

384kbps-PHS 実験装置の概要と性能評価

神尾享秀[†] 児島史秀[†] 藤瀬雅行[†]

近年、携帯電話や PHS (Personal Handy-phone System)を用いたモバイルデータ通信サービスが発展・普及しており、今後ますますそのニーズが拡大していくと思われる。既存の公衆モバイルデータ通信サービスの最大通信速度は 64kbps 程度であるが、今後のモバイル・マルチメディア・アプリケーションの発展を考慮すると、より一層の高速化が望まれる。そこで筆者らは、PHS に関する既存の通信方式やシステムを活用することにより、より高速な通信速度を低コストで実現できる 384kbps-PHS 実験装置を開発した。本システムは、64kbps の PHS データ通信プロトコル (PIAFS) を利用し、マルチリンクプロトコルによって最大 384kbps の通信速度を実現するものである。本稿では、開発したシステムの概要と、各種伝搬環境下で FTP によるファイル転送を行った場合の評価結果について報告する。

Implementation and Performance Evaluation of 384kbps-PHS Experiment System

Yukiyoshi Kamio[†], Fumihide Kojima[†]
and Masayuki Fujise[†]

Recently, a variety of mobile data communication services based on cellular phone and PHS (Personal Handy-phone System) has been provided and widely utilized. Currently, the maximum transmission speed of mobile data communication services is limited to 64kbps. It is desired that higher transmission speed be supported in order to meet the requirement of mobile multimedia applications. For this reason, we have developed 384kbps-PHS experimental system, which can achieve maximum transmission speed of 384kbps by adopting 64kbps PHS data communication protocol (PIAFS) and multi-link protocol. This paper presents implementation of 382kbps-PHS experimental system and performance evaluation using FTP under various radio environments.

1 はじめに

近年、携帯電話や PHS (Personal Handy-phone System)を用いたモバイルデータ通信サービスが発展・普及しており、今後ますますそのニーズが拡大していくと思われる。既存の公衆モバイルデータ通信サービスでは、最大通信速度は 64kbps 程度であるが、今後のモバイル・マルチメディア・アプリケーションの発展を考慮すると、より一層の高速化が望まれる。現在、384kbps から最大 2Mbps 程度のデータ通信速度を実現

可能な次世代携帯電話 IMT-2000 の検討が進められているが、IMT-2000 ネットワークの構築・普及までには、多少の時間を要するものと思われる。一方、無線 LAN などにおいては、より高速なシステムも開発されているが、移動端末と基地局の距離が比較的近距離であることや、移動範囲が構内に限定されているなど、携帯電話や PHS などのように、より広範囲な移動を想定したシステムとは適用範囲が異なるものと言える。

そこで筆者らは、PHS に関する既存の通信方式や開発済みのシステムを最大限活用することにより、より高速な通信速度を低コストで実現できる 384kbps-PHS 実験装置を開発した。本システムは、64kbps の PHS データ通信プロトコル (PIAFS: PHS Internet Access Forum Standard) を利用し、マルチリンクプロトコル (Multi-link Protocol) によって複数の PHS コネクション

[†] 郵政省 通信総合研究所 横須賀無線通信研究センター

Yokosuka Radio Communications Research Center,
Communications Research Laboratory,
Ministry of Posts and Telecommunications

を 1 本のデータコネクションにまとめることにより、最大 384kbps の通信速度を実現するものである。本稿では、開発したシステムの概要と、各種の伝搬環境下で FTP (File Transfer Protocol) によるファイル転送を行った場合の評価結果を中心に報告する。

2 システムの概要

384kbps-PHS 実験装置は、モバイルパソコンを用いて、32kbps～384kbps の通信速度でホストマシンにアクセスできる実験システムである。

本システムは自営 PHS の基地局設備や WWW (World Wide Web) サーバなどのネットワークサービスを提供するためのサーバを含む基地局と、基地局にアクセスするための移動端末やクライアントを含む移動局から構成されている。システムの概要を図 1 に示す。

