

JUST-PC 手順のスループット特性

正 員 石橋 豊†

Throughput of JUST-PC Protocol

Yutaka ISHIBASHI†, Member

あらし 本論文では、郵政省から告示された「パーソナルコンピュータ通信装置推奨通信方式」(JUST-PC 手順)の最大スループットを理論解析し、回線のビット誤り率、データブロック長、最大連続送信フレーム数、モデム機能等が特性に及ぼす影響について検討する。JUST-PC 手順については、OSI に準拠したプロトコル構成になっており、その理論解析の複雑さから従来は通信実験による特性評価が行われているにすぎない。本論文では、電気・物理レイヤからセッションレイヤまでのプロトコルを一括して理論解析し、各種パラメータの決定方法を明らかにしている。その結果、(1)最大スループットは3,700~4,100 bit/s 程度である、(2)最大トランスポートデータ (TDT) ブロック長と最大連続送信フレーム数には最適値が存在する、(3)最大 TDT ブロック長の選択は、セッションサービスデータユニット (SSDU) 長の選択よりも厳密に行う必要がある、(4)最大 TDT ブロック長と SSDU 長の変化に対して最大スループットが不連続的に変化する、こと等を示す。

1. ま え が き

郵政省から告示された「パーソナルコンピュータ通信装置推奨通信方式」(JUST-PC (Japanese Unified Standards for Telecommunications-Personal Computer) 手順)⁽¹⁾ は、電話回線を使用し、(1)通信速度が4,800 bit/s(b/s)と高速である、(2)エラーフリーである、(3)回線品質によって通信速度が4,800 bit/s から2,400 bit/s にフォールバックする、(4)任意のデータの取扱いが可能である、等の多くの利点を有している。JUST-PC 手順を採用したシステムが既にいくつか出現しており、サービスに供されている。

本論文では、JUST-PC 手順の最大スループットの理論解析を行い、回線のビット誤り率やデータブロック長、最大連続送信フレーム数、モデム機能等がスループット特性に及ぼす影響について考察する。特に、本論文は、レイヤ1からレイヤ5までのプロトコルを一括して理論解析しており、各レイヤにおけるパラメータ値の決定方法を示す。

JUST-PC 手順の接続構成は、図1に示すように、二つのパーソナルコンピュータ (PC: パソコン) に

RS-232C 回線経由で JUST-PC アダプタを接続し、電話網を介してそれらを呼接続するようになっている。本論文では、セッションレイヤまでのコネクションが確立された後のデータ転送状態における JUST-PC アダプタ間の最大スループットの理論解析を行っている。

JUST-PC 手順は OSI に準拠したプロトコル構成になっており、その理論解析の複雑さから従来は文献(2)と(3)において通信実験による特性評価が行われているにすぎない。また、各種パラメータの特性に及ぼす影響についても十分には検討されていない。

文献(2)では、2台のパソコンにそれぞれ RS-232C 回線経由で JUST-PC アダプタを接続し、JUST-PC アダプタ間は回線エミュレータを介して相互接続して実験を行っている。片方向通信と両方向通信の場合のスループット(転送速度)を測定し、CFU(制御機能要素)⁽¹⁾のデータ長や送信要求間隔が特性に及ぼす影響等について調べている。文献(3)では、文献(2)と同様の実験環境のもと、ファイル転送の転送速度を測定し、データブロック長やパソコンとアダプタ間のバッファ容量が特性に及ぼす影響等について調べている。その結果、スループットが3,500~4,200 bit/s 程度であることを明らかにしている。

一方、本論文のように下位レイヤから上位レイヤまでのプロトコルを評価している論文は、上述のように

† NTT 情報通信処理研究所, 武蔵野市
NTT Communications and Information Processing Laboratories,
Musashino-shi, 180 Japan

その理論解析の複雑さからまだ少ないのが現状である。一般に、この複雑さは、複数レイヤ構成の各レイヤにコマンドとレスポンスがあり、各レイヤが独立に振る舞うと共に、2.で説明するようにデータブロックの分割と組立てが複数レイヤで行われるところにある。文献(4)は、この種の論文の代表例であり、G4ファクシミリのスループットを解析している。固定長のファクシミリメッセージの伝送を考え、各レイヤ独立にヘッダによるオーバーヘッドやコネクシオンの確立時間、伝搬遅延、処理遅延等を計算し、レイヤ間でそれらを積み上げることによりスループットの評価を行っている。また、データブロック長やビット誤り率、適用網の違いが特性に及ぼす影響について考察している。

