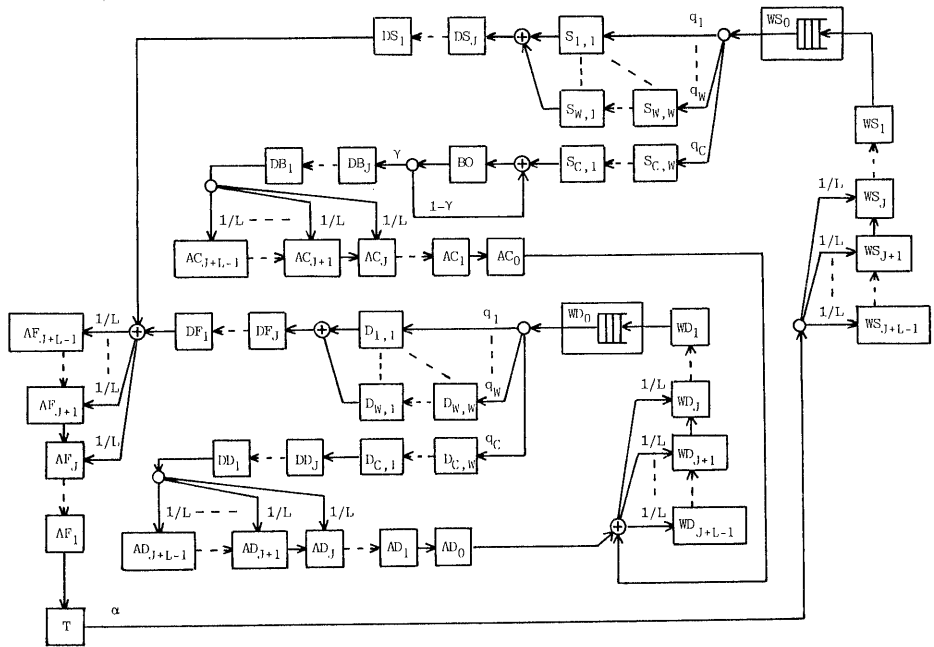


図 2: FS-CO-LLC プロトコルを用いた TDMA 予約衛星パケット通信網の近似モデル

A6,A17 によって、次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} q_n &= \gamma(1-\gamma)^{n-1} \quad 1 \leq n \leq W \\ q_C &= (1-\gamma)^W \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

以上のように、図 2 のモデルには予約が完了して仮想待ち行列に加わっている状態を表すモードが二つある。一方、文献 (2)~(4) のモデル図にはこの種のモードは一つしかない。このため、FS-CO-LLC プロトコルの解析は、CO-LLC 或は CL-LLC プロトコルの解析より複雑となる。

3.2 平衡点解析

ここでは、紙数の制約のため、図 2 のモデルの解析の概略のみを示す。

解析のため、まず、次の変数を定義する。

$$u(n) \triangleq \begin{cases} 1 & \text{現大スロットでの状態が } n \text{ の時、次の大} \\ & \text{スロット中のデータスロットを用いてデ} \\ & \text{ータフレームの送信が行われる場合} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (5)$$

同様に、現大スロットでの状態が n の時、次の大スロット中のデータスロットを用いて 1 回目のデータフレームの送信が行われる場合のみ 1 となり、それ以外の場合は 0 であるような変数を $u_S(n)$ とする。更に、同様の変数を、2 回目以降のデータフレームの送信について $u_D(n)$ と定義する。このとき、一つのデータスロットで送信されるフレーム数は高々一つであるので

$$u(n) = u_S(n) + u_D(n) \quad (6)$$

となる。また、

$$f \triangleq \gamma / \{1 - (1-\gamma)^W\} \quad (7)$$

と定義する。このとき、 $1/f$ は、仮定 A6,A17 の下でサイズ W フレームのウィンドウフロー制御を行ったとき、各局が一回の予約で送信できるデータフレーム数の平均となる。