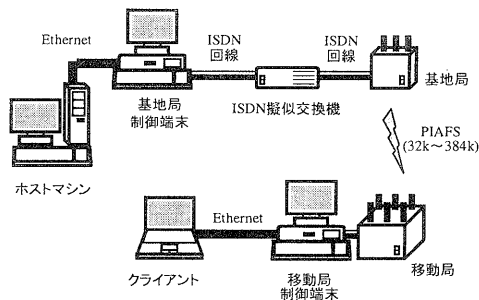


図 1 システム概要

本システムは、既存のシステムを最大限に生かして構築されている。PHS による無線通信区間は、64kbps 対応 PIAFS の回線を 6 本束ねることにより 384kbps の速度を実現している。回線を束ねる方法としては、マルチリンクプロトコルを用いている。また、クライアントと移動局制御端末や、ホストマシンと基地局制御端末を接続するユーザインターフェイスとして Ethernet (10Base-T) を用いており、各種アプリケーションの作成が容易になっている。

2.1 ハードウェア構成

基地局は自営 PHS 基地局、ISDN 擬似交換機、基地局制御端末、ホストマシンから構成されている。基地局の構成を図 2 に示す。

基地局制御端末にはシリアルポートを 8 ポート持つマルチシリアルカードが装着されており、マルチシリア

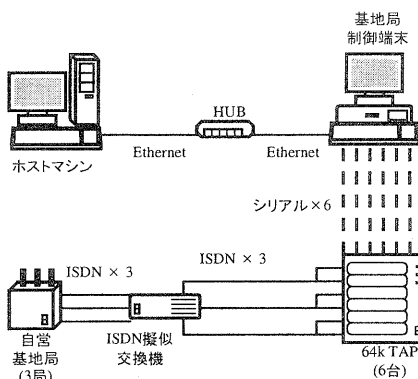


図 2 基地局構成

ルカードのシリアルポートに 64k TAP (TA for PIAFS) が 6 台接続されている。基地局制御端末は Ethernet で構成されたネットワークと PIAFS 部分のネットワークとのルーティング処理を行う。各 TAP と自営 PHS 基地局は ISDN 擬似交換機を通して接続されている。自営 PHS 基地局は 3 台あり、それぞれの自営 PHS 基地局は 64kbps の PHS 回線を 2 本収容することができる。ホストマシンは、WWW サーバや FTP サーバなどのネットワークサービスを提供する。

移動局は移動局装置、移動局制御端末、データ通信クライアントから構成されている。移動局の構成を図 3 に示す。

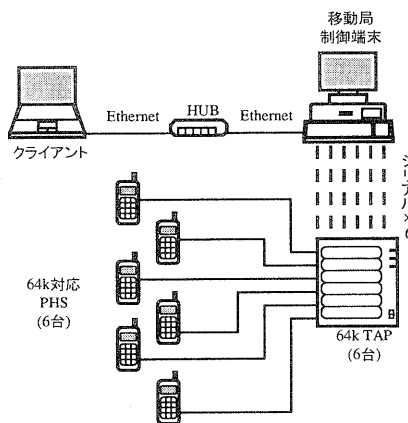


図 3 移動局構成

移動局装置には 6 台の PHS 端末と 64k TAP が収容されており、1 台の TAP に 1 台の PHS 端末が接続されている。また、各 TAP は、基地局と同じ仕様のマ

ルチシリアルカードを装着している移動局制御端末にシリアルポート経由で接続されている。装置開発の容易さより、既存の端末などを用いているが、小型化のためには共有部分の共通部品化などが必要である。移動局制御端末では WWW ブラウザにより、回線の接続、切断、接続状況の監視が可能である。また、移動局制御端末は PIAFS ネットワークと移動局側の Ethernet によるネットワークとのルーティング処理も行っている。クライアントでは、基地局側のホストマシンで提供されている WWW サービスや FTP サービスへのアクセスを行う。

