

通信路の品質変化に対応するための通信制御手順

野口, 裕介

九州大学大学院システム情報科学研究科情報工学専攻 : 博士後期課程

谷口, 秀夫

九州大学大学院システム情報科学研究科情報工学専攻

牛島, 和夫

九州大学大学院システム情報科学研究科情報工学専攻

<https://doi.org/10.15017/1515705>

出版情報 : 九州大学大学院システム情報科学紀要. 5 (2), pp.229-235, 2000-09-26. 九州大学大学院システム情報科学研究所

バージョン :

権利関係 :

通信路の品質変化に対応するための通信制御手順

野口裕介*・谷口秀夫**・牛島和夫**

Communication Control Protocol Corresponding to Quality Change of Communication Line

Yusuke NOGUCHI, Hideo TANIGUCHI and Kazuo USHIJIMA

(Received June 16, 2000)

Abstract: Wireless communication line such as satellite communication line and wireless LAN has such property as its communication quality changes frequently. On the other hand wired communication line provides stable communication quality. The traditional communication control procedure has been premised on wired communication line. Therefore it is difficult that the traditional procedure controls wireless communication line effectively. In this paper, we propose communication control protocol corresponding to quality change of a communication line. First, we formulate and analyze communication time. We make clear the property of each parameter to control data communication. Second, we introduce our new communication control protocol. Finally, we evaluate the communication time on the parasatellite communication line and discuss relation among quality of communication line, communication condition and communication time.

Keywords: Quality of communication, Wireless communication line, Automatic control

1. はじめに

計算機の小型化や高機能化, および通信設備の発達により, 通信路を介して相互に接続した形態での計算機利用が一般に普及している. また, 通信路としては, 従来のイーサネット型LANや電話回線に加えて, ISDN¹⁾, ATM²⁾, 無線LAN³⁾, PHS(Personal Handy phone System), 携帯電話, および衛星通信⁴⁾⁵⁾⁶⁾といった新しい通信路の利用が可能となってきた. 無線通信においては, その放送性に着目した利用に関する研究が進められてきており, 衛星通信向けにTCPを拡充する研究⁷⁾や伝送遅延の影響に対処した研究⁸⁾などがある. また, 156Mbps超高速ミリ波無線LANシステムの開発なども進められており⁹⁾, 無線通信路の利用は今後ますます広まると期待されている.

無線通信路は, 有線通信路に比べて通信品質が低く, さらに電磁波や障害物の影響により, 通信品質が急激にかつ大きく変動するという特徴がある. したがって, 従来の有線通信路を前提とした通信制御手順では効率的な通信効率を得るのは困難である. このため, 低高度軌道衛星通信路において, 信頼性のあるデータグラム通信を提供するためのプロトコルの提案¹⁰⁾や過去の送信履歴から将来の通信誤り率を予測し, 通信効率を最大とするパケットサイズを選択するためのアルゴリズムの提案¹¹⁾などの研究が行

われてきている.

本論文では, 通信路の品質変化に対応するために, 通信を停止や再開させたり, 通信途中において, 通信の中断無しで最大パケット長やウィンドサイズを変更する機能を持つ通信制御手順の設計について述べる. 以降, 2章では, 2台の計算機間におけるデータ送信に要する通信時間の定式化を行う. さらに, 通信品質に対して, 最善の通信効率を得る通信条件を選択するための式を導出し, 通信時間と通信容量の観点から分析する. 3章では, 通信路の品質変化に対応する通信制御手順を提案し, 基本設計と仕様について説明する. 4章では, 提案した通信制御手順が持つ通信条件変更機能の効果について評価する. 5章で, 本論文をまとめる.

2. 通信時間の定式化と分析

2.1 通信時間

通信時間について, 最大パケット長(P)とウィンドサイズ(W)および通信路の品質との関係を定式化する. 以降, 簡単化のために, タイムアウトにより検出されるパケット再送は無いと仮定する. 以降の定式化および分析では, 最大パケット長(P)の単位をbitとし, ウィンドサイズ(W)の単位をパケット数とする.