本論文の特徴は、文献(4)のように複数レイヤを別々に評価して積み上げるのではなく、一括して理論解析しているところにある。このように一括して理論解析できるのは、本論文で扱うJUST-PC手順では、データリンクレイヤにはコマンド(Iフレーム)に対するレスポンス(RR, REJフレーム)があるが、ネットワークレイヤ、トランスポートレイヤ、セッションレイヤにはレスポンスがなく、更にデータブロックの分割と組立てがトランスポートレイヤのみで行われるからである。また、文献(2)と(3)はJUST-PCアダプタを介した二つのパソコン間のスループットを扱っているが、本論文でJUST-PCアダプタ間のみを扱うのは、解析の簡単のためだけでなく、JUST-PC手順のスループット特性はパソコンとJUST-PCアダプタ間よりも電話網を介したJUST-PCアダプタ間の方が支配的と考えられるからである。なお、JUST-PC手順のインプリメント方法には、いくつかの方法があり⁽¹⁾、図1のようなアダプタ形式で実現するのは、一般的ではあるが、一例にすぎないことに注意されたい。

以下、2.でJUST-PC手順について簡単に説明し、3.で解析の仮定や前提を述べる。4.では最大スループットの解析を行い、5.で各種パラメータが特性に及ぼす影響等について検討する。

2. JUST-PC 手順

JUST-PC手順のプロトコル構成⁽¹⁾は表1に示すようにOSIに準拠した構成となっている。表1はJUST-PCアダプタ間のプロトコルを示したものである。セッションレイヤの通信モードには全2重(必須)と半2重(オプション)があるが、本論文では必須機能である全2重のみを検討対象とする。

JUST-PC手順では、図2に示すように、APDU(application protocol data unit)というアプリケーションレイヤ(application layer)のデータを送信する場合、APDUはセッションレイヤ(session layer)に渡されるときにSSDU(session service data unit)というデータブロックに分割される。セッションレイヤでは、SSDUにヘッダ(header)を付加し、DTと呼ばれるSPDU(session protocol data unit)を構成する。その後、DTはトランスポートレイヤ(transport layer)に引き継がれ、最大TDTブロック長(maximum TDT block size)単位にSPDUを分割すると共に、ヘッダを付加し、TDTブロックを構成する(トランスポートレイヤのデータブロック名はセッションレイヤとの区別のためT.70に従うことにする)。トランスポートレイヤでは、SPDUが分割されたことを示すために、ブロックの終

表1 プロトコル構成

レイヤ	プロトコル
セッション	X.225カーネル+全2重/半2重&ED
トランスポート	X.224クラス0(T.70)
ネットワーク	T.70CSDN用
データリンク	LAP-B, HDTM(LAP-X)
電気・物理	V.27ter

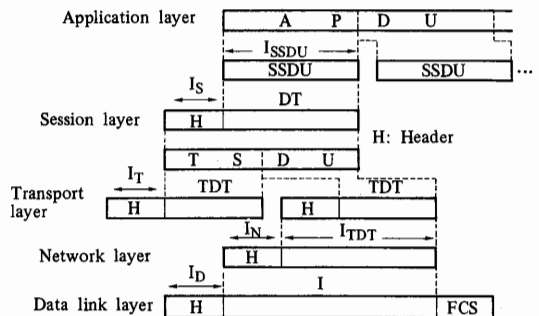


図2 データの組立てと分割
Fig. 2 Segmenting and reassembling.

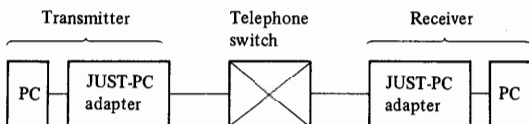


図1 システム構成
Fig. 1 System configuration.

了を表示するTSDU 終了表示をパラメータとして有している。更に、TDT はネットワークレイヤ (network layer) に引き継がれてヘッダが付加され、データリンクレイヤ (data link layer) に渡される。データリンクレイヤでは、ヘッダを付加し、I フレームを構成して、半2重回線を用いてこれを送信する。このように、JUST-PC 手順では、APDU の分割は、アプリケーションレイヤとトランスポートレイヤで行う。

データの受信時には、送信時とは逆に、受信データのプロトコルヘッダを取り除き、TSDU 終了表示のもとにデータの組立を行い、上位レイヤにデータを引き継ぐことにより、最終的に APDU を構成する (アプリケーションレイヤでは、例えば長さ表示を利用してデータの組立を行う)。

セッションレイヤの接続が確立され、セッションレイヤのデータ転送状態に入った後の I フレームのフォーマットを図3に示す。図3において、M はモアデータ表示、Q はクオリファイア、F は通信休止要求、A は通信休止了承、R は通信休止拒否、E は TSDU 終了表示を表す。なお、トークン項目 (token item) については、オプションのパラメータであるため含めなくてもかまわない。セッションレイヤのヘッダは、DT が複数の TDT ブロックに分割されるため、分割された

最初の TDT にのみ含まれることに注意されたい。このように、OSI に準拠した構成のプロトコルを解析するためには、データブロックの組立てや分割をうまくモデル化することが必要である。