2.2 プロトコルスタック

本システムにおいて使用されている主要なプロトコルを表 1 に示した。

表 1 主要プロトコル一覧

設定可能伝送速度	32kbps～384kbps
設定可能スロット数	1～12
送信電力	基地局 10mw
	移動局 10mw
周波数の範囲	1.895150～ 1.905950GHz (自営用)
伝送プロトコル	64kbps 対応 PIAFS
ユーザインターフェイス	Ethernet (10Base-T)
実効ユーザ伝送速度	27kbps～300kbps

PHS による無線通信区間は、自営 PHS 用に割り当てられている 1.895150MHz～1.905950GHz の周波数

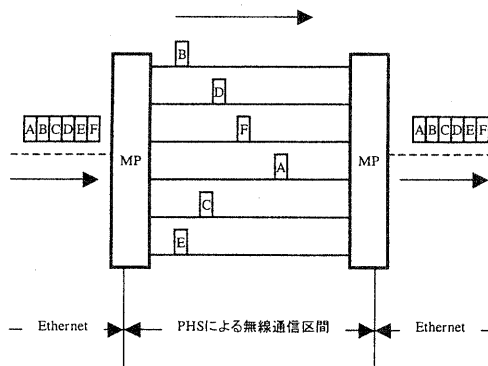


図 4 プロトコル相互の関係 (MP:マルチリンクプロトコル)

を使用しており、ARIB(電波産業会)標準 RCR STD-28 や 64kbps の伝送に対応している PIAFS といった標準的な規格に準拠している。送信電力は基地局、移動局共に 10mW となっている。

本システムでは、64kbps PHS の回線を 6 本束ねること、すなわち 32kbps PHS の回線スロットを 12 本使用することにより、384kbps の通信速度を実現している。各々の PHS 回線間のネットワークプロトコルは RFC (Request for Comments) 1661 で定義されている PPP (Point-to-Point Protocol) を用いている。複数のコネクションがある場合に、ユーザインターフェイスである Ethernet から送られてきたデータをそれぞれの PHS 回線に分割したり、分割されたデータを元のデータに復元する方法として、RFC1990 で定義されているマルチリンクプロトコルを用いている。図 4 に PPP とマルチリンクプロトコル、Ethernet の関係を示す。本システムでは、基地局制御端末、移動局制御端末、ホストマシンの OS (Operating System) として Windows NT Server を採用しており、PPP やマルチリンクプロトコルは Windows NT の機能として実装されているソフトウェアを使用している。

マルチリンクプロトコルによって伝送を行っている場合の PHS 回線スロット利用方法を図 5 に示す。マルチリンクプロトコルでは、Ethernet 側から流れてきたデータを分割した後、単純に利用可能な空きスロットを利用して、分割したパケットを伝送する。この方法は単純な方法であるが、送信や受信時にパケットの順序が入れ替わる可能性があるという問題も持っている。この問題を避けるため、RFC1990 では、分割したパケットにシーケンス番号を付加する方法や、分割したパケット間での同期方法などを定義している。