各変数を以下のように定義する.

t : 通信速度(bit/sec)

Ids : データパケット送信処理(step)

Idr : データパケット受信処理(step)

Ics : コマンドパケット送信処理(step)

平成12年6月16日受付

* 情報工学専攻博士後期課程

** 情報工学部門

- Icr : コマンドパケット受信処理(step)
- e : 通信路の伝送誤り率
- Ps : 送信プロセッサ性能(step/sec)
- Pr : 受信プロセッサ性能(step/sec)
- Lc : コマンドパケット長またはデータパケットのコマンド長(bit)
- d : 通信遅延(sec)
- D : 転送データ総量(bit)

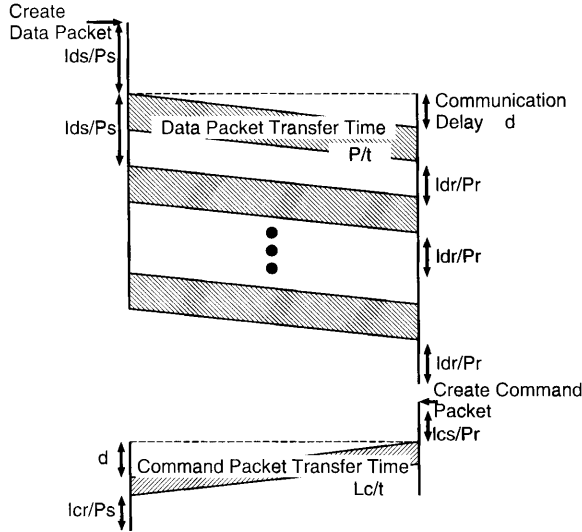


Fig.1 Flow of communication.

通信の流れは、計算機の性能と通信路の性能の関係($\frac{I_{ds}}{P_s}$ と $\frac{P}{t}$ の大小)、および送信側計算機のデータパケット送信処理時間と受信側計算機のデータパケット受信処理時間の関係($\frac{I_{ds}}{P_s}$ と $\frac{I_{dr}}{P_r}$ の大小)に依存する。以降、これらの関係により特徴づけられる環境を通信環境と呼び、組み合わせにより4通りの通信環境がある。例えば、通信路の性能が高かつ送信処理時間が長い場合($\frac{I_{ds}}{P_s} \geq \frac{P}{t}$ かつ $\frac{I_{ds}}{P_s} \geq \frac{I_{dr}}{P_r}$)の通信の流れを Fig.1 に示す。この場合の通信時間は、以下のように定式化できる。

$$T_{01} = \left(\frac{I_{ds}}{P_s} W + d + \frac{P}{t} + \frac{I_{dr}}{P_r} + \frac{I_{cs}}{P_r} + d + \frac{L_c}{t} + \frac{I_{cr}}{P_s} \right) \times \left(\frac{D}{(P-Lc)W} \right) \quad (1)$$

ここでは、 $\frac{D}{(P-Lc)W}$ を整数と仮定している。4通りの通信環境を一般的に式で表すと、通信時間(T_0)は、

$$T_0 = (aW + b) \left(\frac{D}{(P-Lc)W} \right) \quad (2)$$

となる。(2)式において、 a, b は各通信環境毎に決定される係数であり、 $\frac{D}{(P-Lc)W}$ は常に正数である。

次に、 $PV + Lc = \frac{1}{e\mu}$ となる変数 V (連続して送信するパケット数)を定義し、転送データ量が $PV + Lc$ bits にな

ると必ず最後の1bitが誤ると仮定する。逆に、転送データ量が $PV + Lc$ bits未満では、伝送誤りは生じないとする。ここで、 μ を品質劣化度と名付ける。品質劣化度の増加とともに、より少ない転送データ量で伝送誤りが生じる。これにより、 e は通信路の初期品質と考えることができる。また、一般的に $PV \gg Lc$ であるため、伝送誤りはデータパケットで発生すると仮定する。これらの仮定の下に、通信路の初期品質は最高(つまり、 $\mu \geq 1$)であり、その後通信路の品質が変化する場合を考える。つまり $W < V$ である時、通信時間(T)は次のようになる。