3. 前提と仮定

図1に示すように JUST-PC アダプタを接続した二つのパソコン (transmitter, receiver) が電話網を介して接続されており、セッションレイヤ以下の接続は既に確立されているものとする。本論文では、アプリケーションレイヤのデータを片方向にのみ送信する場合と、両方向に送信する場合を扱い、以下の仮定のもとで解析を行う。

- (1) 通信速度を C bit/s とする。
 - (2) 回線のビット誤り率 (bit error rate) を P_b とする。
 - (3) モジュラス (modulus) を M とする (最大連続送信フレーム数は $M-1$ とする)。
 - (4) 受信確認は RR フレームによって行う。
 - (5) 誤り回復は REJ フレームによってのみ行う。
 - (6) RR フレームと REJ フレームの誤りは無視できるものとする。
 - (7) RR フレームと REJ フレームの長さは一定で、その長さをともに I_{RR} ビットとする。
 - (8) TDT ブロックの最大長を I_{TDT} ビットとする。
 - (9) SSDU の最大長を I_{SSDU} ビットとする。
 - (10) アプリケーションレイヤにおけるデータ長を無限大とする。
 - (11) データリンク、ネットワーク、トランスポート、セッションレイヤで付加されるヘッダ長をそれぞれ I_D (FCS を含む)、 I_N 、 I_T 、 I_S ビットとする。
 - (12) 伝搬遅延時間は無視できるものとする。
 - (13) 送信権獲得 (ターンオンシーケンス) および放棄 (ターンオフシーケンス) に要する時間をそれぞれ t_{on} 、 t_{off} 秒とする。
 - (14) 信号間のガード時間 (ターンオフシーケンス完了からターンオンシーケンス開始までの時間) を t_{ga} 秒とする。
 - (15) パソコンは常に送信すべきデータをもっているものとする。
- スループット (throughput) は、単位時間当りに正しく転送されるアプリケーションレイヤのデータのビット数と定義する。本論文で評価尺度として用いる最大スループットは、仮定(15)のもとで得られる。

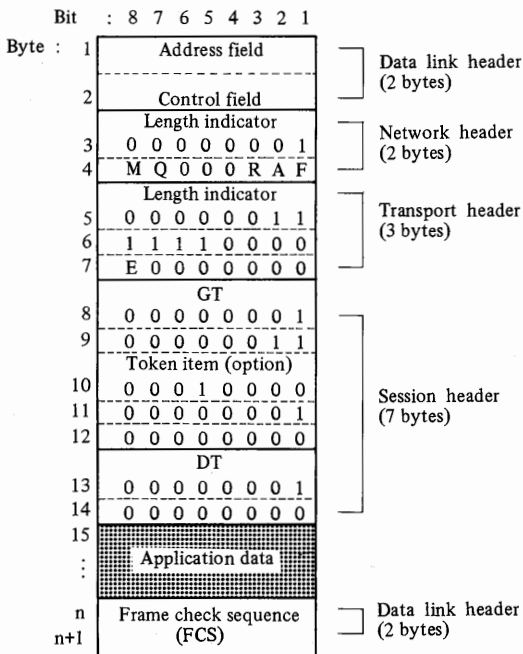


図3 フレームフォーマット
Fig. 3 Frame format.

4. 最大スループット

4.1 片方向通信の場合

仮定(10)より固定長 I_{SSDU} の SSDU が無限個生成され、図2に示すように、セッションレイヤで長さ I_S のヘッダが付加され、トランスポートレイヤで分割される。分割されたデータブロックは、長さ I_T のヘッダが付加されて TDT を構成する。1個の SSDU が N_{TDT} 個の TDT に分割されるとすると、 N_{TDT} は次式となる。

$$N_{TDT} = \begin{cases} 1 & \text{for } I_{SSDU} \leq I_{TDT} - I_T - I_S \\ 2 + \left[\frac{I_{SSDU} - I_{TDT} + I_T + I_S}{I_{TDT} - I_T} \right] & \\ & \text{for } I_{SSDU} > I_{TDT} - I_T - I_S \end{cases} \quad (1)$$

但し、上式で $[x]$ は、 x 未満の最大の整数を表す。

TDT は、更にネットワークレイヤとデータリンクレイヤでそれぞれ長さ I_N , I_D のヘッダが付加され、最終的に I フレームとして送信される。トランスポートレイヤで最後に分割される TDT とその他の TDT とではその長さが異なるため、これらの I フレームが誤る確率も異なる。これらのフレーム長をそれぞれ L_E , L_S ビットとすると、これらは次式となる。

$$L_E = I_{SSDU} - (I_{TDT} - I_T)(N_{TDT} - 1) + I_S + I_T + I_N + I_D \quad (2)$$

$$L_S = \begin{cases} L_E & \text{for } L_{SSDU} \leq L_{TDT} - I_T - I_S \\ I_{TDT} + I_N + I_D & \\ & \text{for } L_{SSDU} > L_{TDT} - I_T - I_S \end{cases} \quad (3)$$