表 1 において、実効ユーザ転送速度と設定可能伝送速度には差があるが、これはヘッダや FCS によって

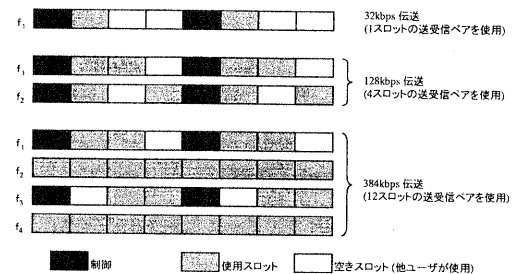


図 5 PHS 回線スロット利用法

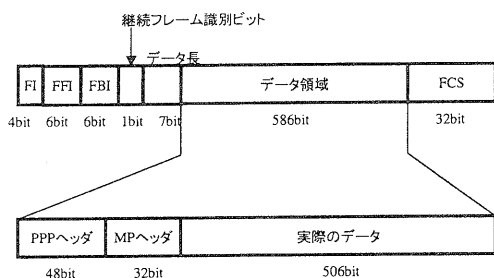


図 6 PIAFS パケット構造

実際にデータを入れることのできる領域が少なくなっているためである。PIAFS においては図 6 に示すように、データフレームでは 640bit のフレーム長を持っているが、そのうち ARQ ヘッダや FCS などで 56bit を使用するため、実際のユーザデータ領域の大きさは 586bit になる。ユーザデータ長には PPP ヘッダ (48bit) やマルチリンクプロトコルのヘッダ (32bit) が含まれている。2 チャンネル以上接続して、マルチリンクを使用した場合、PPP やマルチリンクプロトコルのヘッダ長が 80bit になるため、実際にデータ領域として確保できるのは、 $586\text{bit} - 80\text{bit} = 506\text{bit}$ である。したがって、コネクション数が 6 本のときの実効ユーザ転送速度は

$$506\text{bit}/640\text{bit} * 386000\text{bit} = 303600\text{bps}$$

となり、表 1 の主要プロトコル一覧に示す値になる。

3 評価方法

3.1 評価手順

本システムの評価は、2 つの観点から行った。ひとつ目の観点としては、基地局から発射される電波を移動局にて受信した強度 (電界強度) が TCP/IP 通信に与える影響という点である。もうひとつの観点は、コネクション数を変化したときに、TCP/IP 通信に与える影響という点についてである。

最初の観点において、主要な要素である電界強度が変動する最大の要因は、基地局と移動局間の距離である。距離以外に考慮しなければならない要素としては、マルチパスの影響があげられる。マルチパスの生じる主な原因は、壁や建物、地面などで電波が反射するためである。マルチパスが発生すると、異なる経路 (パス) を通る電波が出てくるために、受信点において位相差が生じ、電波が互いに打ち消しあったり、増幅し

たりする。その結果として、電界強度が距離に関係なく変動することがある。

電界強度が変動することにより、PHS 区間での通信が不安定になり、PIAFS レベルでの再送が発生すると考えられる。もし PIAFS レベルの再送が発生すれば、それより上位のプロトコルである TCP や IP を用いた通信に影響を与えると推測される。

2 番目の観点である、コネクション数を変化させた場合としては、コネクションを動的に変化させるか、静的に変化させるかの 2 点が考えられる。

コネクションを静的に変化させる場合、すなわち通信中は一定のコネクション数を保つ場合は、PIAFS レベルや TCP/IP レベルにおいて問題が生じない限り、スループットはコネクション数に比例するものと考えられる。

コネクションを動的に変化させるには、通信中に一部のコネクションを強制的に切断する方法が考えられる。この場合に問題となるのは、切断後にマルチリンクプロトコルが残った回線スロットに均等にパケットを割り振る制御が行えるかということである。もし、均等に割り振ることができなければ、回線スロットの使用状況にアンバランスが生じ、TCP/IP 通信に影響を与えると考えられる。

これらの観点を評価するために、測定点において TCP/IP アプリケーションである FTP によってファイル転送を行い、その転送速度 (スループット) を測定した。もし、スループットに変化が現れれば、TCP/IP 通信になんらかの影響が生じていると考えられる。

3.2 測定方法

電界強度が TCP/IP 通信に与える影響を調べるために、次のような方法で測定を行った。測定環境としては、マルチパスの非常に多い環境である屋内環境と、周囲に建物などがなく、マルチパスが発生しにくい広いグラウンドにおける屋外環境の 2 環境で行った。それぞれの環境で事前に基地局から発射される電波の電界強度を測定して、その結果を元に測定点を設定し、実際の測定を行った。場所的な制約の許す限り、測定点を多数設けた。

各々の地点における測定は、初めに PHS フィールドメスタを利用して、基地局から発射される電波の移動局における電界強度の測定を行った。この測定は図 7 のように基地局に対して左側、中央、右側の 3 点で行い、基地局を構成する 3 局それぞれについて測定を