$$T = (aW + b) \left(\frac{V}{W} + 1 \right) \frac{D}{(P-Lc)V} \quad (3)$$

ここでは、 $\frac{V}{W}$ や $\frac{D}{(P-Lc)V}$ を整数と仮定している。(3)式の変形により、

$$T = T_0 + (aW + b) \frac{D}{(P-Lc)V} \quad (4)$$

となる。

(4)式において、第2項は通信路の品質の低下による通信オーバーヘッド時間(H)である。そこで、通信時間に占める通信オーバーヘッド時間の割合(R)は、

$$R = \frac{H}{T} = \frac{\frac{1}{V}}{\frac{1}{W} + \frac{1}{V}} \quad (5)$$

となる。さらに、 $PV \gg Lc$ より、 $PV \approx \frac{1}{e\mu}$ とすると、

$$R \approx \frac{e\mu PW}{1 + e\mu PW} \quad (6)$$

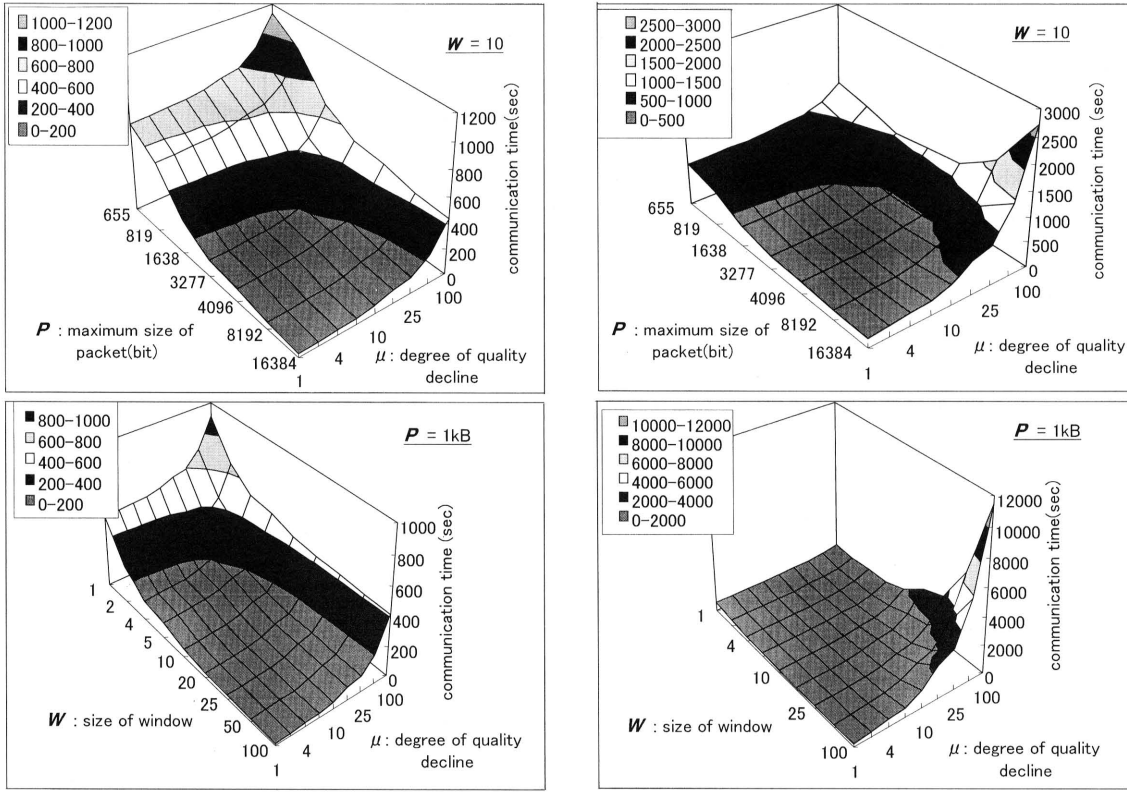
となる。(5)式より、 V を W に近づけると、 R は $\frac{1}{2}$ に近づく。したがって、 $R < \frac{1}{2}$ では通信可能であるが、 $R \geq \frac{1}{2}$ では、パケットの再送が常に発生し、通信できないことがわかる。また、(6)式より、品質劣化度の上昇に比例させて、最大パケット長(P)やウィンドサイズ(W)を小さくすることで、通信オーバーヘッド時間の割合の増加を抑制できることがわかる。

2.2 最適ウィンドサイズ

通信時間をウィンドサイズの関数としてみると、(3)式より、通信時間は W についての双曲線となる。このため、通信時間を最小にするウィンドサイズ(以降、最適ウィンドサイズと呼ぶ: W_0)が存在し、

$$W_0 = \sqrt{\frac{b}{a} \times \frac{\frac{1}{e\mu} - Lc}{P}} \quad (7)$$

となる。つまり、最適ウィンドサイズを伝送誤り率の関数として表現できる。



(A) Communication speed 1Gbps

(B) Communication speed 64kbps

Fig.2 Communication time.