本論文では、解析の簡単のため、フレームの誤り確率 P_B はすべての I フレームで同一と考え、次式で近似する。

$$P_B = 1 - (1 - P_b)^L \quad (4)$$

$$L = \{L_S(N_{TDT} - 1) + L_E\} / N_{TDT} \quad (5)$$

一つの I フレームの送信を開始してから、誤りなく送信されるまでの時間(これを実転送時間(virtual transmission time)⁽⁵⁾と呼ぶ)の平均を t_v とすると、最大スループット T_{max} は次式で与えられる。

$$T_{max} = I_{SSDU} / (N_{TDT} t_v) \quad (6)$$

t_v は、文献(5)の手法を適用することにより得られ、以下にその導出を示す。

実転送時間は、ウィンドウ(window)位置(最大アウトスタンディングフレーム数から未確認送信フレーム数を差し引いた値)によって異なる。ここで、ウィンドウは、実転送時間の開始時点で定義される。従って、フレームに誤りがなければフレーム送信ごとにウィンドウが更新されるが、誤りがあるとそのフレームが正しく送信されるまで更新されない。ウィンドウの更新例と実転送時間の関係を図4に示す。図4は、 $M=4$ の場合の LAP-X によるフレーム送信の例を示しており、図中の I_x , RR_y , REJ_y の x と y はそれぞれ送信順序番号、受信順序番号を表す。また、ON はターンオンシーケンス(送信権の獲得)、OFF はターンオフシーケンス(送信権の放棄)を表す。図4では、まず送信側は、ターンオンシーケンスにより送信権を獲得して I フレームを三つ連続して送信し、この後、ターンオフシーケンスにより送信権を放棄する。受信側は、I フレームの受信を行い、誤りチェックにより正しく受信されたことを知ると、送信側が送信権を放棄した後、ターンオンシーケンスにより送信権を獲得し、RR フレームを送信する。この後、受信側は送信権を放棄する。次に、送信側は送信権の獲得後、新しく発生した I フレームを三つ連続して送信する。このうち、最初の I フレーム(I_3)に伝送誤りが起きるものとする。受信側でこの誤りを検出すると、REJ フレームを送信して、 I_3 フレームからの再送を要求する。送信側は、REJ フレームの受信により、 I_3 フレーム送信に誤りがあったことを知り、 I_3 フレームからの再送を行う。この再送も再び伝送誤りとなり、その次の再送によって正しく受信される。図4より、ウィンドウと実転送時間は1対1に対応していることがわかる。

ウィンドウの値を状態変数にとると、ウィンドウは確率過程を構成する。誤りなく送信された I フレームの送信完了時点において、ウィンドウが w である確率を $\phi(w)$ とし、その実転送時間を $t_v(w)$ とすると、 t_v は次

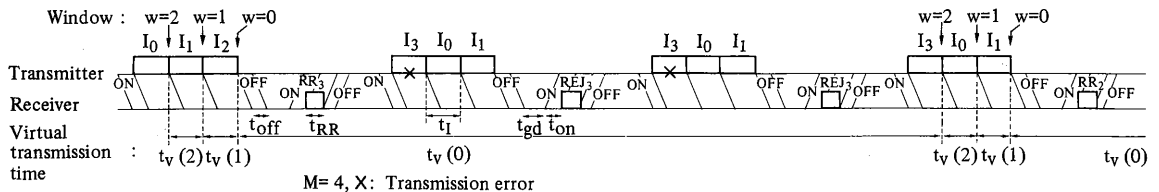


図4 LAP-Xによるフレーム送信の例
Fig. 4 An example of frame transmission under LAP-X.

式で与えられる。

$$t_v = \sum_{w=0}^{M-2} \phi(w) t_v(w) \quad (7)$$

ウィンドウの状態遷移図⁽⁵⁾から、次式を得る。

$$\phi(w) = (1 - P_B) \phi(w+1) \quad \text{for } w=0, \dots, M-3 \quad (8)$$

$$\sum_{w=0}^{M-2} \phi(w) = 1 \quad (9)$$

上式より、 $\phi(w)$ が以下のように求められる。

$$\phi(w) = \frac{P_B(1 - P_B)^{M-2-w}}{1 - (1 - P_B)^{M-1}} \quad (10)$$

Iフレームに誤りがなかった場合の実転送時間を $T_0(w)$ とすれば、これは次式となる。

$$T_0(w) = \begin{cases} t_l + t_d & \text{for } w=0 \\ t_l & \text{for } w=1, 2, \dots, M-2 \end{cases} \quad (11)$$