行った。その後、FTP によって 1M バイトのデータを基地局側→移動局側 (Get) と移動局側→基地局側

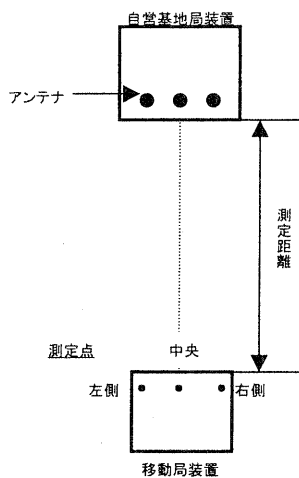


図 7 電界強度測定方法

(Put) のそれぞれの方向に転送を行った。転送は Get, Put 共に 3 回づつ行った。

コネクション数を変化させた場合の測定は、電界強度の変動が測定に影響しないように、屋内において移動局と基地局の距離が短い環境で行った。静的コネクション数変化の場合は、まずコネクション数が 1 の場合に FTP のスループットを測定し、次にコネクション数が

2 の場合に…というように順次コネクション数が 6 になるまで測定を行った。動的なコネクション数の変化の場合には、初期状態では 6 チャンネル全てのコネクションを接続し、FTP による転送開始後 5 秒間でランダムに選んだ 1 チャンネルを切断するという方法で行った。これら 2 つの測定においても、FTP Get, Put 共に 3 回づつ行った。

両方の測定において、データ収集の方法として用いたのは、FTP コマンドの出力結果、TCP アナライザ、PIAFS モニタである。FTP コマンドは転送終了すると、転送したバイト数や転送に要した時間、転送速度を出力する。それぞれの測定においてこれらを記録し、集計を行った。TCP アナライザは特定の 2 つのホスト間に張られた TCP コネクション上に流れた全ての TCP パケットをモニタし、後にそれを解析することにより、TCP がどのように振舞ったのか、すなわちデータの転送や再送がおこったタイミングなどを視覚的に表示できる装置である。PIAFS モニタは特定の回線を流れている PIAFS フレームをモニタし、フレームの種類や内容を表示できる装置である。TCP アナライザと PIAFS モニタを組み合わせることで、PIAFS レベルの再送が生じたときに TCP レベルの再送が生じているかなどの解析ができる。

4 測定結果

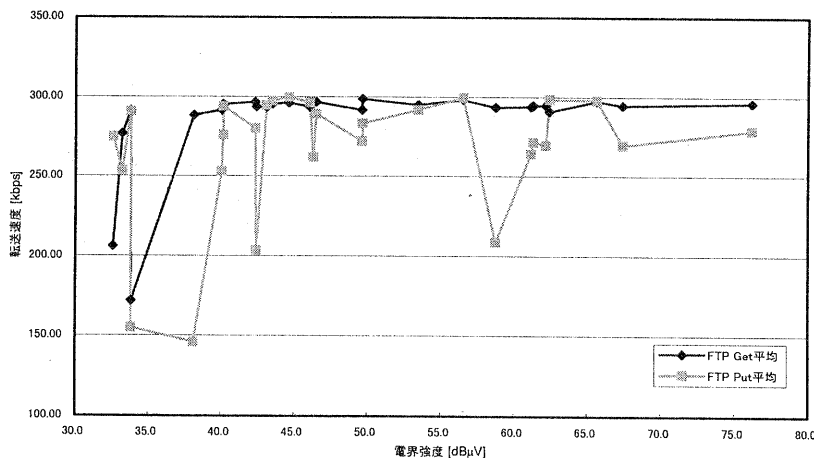


図 8 屋外における測定結果

表 2 屋内における測定結果

CS-ID		10m	20m	26.4m	31.6m
FTP Get	時間 (秒)	40.75	26.97	27.96	29.60
	転送速度 (kbps)	186.37	296.67	286.29	268.21
FTP Put	時間 (秒)	27.11	27.68	26.99	42.59
	転送速度 (kbps)	295.17	289.60	296.43	189.84
電界強度 (dB μ V)		67.3	65.8	60.4	58.2

最初の評価観点である、電界強度とFTPコマンドによるファイル転送のスループットの関係を調べるために行った測定結果を図8と表2に示す。図8は屋外における測定結果であり、表2は屋内における測定結果である。図8や表2で示したスループットはGet、Put共に3回づつ測定した平均値を使用している。図8に