次に、最適ウィンドサイズである場合の通信時間と最大パケットサイズの関係を示す。 $\frac{1}{e\mu} - Lc = PV$ であるから、(7)式より、

$$W_0 = \sqrt{\frac{b}{a}V} \quad (8)$$

である。(3)式と(8)式より、

$$T(W_0) = \left(a\sqrt{\frac{b}{a}V} + b \right) \left(\frac{V}{\sqrt{\frac{b}{a}V}} + 1 \right) \frac{D}{(P - Lc)V} \quad (9)$$

となる。ここで、計算機の性能が高い場合、 $a = \frac{P}{t}$ 、 $b = b$ であるから、

$$T(W_0) = \frac{\alpha P}{P - Lc}, \quad \alpha = D \left(\frac{1}{\sqrt{t}} + \sqrt{\frac{b}{\frac{1}{e\mu} - Lc}} \right)^2 \quad (10)$$

となる。通信時間は、 P についての単調増加であり、 $P > Lc$ であるから、 P を大きくするほど通信時間は小さくなり α に近づく。ただし、 P の最大は $W_0 \geq 1$ で制限される。

また、通信容量を基にして最適ウィンドサイズを導出することを試みる。通信容量を Q (bit/sec) とすると、(3)式

より、

$$Q = \frac{D}{T} = \frac{(P - Lc)V}{(aW + b)\left(\frac{V}{W} + 1\right)} \quad (11)$$

となる。(8)式と(11)式より、

$$W_0 = \sqrt{\frac{(aW + b)bQW}{a(P - Lc)W - (aW + b)Q}} \quad (12)$$

となり、最適ウィンドサイズを現ウィンドサイズと通信容量の関数としても表現できる。

通信容量は、通信制御手順と関係が深く、容易にその変化を把握することができる。そのため、通信容量を基にした最適ウィンドサイズの制御も、比較的容易である。一方、伝送誤り率の変化は、通信路に対して直接の操作を行う通信機器によって検出可能な現象である。そのため、伝送誤り率を基にした制御を行うことで、より確実に、かつ早い時期に通信路の品質変化に対応できる。以降では、通信路の伝送誤り率に着目して、分析を行う。

2.3 分析

基本式の各変数を、 $I_{ds} = 2000$ steps, $I_{dr} = 1500$ steps, $I_{cs} = I_{cr} = 1000$ steps, $e = 1.0 \times 10^{-6}$, $P_s = P_r = 100$ MIPS, $Lc = 64$ bits, $d = 0.24$ sec, $D = 1$ Mbytes として以

下の分析を行った。

(3)式より、最大パケット長とウィンドサイズと品質劣化度が通信時間に与える影響を Fig.2 に示す。Fig.2-(A) は、通信路の性能が高い場合(通信速度=1Gbps)であり、Fig.2-(B) は、計算機の性能が高い場合(通信速度=64kbps)である。Fig.2-(A)、Fig.2-(B)共に、上段のグラフはウィンドサイズ(W)を10の固定とした場合の、最大パケット長(P)、品質劣化度(μ)、および通信時間(T)の関係を示しており、下段のグラフは最大パケット長(P)を1kbytesの固定とした場合の、ウィンドサイズ(W)、品質劣化度(μ)、および通信時間(T)の関係を示している。Fig.2より、品質劣化度の増加に対し通信時間の増加を抑える対策は、通信路の性能が高い場合と計算機の性能が高い場合では、全く異なることがわかる。通信路の性能が高い場合は、最大パケット長やウィンドサイズが大きい方がよい。一方、計算機の性能高い場合は、最大パケット長やウィンドサイズが小さい方がよい。ただし、あまり小さくすると逆効果になり、通信時間が増加する。また、(6)式より、最大パケット長とウィンドサイズと品質劣化度が通信オーバーヘッドの割合に与える影響を Fig.3 に示す。Fig.3の上段のグラフは、ウィンドサイズ(W)を10の固定とした場合の、最大パケット長(P)、品質劣化度(μ)、および通信オーバーヘッドの割合(R)の関係を示しており、下段のグラフは、最適ウィンドサイズ(P)を1kbytesの固定とした場合の、ウィンドサイズ(W)、品質劣化度(μ)、および通信オーバーヘッドの割合(R)の関係を示している。先にも述べたように、通信オーバーヘッド時間の割合が0.5未滿で通信可能である。したがって、Fig.2とFig.3から、品質劣化度が大きくなると、通信路の性能と計算機の性能に関係無く、通信時間が大きくなるものの、最大パケット長やウィンドサイズを小さくする必要がある。

次に、計算機の性能が高い場合(通信速度 = 64kbps)について、(7)式で示される、最大パケット長と品質劣化度と最適ウィンドサイズの関係を図4に示す。Fig.4より、品質劣化度の増加とともに最適ウィンドサイズは小さくなることが分かる。そこで、(3)式と(7)式より、最適ウィンドサイズの場合とそうでない場合について、通信時間と通信オーバーヘッド時間の割合をそれぞれ、Fig.5-(A)とFig.5-(B)に示す。Fig.5から、以下のことがわかる。