システムが状態 n にあるとして、各モードにおける一大スロット当りの増加局数の条件付き期待値を計算して 0 と置き、独立な式をまとめる (フローバランスの式を求める)。そして、文献 (2) と同様な方法で、このようにして得られた式を整理し、更に、網内の局数が M であることも利用すると、次式が得られる。

$$\begin{aligned} M - (w_{S0e} + w_{D0e}) - \{\gamma u_S(n_e) + f u_D(n_e)\} \\ \left\{ \sum_{n=1}^W n q_n + (W+1) q_C + (1-q_C) / \alpha \right. \\ \left. + L + 3J - 1 \right\} - q_C u_S(n_e) = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$u_D(n_e) = \gamma q_C u_S(n_e) / f(1-q_C) \quad (9)$$

但し、 w_{S0}, w_{D0} は、各々、 $W S_0$ モード、 $W D_0$ モードにある局数を表す確率変数である。また、上式は、平衡点 n_e において成立する式であるので、各確率変数には、添字 e が付けてある。式 (6),(9) より、次の関係が成り立つ。

$$u_S(n_e) = u(n_e) / (1 + q_C) \quad (10)$$

ここで、

$$w_0 \triangleq w_{S0} + w_{D0} \quad (11)$$

と定義すると、確率変数 w_0 は仮想待ち行列に加わっている局数を表すことになる。平衡点解析 (EPA) では、ある変数の期待値は、その確率変数の平衡点における値で近似される⁽⁶⁾。従って、式 (11) は平衡点においても成立する。式 (9)~(11) より式 (8) は次のように表される。

$$M - w_{0e} - \frac{\gamma u(n_e)}{(1-q_c^2)} \left[\sum_{n=1}^W n q_n + \{W + (1-q_c)/\gamma + 1\} q_c \right] + (1-q_c)/\alpha + L + 3J - 1 = 0 \quad (12)$$

以下、文献 (2) と同様の議論により、次の平衡点方程式を導くことができる。

$$M - \frac{[\gamma^2 p^2 \{ \sum_{n=1}^W n q_n + \{W + (1-q_c)/\gamma + 1\} q_c \}^2 (2-\gamma)]}{\left[2[1-q_c^2 - \gamma p \{ \sum_{n=1}^W n q_n + \{W + (1-q_c)/\gamma + 1\} q_c \}] (1-q_c^2) \right]} - \frac{\gamma u(n_e)}{(1-q_c^2)} \left[\sum_{n=1}^W n q_n + \{W + (1-q_c)/\gamma + 1\} q_c \right] + (1-q_c)/\alpha + L + 3J - 1 = 0 \quad (13)$$

ここで、 $p \triangleq P_r[u(n) = 1]$ としている。上式は、 p の二次方程式である。この二次方程式の根のうち、 $0 \leq p \leq 1$ の範囲内のものを用いれば、平衡点 n_e が求められる。

次に、スループット \bar{S} と平均応答時間 D_r を求める。スループット \bar{S} は、1 データフレーム伝送時間 (1 データスロット長) 当りに伝送されるデータフレームの平均数と定義され、また、平均応答時間 D_r は、一つのメッセージが発生してから、最後のデータフレームに対する D-ACK を受信するまでの平均時間と定義される。文献 (2) と同様の議論により、スループット \bar{S} と平均応答時間 D_r は、各々、次のように表される。

$$\bar{S} = \frac{\gamma p \{ \sum_{n=1}^W n q_n + W q_c \}}{(1-q_c^2)(1+V\eta)} \quad (14)$$

$$D_r = \frac{(\sum_{n=1}^W n q_n + W q_c) M}{(1-q_c) \bar{S}} - \frac{1}{\sigma} + \frac{(1+V\eta)(\rho-q_c)}{(1-q_c)} \quad (15)$$

[単位: データフレーム伝送時間]