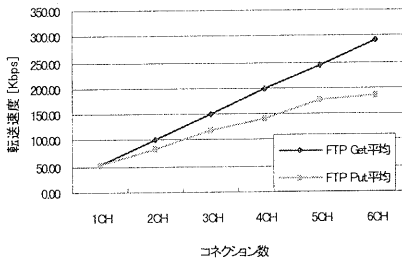


図 9 静的コネクション変動時 測定結果

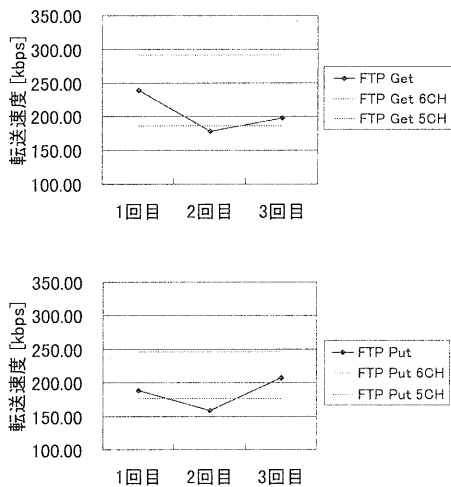


図 10 動的コネクション変更時 測定結果

おいて横軸の電界強度として用いているのは、移動局で受信した基地局3局の電界強度の平均値である。

2番目の評価観点である、コネクション数の変化における測定結果を図9と図10に示す。図9は静的にコネクションを変化させた場合、図10は動的にコネクション数を変化させた場合である。図10には静的にコネクションを変化させた場合のコネクション数が5と6の場合の平均値を示している。

5 考察

最初の評価観点である、電界強度とスループットの関係について、考察を行う。屋内環境における測定では物理的な制約があり、距離を伸ばすことができなかったため、電界強度が50dB μ V以下の測定点を発見することができなかったが、屋外においてはPHSの接続が不可能になる30dB μ V付近までの測定を行えた。FTP Getのスループットについて着目すると、ほぼ40dB μ V付近までは基本的にスループットが特に変化することがなく、PIAFS モニタでもエラーが発生することがなかった。表2に示した屋内環境の距離10mの点において、スループットが極端に悪くなっているが、これは3回の測定中のうち1回だけ多くの人が通り、マルチパスが多数発生したためであり、他の2回の測定においては他の測定点における測定結果とほとんど変わらない測定結果であった。40dB μ V付近までのFTP Putについて着目すると、FTP Getのスループットが安定している測定点でもスループットが変動する場所がある。この状況においては、特にPIAFS モニタにはエラーなどの表示は現れていないが、TCP アナライザには再送が行われている様子が表示されていた。これは、ホストマシンとデータ通信クライアントのOSの違いによるTCP処理の違いや、CPUなどが異なることによる処理能力の違いなどが影響していると考えられる。

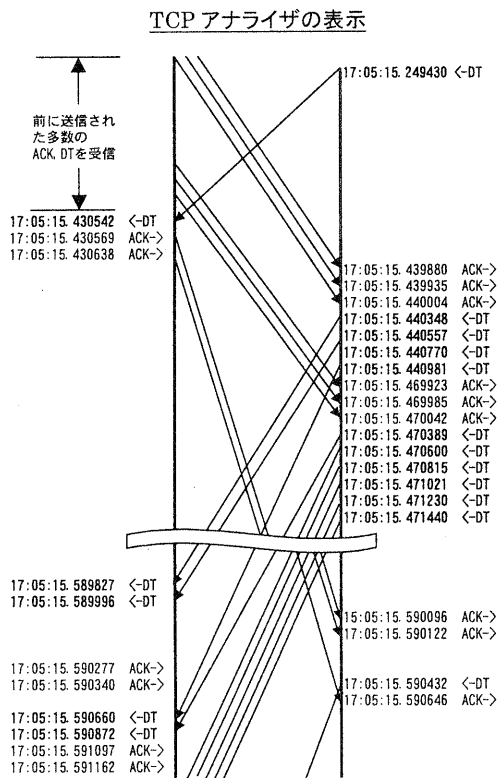
電界強度が40dB μ Vを下回った地点においてはFTP Get、Putともにスループットが大きく低下する点も見られるが、それ以前と変わらない点も見られる。スループットが大きく低下した点において、TCPアナライザとPIAFS モニタの結果を解析してみると、PIAFS モニタにおいてエラーが発生した場所において、TCPアナライザで再送が発生している様子を見て取ることができる。典型的な例を図13に示す。この結果から、PIAFS レベルにおいて多くの再送が発生した場合、TCP/IP通信に影響を及ぼすことがわかった。さらに詳しく解析