- (1) 品質劣化度の増加に合わせて、ウィンドサイズを最適ウィンドサイズにすることにより、通信時間の増加を抑えることができる。
- (2) ウィンドサイズを最適ウィンドサイズにすると、そうでない場合に比べ、通信時間は短いものの通信オーバーヘッド時間の割合は大きいことがある。これは、最適ウィンドサイズが大きくなり、誤り時のパケット再送時間が大きくなるものの、誤らないときの送受信時間が短くなるからである。

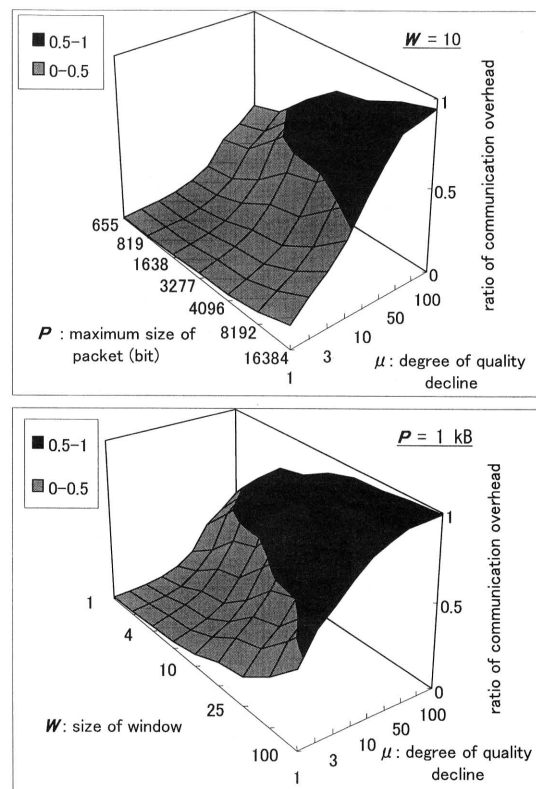


Fig.3 Ratio of communication overhead.

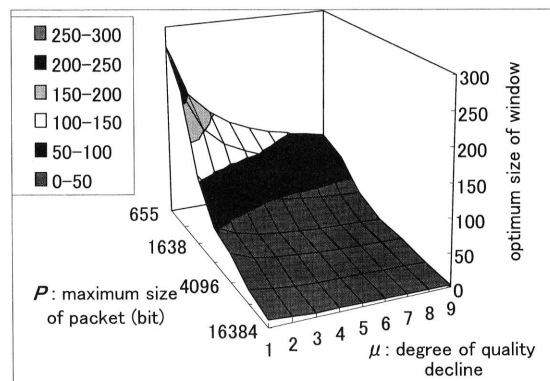
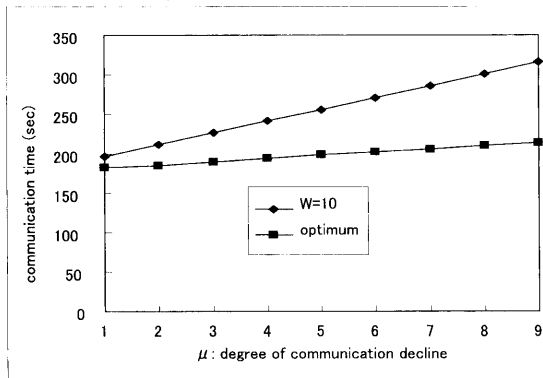


Fig.4 Optimum size of window.

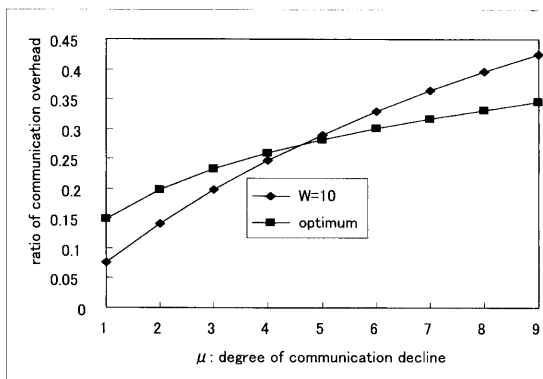
3. FCC 通信制御手順

3.1 既存の通信制御手順の問題

既存の通信制御手順は、通信路の品質が変化することを想定していない。これは、有線通信を前提としていたためであり、通信条件はシステム毎のシステム生成における設定項目である。このため、通信途中に通信路の品質低下は、タイムアウトとして検出され、パケットの再送、あるいは通信パスの解放と再設定による回復が行われる。その結果、データ送信効率は著しく低下してしまう。逆に、通信路の品質が向上した場合においても、その良さを活かした



(A) communication time



(B) ratio of communication overhead

Fig.5 Effect of optimum window size.

