

非対称移動通信リンクのための TCP/IP

加藤 紀康 鎌形 映二 伊藤 隆治

(株) 東芝 研究開発センター

{noriyasu, eizi, uri}@csl.rdc.toshiba.co.jp

概要 携帯端末の高機能化と無線システムの高速度化は、インターネットの拡大とともに、移動通信サービスの領域を従来の音声主体からデータ・画像を含んだマルチメディアへと広げつつある。このような移動環境におけるマルチメディア通信では、端末の小型化とサービスアプリケーションに適した無線アーキテクチャが必要となる。本報告では、上述した条件に適合した非対称無線リンクを取り上げ、インターネット上でデファクトスタンダードとして利用されている TCP についての検討を行なう。

TCP/IP Suitable for Asymmetric Wireless Link

Noriyasu KATO, Eiji KAMAGATA, Ryuji ITO

R&D Center, TOSHIBA CORPORATION

{noriyasu, eizi, uri}@csl.rdc.toshiba.co.jp

Abstract Improvements on portable terminals and wireless systems add data/video/Internet service to existing mobile one. Under this environment, wireless architecture, which is appropriate to small terminals and multimedia service, is needed. In this paper, we describe Asymmetric Wireless Link(AWL) system and discuss TCP on this system.

1 はじめに

移動体通信のめざましい発展により特定の場所で行われてきた通信は、その必要の生じた場所で行うことが可能になり、世の中もそれを要求し自然と感じるようになった。

PCに代表されるコンピュータもディスプレイ、メモリ等様々なデバイスの性能の高機能化・小型化にとまぬい、デスクトップマシンと同等の性能がB5サイズ程度の大きさのノートパソコンで得られ、さらに一段性能を落とすことが許されれば掌にも載ることが可能になった。これは人が携帯可能な範囲であり、移動体通信サービスが音声に加えてデータ・画像通信をも包含できることを示唆している。

これらのコンピュータではワープロ、表計算等のGUIに優れたアプリケーションソフトがオフィスでの仕事を効率化している。また、インターネットの急速な拡大は情報の提供収集に多大な威力を発揮している。オフィス・家庭でこのような環境に慣れてしまったビジネスマンや一般ユーザーが、同じ環境を外出先に求めようとするのは必然的な流れともいえる。

本稿では、以上の前提をふまえて、オフィス・家庭と同じ環境を早期に外で提供する非対称無線リンク(AWL)システムの紹介とインターネット上の多くのアプリケーションで使用されているTCP/IPとの整合性の検討を行う。

2 非対称無線リンク

将来の移動体通信では、従来からの音声に加えてデータや動画などのマルチメディア情報がサポートされるであろうことは上で述べた。そこでこれらのサービスアプリケーションを考えると、クライアント(ユーザー)がリクエストを發し、それに対してサーバーが情報を送信する、いわゆるクライアント・サーバー型のものが多数を占める。この場合図1でもわかるようにサーバーが發する情報量が遥かに大きくなる場合がほとんどである。

一方、端末の小型化の妨げの一つに広帯域無線

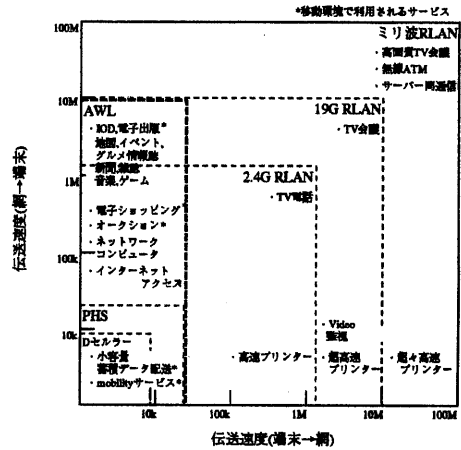


図 1: 適応アプリケーション

送信機の搭載がある。広帯域無線送信機は携帯端末に見合う大きさのものを作ろうとするとコスト的に見合わない上に、伝送速度を上げようとすれば消費電力も上がることになり、長時間動作させるためにはバッテリーが大きくなってしまおうという問題がある。

そこで、これらの要求・問題に適應した非対称無線リンクが提案されている^[1](図2)。すなわち、使用者(端末)からのリクエストなど比較的情報量の少ない上りリンク(以下、上りは伝送速度を低く、大量の情報が基地局から送信される下りリンク(以下、下り)の伝送速度を高くするのである。これにより使用者の広範な要求に答えるとともに端末