上式にて、 t_l は、Iフレームの送信時間であり、 $t_l = L/C$ である。 t_d は、送信権を放棄してから、再び送信権を得てIフレームを送信するまでの時間であり、次式で与えられる。

$$t_d = t_{RR} + 2(t_{on} + t_{off} + t_{gd}) \quad (12)$$

但し、 t_{RR} は、RRフレームまたはREJフレームの送信時間であり、 $t_{RR} = I_{RR}/C$ である。

Iフレームに誤りが生じる場合には、一つのIフレームの送信間隔は、図4からもわかるように最初とそれ以降で異なる。すなわち、最初は、ウィンドウ位置に依存するが、それ以降は送信権獲得後最初に送信されるため送信間隔は一定となる。最初の送信間隔を $T_1(w)$ とし、それ以降を t_2 とする。これらの導出にあたっては、簡単のため、Iフレームが2フレーム連続して誤ることはないとして近似すると、まず t_2 は次式となる。

$$t_2 = (M-2)t_l + t_d + t_l = (M-1)t_l + t_d \quad (13)$$

$T_1(w)$ は次のようになる。

$$T_1(w) = \begin{cases} (M-2)t_l + t_d + t_l \\ = (M-1)t_l + t_d & \text{for } w=0 \\ t_d + (M-2)t_l + t_d + t_l \\ = (M-1)t_l + 2t_d & \text{for } w=1 \\ (w-1)t_l + t_d + t_l \\ = wt_l + t_d & \text{for } w=2, 3, \dots, M-2 \end{cases} \quad (14)$$

$t_v(w)$ は、 $T_0(w)$ 、 $T_1(w)$ 、 t_2 を用いて次のように表せる。

$$t_v(w) = T_0(w) + P_B T_1(w) + \sum_{n=2}^{\infty} (n-1) P_B^n (1 - P_B) t_2$$

$$= T_0(w) + P_B T_1(w) + \frac{P_B^2 t_2}{1 - P_B} \quad (15)$$

以上より、 t_v を求めることができる。

4.2 両方向通信の場合

片方向通信の場合との違いは、送信権を放棄してから、再び送信権を得てIフレームの送信を開始するまでの時間 t_d に、逆方向に送信されるIフレームの送信時間が含まれる点にある。従って、片方向通信の場合の評価式において、 t_d を次式で置き換えることにより両方向の場合の評価式を得る(制御の簡単のため、受信確認は、仮定(4)に示すように、Iフレームではなく、RRフレームで行うようにしている)。

$$t_d = (M-1)t_l + 2(t_{RR} + t_{on} + t_{off} + t_{gd}) \quad (16)$$

但し、片方向通信の場合の最大スループット式では片方向分のスループットしか含まれていないため、両方向の最大スループットは、次のように片方向通信の場合の最大スループットを2倍する必要がある。

$$T_{\max} = 2I_{SSDU} / (N_{DT} t_v) \quad (17)$$

5. 数値例と考察

以下の数値例では、図3から各レイヤのヘッダ長を $I_S = 7$ バイト(Byte)、 $I_T = 3$ Byte、 $I_N = 2$ Byte、 $I_D = 6$ Byte(各フレームには前後に、1 Byte ずつのフラグが付加されるものとする)とし、RRフレームとREJフレームの長さを $I_{RR} = 6$ Byte とする。また、モデム機能(通信速度、話者エコー保護の有無、トレーニング信号の長短)の違いによるターンオンシーケンス時間 t_{on} については、モデム特性として文献(6)に規定されており、これを表2に示す。一方、ターンオフシーケンス時間と信号間のガード時間は、モデム機能によらず一定であり、 $t_{off} = 10 \text{ ms}^\dagger$ 、 $t_{gd} = 75 \text{ ms}$ とする。

以下、モデム機能については、通信速度 4,800 bit/s または 2,400 bit/s、話者エコー保護の有無、トレーニング信号の長短の組合せを [4,800 bit/s or 2,400 bit/s, cancelled or not-cancelled, long or short] と表すことにする。例えば、通信速度 4,800 bit/s、話者エコー保護無し、ショートトレーニングの場合は、[4,800 bit/s, not-cancelled, short] と表す。

5.1 片方向通信の場合

まず、最大 TDT ブロック長 I_{TDT} が最大スループットに及ぼす影響を調べるため、モデム機能として [4,800

[†] ターンオフシーケンス時間は、文献(6)では 25 ms ~ 30 ms となっているが、ターンオンシーケンス時間ほど厳密にとる必要はないため、本論文では 10 ms としている。

bit/s, not-cancelled, short]を選択し, $M=8$, $I_{SSDU}=2,048$ Byteとし, 回線のビット誤り率 P_b をパラメータとしたときの I_{TDT} に対する最大スループットを図5に示す. 図5には, 4.で行ったフレームの誤り確率の近似の妥当性を示すため, 10,000フレーム送信分のシミュレーション(simulation)結果も示している. シミュレーション結果は理論値とよく一致しており, 良い近似となっていることがわかる.