通信ができないため、データ送信効率を向上させることができない。

これらの問題を解決するためには、通信途中においても任意に通信条件を変更することが可能な通信制御手順が必要である。また、通信条件が長期間において極端に悪化し、どのような通信条件を設定しても通信が不可能な状況が発生しうる。このような場合においても、その度に通信パスを解放するのはオーバーヘッドが大きく好ましくない。そこで、通信品質が極端に悪化している場合には、通信パスを確保したままで、通信を停止し、通信品質が回復してから通信を再開する機能を持つ通信制御手順が必要である。

3.2 基本設計

通信路の品質変化に対応するため、通信制御手順(以降、FCC 通信制御手順と名付ける)を設計した。FCC 通信制御手順は、以下の機能を提供する。

- (1) 通信パス設定中に、通信条件を変更する機能。
- (2) 通信パス設定中に、データの送信や受信を停止や再開する機能。

ここで、通信パス設定中に通信条件を変更できる機能を、通信条件変更機能(FCC: Function of communication

Condition Change)と名付ける。

3.3 仕様

3.3.1 パケット形式

パケット形式を Fig.6 に示す。パケットは、送受信に必要な制御情報を格納する部分と情報部からなる。特徴を以下に示す。

- (1) 制御情報を格納する部分は、6つの部分(H, D, S, N, C, C_n, SZ)からなる。制御部Cはさらに、C₀, C₁の2つの部分からなる。

H は、“01111110”の固定値である。

D は、送信先計算機アドレスを格納する。

S は、送信元計算機アドレスを格納する。

N は、パケットに付与された通番を格納する。

C は、それぞれ4 bitsのC₀, とC₁からなる。

C₀ は、パケットのコマンド種別を示す番号を格納する。詳細は、3.3.2項に記す。

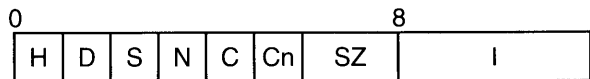
C₁ は、パケットのモード種別を示す番号を格納する。

C_n は、受信を確認できた通番を格納する。

SZ は、情報部の大きさを単位 byte で示す。

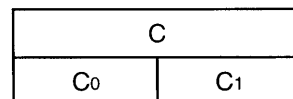
- (2) 情報部は、データやモードの内容である。

モードとは、通信条件 P, W, T の各値の組合わせである。したがって、C₁により、通信条件の違いを識別できる。C₁=0 は、デフォルトモードであることを意味し、その値は、 $P=256$ bytes, $W=3$, $T=1000$ msecである。 P は byte 単位で指定し、 T は 10 msec 単位で指定する。



- H(1 byte) : header (01111110)
- D(1 byte) : destination address
- S(1 byte) : source address
- N(1 byte) : sequence number
- C(1 byte) : command part
- C_n(1 byte) : receive sequence number
- SZ(2 bytes) : size
- I : information part

(A) control information structure



- C₀(4 bits) : command type
- C₁(4 bits) : mode type (default 0)

(B) command part structure

Fig.6 Packet format.

3.3.2 コマンド

コマンドは13種類ある。コマンドとパケットの内容の関係を Table-1 に示し、各コマンドの機能を以下に説明する。

- (1) パス設定(CPC:Communication Path Create)
通信パスの設定を要求する。
- (2) パス解放(CPD:Communication Path Delete)
通信パス解放を要求する。
- (3) パス設定解放 OK(CPO:Communication Path Okay)
通信パスの設定や解放の要求に対し、了解したことを通知する。
- (4) データ送信(I: Information)
データを送信する。
- (5) パケット受信 OK(PRO:Packet Receive Okay)
C_nに格納された通番のパケットまで受信できたことを通知する。
- (6) パケット受信NG(PRO:Packet Receive No-good)
C_nに格納された通番のパケットは受信できず、その1つ前のパケットまで受信できたことを通知する。
- (7) 送信停止通知(SSD: Send Suspend)
C_nに格納された通番のパケットを区切りとして、以降のパケット送信を停止することを通知する。したがって、Nの値とC_nの値は必ず同じものとなる。
- (8) 送信再開通知(SRM:Send ResuMe)
C_nに格納された通番のパケットから、通信を再開することを通知する。したがって、Nの値とC_nの値は必ず同じものとなる。
- (9) 受信停止通知(RSD:Recenve Suspend)
C_nに格納された通番のパケットを受信したことを示し、以降のパケット受信を停止することを通知する。
- (10) 受信再開通知(RRM:Receinve ResuMe)
パケットの受信を再開することを通知する。
- (11) モード変更要求(MCR:Mode Change Request)
モードの変更を要求する。具体的な通信条件は、情報部に格納する。モード変更を要求した側は、“モード変更 OK”を受信した直後から新しいモードへ移行する。情報部に格納される通信条件パラメータの格納形式を、Fig.7 に示す。