4 数値例

本章では、FS-CO-LLC プロトコルの EPA による解析結果と、対応するシミュレーション結果の数値例を示す。比較のため、CO 及び CL-LLC プロトコルの数値例も示す。本報告で取り扱っている CO-LLC プロトコルは文献 (2) のものと同じであり、文献 (3) におけるタイプ A CO-LLC プロトコルに相当する。以下の数値例においては、 $M = 100$, $L = 20$, $W = 50$, $\eta = 0.1$ (データフレーム長 1125 ビット, 制御フレーム長 112 ビット), チャンネル往復伝搬遅延 0.27 秒としている。また、シミュレーションにおいては、各局は、他の全ての局の各々に対して等確率でメッセージを送るとしている。図 3 及び図 4 に、スループット及び平均応答時間と平均メッセージ長との関係を示す。但し、平均応答時間は、秒を単位として示されている。これらの図には $C = 50 \text{ Kbps}$ ($R = 12$) と $C = 10 \text{ Mbps}$ ($R = 2400$) との両方の場合を示しており、図 3 では、負荷 $M\sigma h = 0.2$ 、図 4 では、負荷 $M\sigma h = 0.4$ としている。

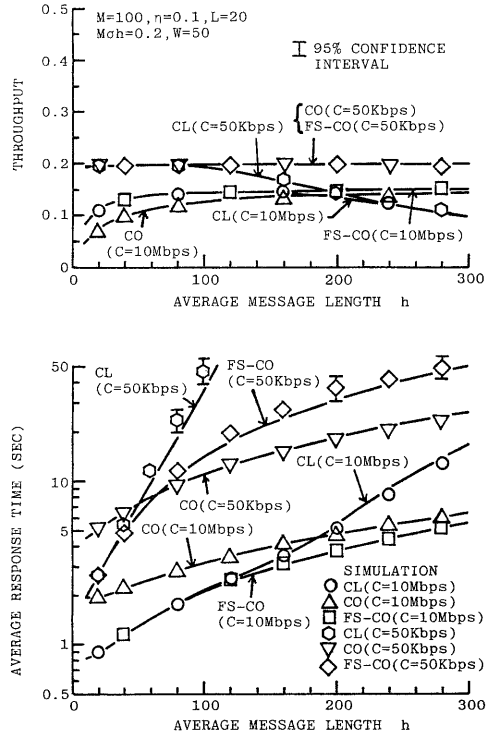


図 3: スループット及び平均応答時間特性 (1)

図 3 及び図 4 では、EPA による理論値は実線で、シミュレーション値は○△□等の記号で示している。シミュレーションランの長さは $C = 50 \text{ Kbps}$ の場合には 1,050,000 大スロット、 $C = 10 \text{ Mbps}$ の場合には 21,000,000 大スロットとし、95%信頼区間も求めた。但し、95%信頼区間については、記号の中に含まれる場合には示していない。

まず、FS-CO-LLC プロトコルの解析結果の精度を調べる。図 3 及び図 4 において、理論値とシミュレーション値とは一般に良く一致している。但し、平均応答時間については、 $C = 50 \text{ Kbps}$ の場合に、平均メッセージ長が大きくなるにつれてやや誤差が現れる。

次に、図 3 と図 4 を用いて、FS-CO-LLC プロトコルと CO-LLC 及び CL-LLC プロトコルとの性能を比較する。まず、 $C = 50 \text{ Kbps}$ の場合を検討する。FS-CO-LLC プロトコルは、平均メッセージ長の小さな領域では、CL-LLC プロトコルとほぼ同じかわずかに良い性能を持ち、CO-LLC プロトコルより良い性能を示している。平均メッセージ長の大きな領域では、CO-LLC プロトコルと CL-LLC プロトコルとの中間の性能を示している。FS-CO-LLC プロトコルが、常に CL-LLC プロトコルより性能が良いのは、FS-CO-LLC プロトコルの場合には、1 回目のデータフレーム転送時のみバッファオーバーフローの可能性があるので、CL-LLC プロトコルの場合には、2 回目以降のデータフレームの転送時にもバッファオーバーフローの可能性があるのである。また、FS-CO-LLC プロトコルと CO-LLC プロトコルとの性

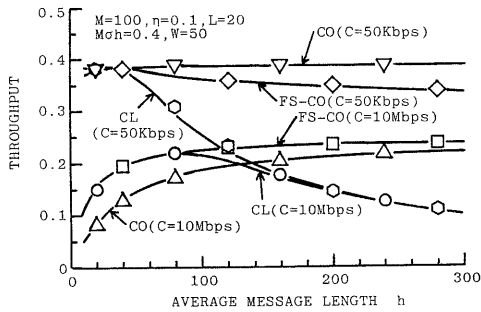


図 4: スループット及び平均応答時間特性 (2)