を行うと PIAFS レベルで再送が発生した場合は、通常の Ethernet における TCP/IP 通信で再送が発生した場合よりもスループットに与える影響が大きいことも判明した。PIAFS レベルで再送が発生すると、上位のプロトコルである TCP/IP では確認応答が戻るのに時間を要するために、再送を開始するためのタイマが作動し、TCP レベルにおいても再送が発生する。このことが、スループットの低下につながっている。

しかしながら、電界強度 40dBμV を下回った測定点においても、スループットの低下が見られない場合もある。図 8 において使用している電界強度は、本システムに存在する 3 局の自営基地局の平均値となっている。3 局の自営基地局には多少の個体差があり、基地局から移動局が離れると個体差がはっきりと現れる傾向がある。スループットの低下が見られる測定点においては、特定の自営基地局の電界強度が 30dBμV を下回っている場合があるのに対して、スループットの低下が

見られない測定点では、全ての基地局が 30dBμV 以上の電界強度を確保していた。屋外環境における測定場所は平坦なグラウンドではあるが、多少の凹凸が存在しており、移動局と基地局の位置関係が測定点によって微妙に変化していることが、特定の自営基地局からの電界強度に影響を与えていると考えられる。ただし、全ての基地局が 30dBμV を下回る状況では、PHS による接続が不可能であった。このことを考慮に入れると、移動局において 30dBμV 以上の電界強度が全ての自営基地局について確保されれば、電界強度の強弱に関係なく、安定したスループットで TCP/IP 通信を行えると言える。

評価の 2 番目の観点であるコネクション数の変化と TCP/IP 通信のスループットの関係については、静的コネクション数変化の場合、図 11 に示したように FTP



太字は再送された TCP パケットを示す

図 8 TCP 再送の発生している典型的な例

PIAFS モニタの表示

UP	ARQ	DATA	ACK	DOWN	ARQ	DATA	ACK
0001756	640 080	108 データ	1114	0001759	640 117	082 データ	1081
0001757	640 081	108 データ	1115	0001760	640 118	082 データ	1080
0001758	640 080	108 データ	1116	0001761			
0001759	640 081	117 データ	1108	0001762			
0001760	640 009	118 データ	1117	0001763	640 121	082 データ	1081
0001761	640 082	119 データ	1118	0001764	640 108	082 データ	1080
0001762	640 082	119 データ	1118	0001765	640 118	082 データ	1081
0001763	640 082	119 データ	1118	0001766	640 119	082 データ	1000
0001764	640 083	119 データ	1121	0001767	640 120	083 データ	1082
0001765	640 084	119 データ	1108	0001768	640 121	083 データ	1082
0001766	640 082	119 データ	1118	0001769	640 122	083 データ	1082
0001767	640 083	120 データ	1119	0001770	640 123	084 データ	1083
0001768	640 084	122 データ	1120	0001771	640 124	085 データ	1084
0001769	640 083	122 データ	1121	0001772	640 125	085 データ	1082
0001770	640 084	123 データ	1122	0001773			
0001771	640 084	124 データ	1123	0001774			
0001772	640 000	125 データ	1124	0001775			
				0001776			
				0001777			
				0001778			
				0001779			
				0001780	640 007	085 データ	11000
				0001781			
				0001782			
				0001783			
				0001784			
				0001785			
				0001786			
				0001787			
				0001788			
0001786	640 085	126 データ	01007	0001789			
0001787	640 086	126 データ	01007	0001790			
0001788	640 085	126 データ	01007	0001791			
0001789	640 086	126 データ	01007	0001792			
0001790	640 087	126 データ	01007	0001793			
0001791	640 085	126 データ	01007	0001794			
0001792	640 086	126 データ	01007	0001795	640 126	087 データ	11085
0001793	640 087	126 データ	01007	0001796			
0001794	640 085	126 データ	01007	0001797	640 011	088 データ	1085
0001795	640 087	127 データ	1126	0001798	640 012	088 データ	1085
0001796	640 087	127 データ	1126	0001799	640 013	088 データ	1087
0001797	640 087	127 データ	1126	0001800	640 014	088 データ	1085
0001798	640 000	127 データ	01011	0001801	640 127	088 データ	11087