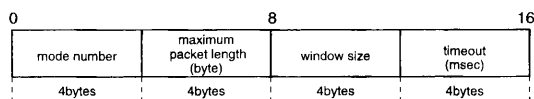


Fig.7 Format of MCR parameter.

- (12) モード変更OK(MCO:Mode Change Okay)
“モード変更要求”に対する了承を通知する。新モードへの移行は、新モードのパケット受信直後からである。
- (13) モード変更 NG(MCN:Mode Change No-good)

“モード変更要求”を了承できないことを通知する。

4. 通信条件変更機能の効果

通信条件変更機能有効性を明らかにするための評価を行った。最大パケット長を 256 bytes、ウィンドサイズを 3、送信データ総量を 1 Mbytes として以下の実験を行った。データ送信途中において、“(A) 通信パスの解放と再設定”、“(B) 最大パケット長の変更”、“(C) ウィンドサイズの変更”を行い、その変更回数と通信時間の関係を調べた。結果を Fig.8 に示す。Fig.8 では、(A)が通信条件の変更を通信パスの解放と再設定により行った場合であり、(B)と(C)が提案する FCC 通信制御手順の通信条件変更機能を利用して、最大パケット長またはウィンドサイズを変更した場合である。通信時間は、“ウィンドサイズの変更”要求を5回発行した場合に対する相対値で示している。Fig.8より、通信条件変更機能は通信時間にほとんど影響を与えていないことがわかる。通信条件変更機能では、通信パスの解放と再設定により通信条件を変更する場合に発生する記憶領域の解放やパラメータの初期化などのオーバーヘッドが無い。通信条件変更機能のためのパケット送受信によるオーバーヘッドは発生するものの、このオーバーヘッドは通信パスの解放と再設定のオーバーヘッドに比べて十分に小さい。これは、変更回数が5回の場合においても、通信条件変更機能を利用した方が、通信時間が短いことから確認できる。また、データ送受信途中の変更回数が多くなるほど、効果は大きくなる。例えば、1Mbytesのデータ送信中に変更を30回行った場合、最大パケット長またはウィンドサイズを変更するのに通信条件変更機能を用いることで、通信パスの解放と再設定を用いて変更する場合に比べて、通信時間を約10%短くすることができる。さらに、その効果は最大パケット長の変更とウィンドサイズの変更で同等であった。

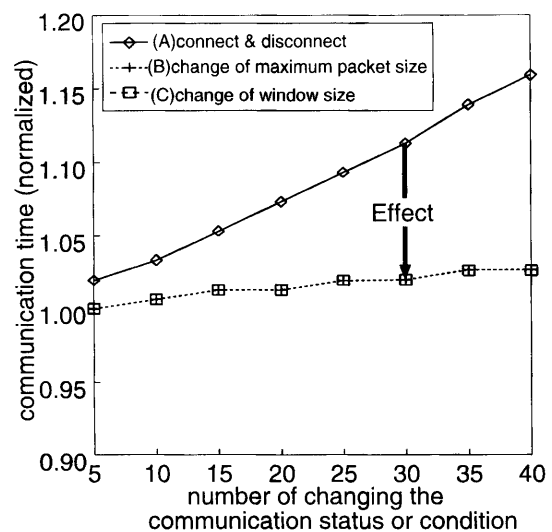


Fig.8 Effect of FCC protocol.

Table 1 Command and packet.