図5から, 最適な最大 TDT ブロック長が存在し, これは P_b が大きいほど小さくなることわかる. また, I_{TDT} の変化に対して最大スループットが不連続的に変化している. このように不連続的に変化するのは, 最大 TDT ブロック長に満たない TDT が作成されるためである. 更に, I_{TDT} が 2,059 Byte 以上になると, 最大スループットは一定となっている. これは, 一つの SSDU が一つの TDT として送信されるためである.

次に, SSDU 長 I_{SSDU} が最大スループットに及ぼす影響を調べるため, モデム機能として [4,800 bit/s,

not-cancelled, short]を選択し, また $M=8$, $I_{TDT}=128$ Byteとし, P_b をパラメータとしたときの I_{SSDU} に対する最大スループットを図6に示す. 図6にも 10,000フレーム送信分のシミュレーション結果を示しており, 理論値とよく一致している. この図から, I_{SSDU} を無限大にすると最大スループットはある値に収束し, I_{SSDU} をあまり小さくとり過ぎないようにすれば最大スループットは大きく劣下しないことがわかる. このように最大スループットがある値に収束するのは, I_{SSDU} が無限大になると, 作成される TDT の長さがすべて I_{TDT} になるからである. また, 図5との比較から, SSDU 長の選択は, 最大 TDT ブロック長の選択に比べると, それほど厳しくないことがわかる. 更に, 図6では, 図5と同様に I_{SSDU} の変化に対して最大スループットが不連続的に変化している. これも図5と同様の理由による. 図6の $P_b=10^{-3}$ の場合に SSDU 長に最適値が存在するようになってきているのは, I_{TDT} の最適値が 128 Byte よりも小さいためである.

最大 TDT ブロック長はプロトコル上 128, 256, 512, 1,024, 2,048 Byte のいずれかに決定されるのに対し, SSDU 長は自由に選択可能である. 従って, 図5より SSDU 長を大きめに設定しておき, 回線のビット誤り率から最大 TDT ブロック長が決定されれば, 図6より SSDU 長を決定することができる. 例えば, $P_b=10^{-4}$ とき, 図5から最大 TDT ブロック長は $I_{TDT}=100$ Byte 程度が最適になるため, 最大 TDT ブロック長を 128 Byte に選択する. 図6より SSDU 長は $I_{SSDU}=500\sim 1$ kByte 程度に選択すれば十分である.

表2 ターンオンシーケンス時間

エコー保護	トレーニング	通信速度	
		4,800 bit/s	2,400 bit/s
有	ショート	256 ms	281 ms
	ロング	923 ms	1158 ms
無	ショート	50 ms	66 ms
	ロング	705 ms	943 ms

[4800 b/s, not-cancelled, short]
 $M=8$, $I_{SSDU}=2048$ bytes

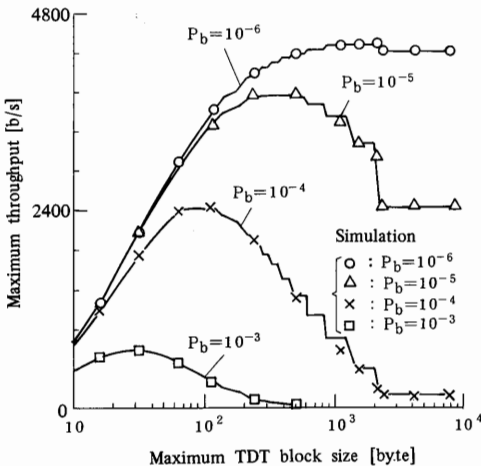


図5 最大スループットと最大 TDT ブロック長との関係
Fig. 5 Maximum throughput vs. maximum TDT block size.

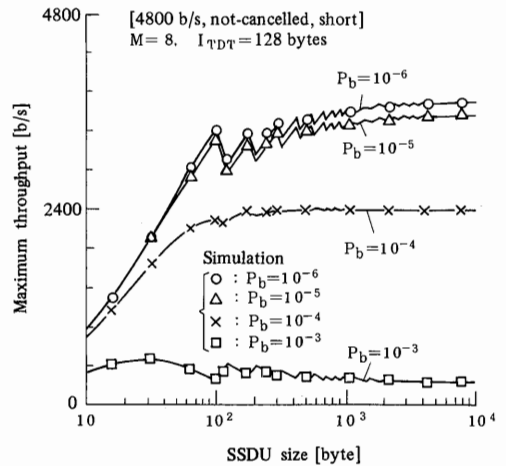


図6 最大スループットと SSDU 長との関係
Fig. 6 Maximum throughput vs. SSDU size.