右側の CRC エラーによって、TCP アナライザ上で TCP パケットの再送が発生している様子である。

TCP アナライザの時間表示は時刻表示、PIAFS モニタの時間表示は測定開始からの相対表示であるが、同じ時間のパケットの流れを示している。

TCP アナライザはひとつの行が 1 個の TCP パケット、PIAFS モニタはひとつの行が 1 個の PIAFS フレームを示す。

Get の場合、コネクション数とスループットは比例関係にあるといえる。FTP Put の場合は、比例関係にあるとはいえるが、コネクション数に対してスループットが上昇する割合は、FTP Get の場合よりも少なくなっている。これは、先程の観点の電界強度と TCP/IP 通信のスループットの関係でも触れたが、ホストマシンとデータ通信クライアントの性能が異なることが原因と考えられる。

動的にコネクション数を変化させた場合について、TCP アナライザを用いて解析を行うと、コネクションを切断した直後に TCP/IP パケットの消失が起こっていることを確認できた。その後、消失したパケットを再送するが、コネクション切断時に消失したパケットの内容によっては、再送に時間を要することが解析できた。図 12 において、測定回数によって転送速度に差が生じたのは、切断に要する時間が微妙に異なり、コネクション数が 6 で転送している時間とコネクション数が 5 の時間の割合が異なることのほか、TCP 再送の発生中の挙動が異なることが原因であると推測される。

6 おわりに

本稿では、64kbps の PHS コネクションをマルチリンクプロトコルによって束ねることにより、最大 384kbps の通信速度を実現する 384kbps-PHS 実験装置の概要と性能評価について報告した。本システムは 64kbps 対応の PIAFS をはじめ、既存の PHS の通信方式やシステムを有効に活用し、高速な通信速度を比較的 low コストで実現可能である。FTP を用いたファイル転送による評価の結果、電界強度が 30dB μ V 以上の範囲においては、電波状況が安定している限り、電界強度にかかわらず安定した高いスループットが得られ、本システムが十分な実用性を持つことが確認できた。

一方、マルチパス環境のように電波状況が不安定な場合においては、PIAFS レベルにおいて再送が頻発すると、TCP レベルでの確認応答時間が増大し、TCP のタイムアウト再送によってスループットが低下することも判明した。これは既存のマルチリンクプロトコルや TCP のプロトコル動作が、無線環境のようなエラーが発生しやすいネットワーク環境を想定していないことも一因であると考えられる。この点に関しては、今後さらに詳細な解析を行っていく予定である。

参考文献

- 1) PHS インターネット・アクセス・フォーラム, "PHS Internet Access Forum Standard (PIAFS) 仕様書," 第 2.0 版, 1998.
- 2) 電波産業界, "第二世代コードレス電話システム標準規格," 第 3 版, RCR STD-28, 1997.
- 3) W. Simpson, "The Point-to-Point Protocol (PPP)," RFC1661, 1994.
- 4) K. Sklower, B. Lloyd, G. McGregor, D. Carr and T. Coraditti, "The PPP Multilink Protocol (MP)," RFC1990, 1996.