能差は、CO-LLCプロトコルのコネクション確立・終結に伴うオーバーヘッドによる性能劣化分とFS-CO-LLCプロトコルにおける1回目のデータフレーム送信の際のバッファオーバーフローによる性能劣化分との相対的な大きさによるものである。

次に、 $C = 10Mbps$ の場合を検討する。図3及び図4より、FS-CO-LLCプロトコルは、CL-LLCプロトコルと比較して、この場合にも常に良い性能を示すことがわかる。また、これらの図では、FS-CO-LLCプロトコルは、CO-LLCプロトコルより、いかなる平均メッセージ長においても優れた性能を持っている。このことは、チャンネルが高速になると、データフレーム転送時間に対するチャンネル伝搬遅延時間が相対的に大きくなることを考えれば当然のことである。

更に、平均応答時間について、横軸の平均メッセージ長を図4の5倍の範囲まで取った理論値を図5に示す。但し、この図には、 $C = 10Mbps$ の場合のみを示している。図5は、チャンネルが高速である場合には、FS-CO-LLCプロトコルは、いかなる平均メッセージ長においても、CO及びCL-LLCプロトコルと比べ良い性能を持つことを示している。

5 むすび

本報告では、高速衛星データ通信網における高効率LLCプロトコルとしてFS-CO-LLCプロトコルを提案し、そ

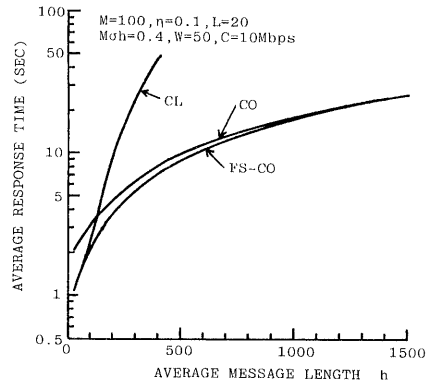


図 5: 高速チャンネルにおける平均応答時間特性

の性能を評価した。まず、FS-CO-LLCプロトコルを、平衡点解析(EPA)の手法により解析し、このLLCプロトコルと、CO及びCL-LLCプロトコルとの性能を比較した。その結果、チャンネルが高速である場合には、FS-CO-LLCプロトコルは、いかなる平均メッセージ長に対しても、CO及びCL-LLCプロトコルと比べ優れた性能を示すことがわかった。

【謝辞】 本研究は、平成3年度文部省科学研究費補助金一般研究(C)(02650244)によって行われた。

文献

- (1) T. F. La Porta and M. Schwartz: "Architectures, Features, and Implementation of High-Speed Transport Protocols", *IEEE Network Magazine*, vol.4, No.2, pp.14-22(May 1991).
- (2) 田坂修二, 廣田雅也: "TDMA予約衛星通信網におけるデータリンクコネクション制御方式", 信学論(B-I), J73-B-I-4, pp.297-308(1990-04).
- (3) S. Tasaka: "An analysis of a connection-oriented LLC protocol in the TDMA-Reservation satellite network", *Conf. Rec. GLOBECOM'89*, pp.1416-1422(Nov.1989).
- (4) S. Tasaka and T. Suzuki: "A performance comparison of connection-oriented and connectionless LLC protocols in a high-speed satellite data network", *Proc. IEEE INFOCOM'91*, pp.489-497(Apr.1991).
- (5) S. Tasaka: "A fast select connection-oriented LLC protocol in CSMA/CD networks", *Conf. Rec. ICC'91*, pp.428-434(June 1991).
- (6) S. Tasaka: "Performance Analysis of Multiple Access Protocols", MIT Press, Cambridge, MA (1986).
- (7) 鈴木、田坂: "衛星パケット通信網におけるMAC及びLLCプロトコル構成法の比較", 信学秋全大, B-400(1991-09).