更に、データリンクレイヤの最大連続送信フレーム数が最大スループットに及ぼす影響を調べるため、モジュラス M をパラメータとしたときの P_b に対する最大スループットを図7に示す。図7では、モデム機能を [4,800 b/s, not-cancelled, short] とし、 $I_{SSDU} = 2,048$ Byte, $I_{TDT} = 128$ Byte としており、図中の $M = 2, 4, 6, 8$ は、それぞれ最大連続送信フレーム数 1, 3, 5, 7 に相当する。この図より最適な最大連続送信フレーム数が存在することがわかる。

最後に、モデム機能の違いが最大スループットに及

ぼす影響を調べるため、モデム機能を変化させたときの P_b に対する最大スループットを図8に示す。図8では、 $M = 8$, $I_{SSDU} = 2,048$ Byte, $I_{TDT} = 128$ Byte, 256 Byte としている。図8より、 P_b が 10^{-5} 程度より大きくなると最大スループットは大きく劣化する。また、 $P_b = 0$ とした場合の最大スループットの最大値は、 $I_{TDT} = 128$ Byte のとき 3,710 bit/s, $I_{TDT} = 256$ Byte のとき 4,148 bit/s である。従って、3,700~4,100 bit/s 程度の最大スループットが得られることがわかる。この結果は、文献(3)の実験結果(3,500~4,200 bit/s)とほぼ一致する。文献(3)がパソコン間のスループットを扱っているのに対し、本論文はJUST-PCアダプタ間を扱っているため、本論文の結果の方が文献(3)よりも大きい最大スループットが得られるはずである。しかし、本論文の方が文献(3)よりも最大スループットが若干小さくなっている。これは、信号間のガード時間等の違いから生じるものと考えられる。JUST-PC手順のスループットがこのように4,800 bit/s と比べて小さいのは、図8においてモデム機能が大きく特性に影響を及ぼしていることから推察されるように、ターンオンシーケンス時間や信号間のガード時間が大きいためである。

JUST-PCアダプタ間のモデム機能の選択は回線の品質に応じて選択されるものであり、選択されるモデム機能によって回線のビット誤り率が異なってくる(例えば、同一回線を4,800 bit/s で使用するよりも2,400 bit/s で使用する方が回線のビット誤り率が小さい)。従って、回線のビット誤り率によって最適なモデム機

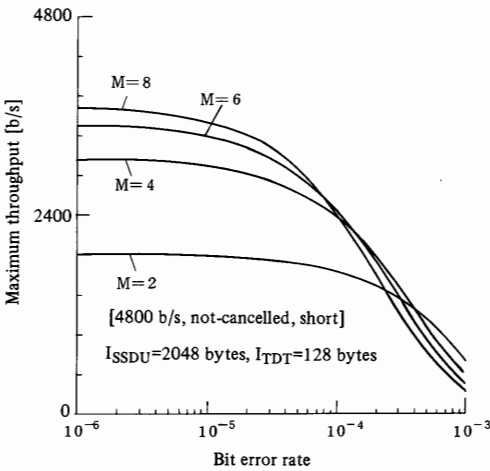
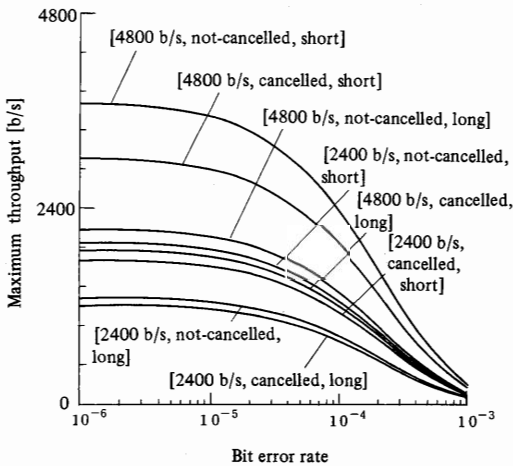
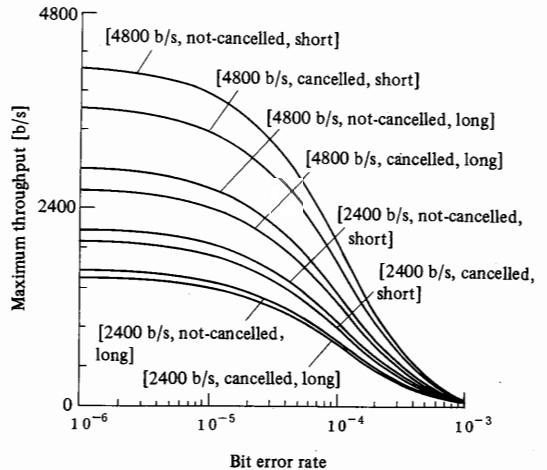


図7 最大連続送信フレーム数の影響

Fig. 7 Influence of the maximum number of continuously transmitted frame on maximum throughput.