No.	Command	Packet Contents								Remarks
		D	S	N	C0	C1	Cn	SZ	I	
(1)	CPC	used	used	-	0x1	valid	-	0	none	
(2)	CPD	used	used	valid	0x2	valid	valid	0	none	
(3)	CPO	used	used	-	0x3	valid	-	0	none	
(4)	I	used	used	valid	0x4	valid	valid	valid	valid	
(5)	PRO	used	used	valid	0x5	valid	valid	0	none	confirmed reception till Cn.
(6)	PRN	used	used	valid	0x6	valid	valid	0	none	confirmed reception till Cn-1.
(7)	SSD	used	used	valid	0x7	valid	valid	0	none	Stop at Cn.
(8)	SRM	used	used	valid	0x8	valid	valid	0	none	Resume from Cn.
(9)	RSD	used	used	valid	0x9	valid	valid	0	none	Stop by reception with Cn.
(10)	RRM	used	used	-	0xa	valid	-	0	none	
(11)	MCR	used	used	valid	0xb	valid	valid	16	Fig.7	
(12)	MCO	used	used	valid	0xc	valid	valid	0	none	
(13)	MCN	used	used	valid	0xd	valid	valid	0	none	

5. おわりに

通信路の品質変化に適応する通信制御手順を提案した。無線 LAN や衛星通信のような無線通信路を効率的に利用するためには、通信品質の変動に動的に対応できる通信制御手順が必要である。まず、2 台の計算機間でのデータ送受信における、通信時間を定式化し、最適ウィンドサイズを伝送誤り率と通信容量の 2 面から評価した。伝送誤り率の変化に対する最適ウィンドサイズの変化は非常に大きく、衛星通信のように通信遅延が大きい場合には通信速度が速くなると最適ウィンドサイズの変化はさらに大きくなることを示した。また、通信容量の変化に対する最適ウィンドサイズの変化は、現ウィンドサイズを大きめに設定することにより小さくできることを示した。さらに、パケット再送のために保存する総データ量が同じ場合には、最大パケット長を大きくしウィンドサイズを小さくすることで、通信容量を大きくできることを示した。

次に、通信の効率低下を抑える通信制御手順として、通信パス設定中に最大パケット長やウィンドサイズを変更できたり、データの送受信を停止や再開する機能を持つ通信制御手順を提案した。実装と評価から、通信パスを設定した状態における最大パケット長やウィンドサイズの変更は、通信時間にほとんど影響を与えず、変更の処理時間を約 10 % 短縮することを示した。

残された課題としては、通信品質の変動がある通信路に対して提案する通信制御手順を適用し、最適ウィンドサイズを用いた制御の効果を確認することがある。

本研究は、日本学術振興会の未来開拓学術研究推進事業 (プロジェクト番号: JSPS-RFTF96P00603) による。

参考文献

- 1) Dagdeviren N., Newell J.A., Spindel L.A., and Stefanick M.J., "Global Networking with ISDN," IEEE Commun. Magazine, vol.32, pp.26-32 June (1994).
- 2) Armitage G.J., and Adams K.M., "How Efficient is IP over ATM Anyway?," IEEE Network Magazine, vol.9, pp.18-26 Jan./Feb. (1995).
- 3) IEEE 802.11, "International Standard for Wireless LAN medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specification," (1999).
- 4) L.S.Golding, "Satellite communications system move into the twenty-first century," Wireless Networks, vol.4, no.2, pp.101-107 (1998).
- 5) 藤崎清孝, 大迫陽二, 立居場光生, "大学間共同衛星通信実験 大学における実験衛星を用いた通信実験の活動報告", 信学会誌, vol.80, no.5, pp.435-456 (1997).
- 6) T.Hatsuda, "Packet Communication Ultra-Small Aperture Terminal System for the Hokkaido Integrated Telecommunication Network," IEEE Trans. MTT, vol.43, no.7, pp.1692-1698 (1995).
- 7) R.C.Durst, G.J.Miller, and E.J.Travis, "TCP extensions for space communications," Wireless Networks, vol.3, no.5, pp.289-403 (1997).
- 8) 三宅優, 長谷川輝之, 長谷川亨, 加藤聰彦: "衛星インターネット用 TCP ゲートウェイの提案", 情処研報, Vol.98, No.55, pp.63-68 (1998).
- 9) R. Miura, M. Oodo, and Y. Hase, "Multibeam Antennas in the Millimeter-Wave Band on Board the Test Flight Model of Stratospheric Platform," The 2000 China-Japan Joint Symposium on Antennas and Propagation, pp.171-178 (2000).
- 10) C.Ward, C.H.Choi, and T.F.Hain, "A Data link Control Protocol for LEO Satellite Networks Providing a Reliable Datagram Service," IEEE/ACM Trans. on Networking, vol.3, no.1, pp.91-103 (1995).
- 11) E. Modiano, "An adaptive algorithm for optimizing the packet size used in wireless ARQ protocols," Wireless Networks, vol.5, no.4, pp.279-286 (1999).