(a) $I_{TDT} = 128$ bytes



(b) $I_{TDT} = 256$ bytes

図8 モデム機能の違いの影響 ($M = 8$, $I_{SSDU} = 2,048$ Bytes)

Fig. 8 Maximum throughput vs. bit error rate ($M = 8$, $I_{SSDU} = 2,048$ Bytes).

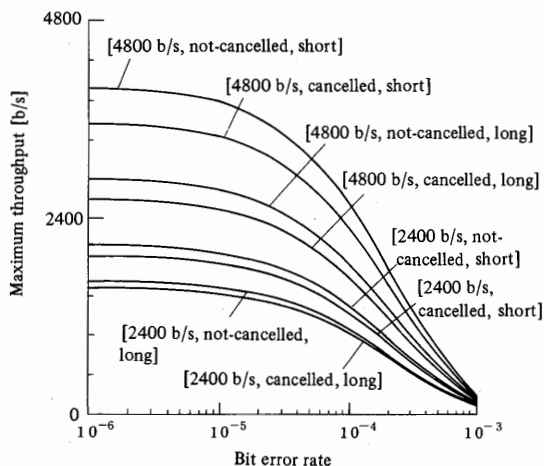


図9 モデム機能の違いの影響 (両方向: $M=8$, $I_{SSDU}=2,048$ Bytes, $I_{TDT}=128$ Bytes)

Fig. 9 Maximum throughput vs. bit error rate (two-way: $M=8$, $I_{SSDU}=2,048$ Bytes, $I_{TDT}=128$ Bytes).

能が存在することになり、その選択は図8から決定することができる。JUST-PC手順では、モデムフォールバック手順により、最適なモデム機能を選択しようとする。

5.2 両方向通信の場合

$M=8$, $I_{SSDU}=2,048$ Byte, $I_{TDT}=128$ Byteとした場合のモデム機能の違いが最大スループットに及ぼす影響を図9に示す。この場合、 $P_b=0$ としたときの最大スループットの最大値は4,007 bit/sである。なお、両方向通信の場合にも片方向通信の場合と同様のことが言える。

6. むすび

本論文では、JUST-PC手順の理論解析を行い、最大スループットの評価式を導出し、データブロック長や最大連続送信フレーム数等のパラメータ値の決定方法を明らかとした。また、これらのパラメータ、回線のビット誤り率、モデム機能の違い等が最大スループットに及ぼす影響について考察し、以下の結論を得た。

- (1) 最大スループットは3,700~4,100 bit/s程度である。
- (2) 最大TDTブロック長と最大連続送信フレーム数には最適値が存在する。
- (3) 最大TDTブロック長の選択はSSDU長の選択よりも厳密に行う必要がある。
- (4) 最大TDTブロック長とSSDU長の変化に対して、最大スループットが不連続的に変化する。

今後は、スループット-平均遅延特性について解析を行う必要がある。また、本論文ではJUST-PCアダプタ間のスループットだけを扱ったが、JUST-PCアダプタを介した二つのパソコン間については今後の課題である。更に、セッションレイヤの通信モードとして、オプション機能ではあるが、半2重を選択した場合の特性について評価することも課題として挙げられる。

謝辞 日ごろ、御討論・御助言頂く小柳津主幹研究員、松下主幹研究員、島津主幹研究員に深く感謝致します。

文 献

- (1) 郵政省告示第九百七十一号：“パーソナルコンピュータ通信装置推奨通信方式” (昭59.12.26).
 - (2) 山田 剛：“JUST-PC推奨通信方式に準拠したマルチメディアステーションの有用性に関する研究”，情処学マイクロコンピュータ研報，41-1 (1986.9.27).
 - (3) 福田日出男：“JUST-PC通信アダプタ”，日経バイト，pp. 151-155 (1987-06).
 - (4) D. Bodson and N. C. Randall：“Analysis of group 4 facsimile throughput”，IEEE Trans. Commun., COM-34, pp. 849-861 (Sept. 1986).
 - (5) W. Bux, K. Kümmerle, and H. L. Truong：“Balanced HDLC procedures: A performance analysis”，IEEE Trans. Commun., COM-28, pp. 1889-1898 (Nov. 1980).
 - (6) 郵政省告示第八百八十九号：“日本語テレテックス装置推奨通信方式” (昭58.11.12).
- (平成元年8月9日受付，11月10日再受付)

石橋 豊



昭56名工大・工・情報卒。昭58同大学院修士課程了。同年日本電信電話公社入社。以来、メッセージ通信処理システムの研究実用化、通信制御方式、OSIプロトコルの研究・特性評価に従事。現在、NTT情報通信処理研究所通信処理システム研究部主任研究員。情報処理学会、IEEE各会員。