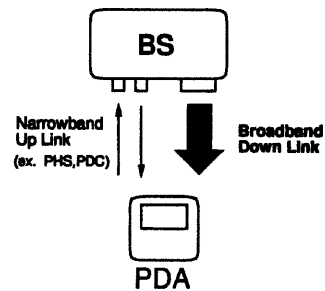


図 2: 非対称無線リンクシステム

の広帯域無線送信を省くことにより消費電力の低減を実現することができるため端末の小型・軽量化も達成することが可能となる。

3 非対称リンクにおける TCP

従来 TCP はイーサネット等の広帯域・低遅延のネットワーク上で運用されることを主眼として設計されているため、非対称という特殊な環境でどのように振る舞われるかは興味深いところである。ここでは、実機と計算機を使ったシミュレーションおよび理論計算を用いて非対称リンクにおける TCP の性能について評価を行う。

以降、下りリンクでデータを送信した場合のスループットについて検討している。

3.1 理論検討

TCP において送信側がデータを送信すると、データの受信側では2つのセグメントを受信すると1つの ACK を返信するような実装^{[2][3]}になっている。よってスループットは以下の式で表される。

$$\text{Throughput} \leq \frac{1\text{ACKあたりの送信データ}}{\text{UplinkSingleDelay}}$$

提案する非対称ネットワークの場合、下りでは大容量のデータを分割して転送するため、パケット長はIPパケットの最大長である1500bytes(イーサネットフレームとして1526bytes)となることが多い。一方上りでは、下りで送信されてくるデータの送達確認(ACK)が流れることが考えられるため、パケット長は40bytes(イーサネットフレームとして72bytes)となる。

ここでは、下りを10Mbps,上りを32kbpsとして、以下のスループットが得られる。

$$\begin{aligned} \text{Throughput} &= \frac{2MSS}{\text{UplinkSingleDelay}} \\ &= \frac{1460[\text{byte}] \times 2}{18[\text{msec}]} \\ &\approx 1.3[\text{Mbps}] \end{aligned}$$

ただしこの場合、ウィンドウサイズが帯域遅延積 (bandwidth-delay product) および最大セグメントサイズ×4より大きいことが必要である。もし小さいと、データ送信側ではウィンドウを広げるためのACKを受信しないと次のデータの送信ができなくなるからである。

$$\begin{aligned} \text{WindowSize} &> \text{Bandwidth} \times \text{RoundTripDelay} \\ &= 10[\text{Mbps}] \times (1.2 + 18)[\text{msec}] \\ &\approx 192000[\text{bit}] \\ &= 24000[\text{byte}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{WindowSize} &> \text{MSS} \times 2 \times 2 \\ &= 5840[\text{byte}] \end{aligned}$$

この値より大きければウィンドウ不足によるスループット低下はなくなることになる。

3.2 TCP スループット

理論値,WSによるシミュレーション,実機による実験の3通りの方法を用いてスループットを算出する。

実機による実験については図3のようなシステムで行なった。

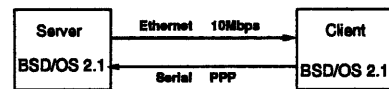


図3: 実験システム

下りの伝送路には、通常の10Mbpsのイーサネットを用い、上りの伝送路には、シリアル回線上にPPPプロトコルを通すことによって非対称性を実現した。また、PPPプロトコルには圧縮はかかっていない。

PC(Pentium 90MHz)上のOSにはBSD/OS 2.1を、性能測定にはTCPスループット測定アプリケーションであるttcpを用いた。

ウィンドウサイズはシミュレーション、実験ともに8760bytesである。

pingプログラムによるRoundTripDelayの測定結果を表1に、上りの伝送速度を可変にしてスループットの測定した結果を図4、図5に示す。

表 1: RoundTripDelay [msec]

UplinkBandwidth[kbps]	1500bytes	40bytes
9.6	1584.8	53.72
19.2	796.2	27.2
28.8	531.7	18.4
38.4	400.2	13.9

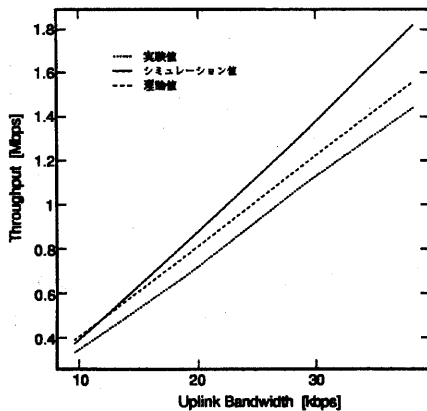


図 4: TCP スループット (1)

ちなみに実機にてイーサネットにて双方向の伝送を行ったときのスループットは約7Mbpsである。

3.3 実験結果の考察

図4を見ると、上りの伝送速度が高くなるにつれてスループットが上がっていくのがわかる。理論値、シミュレーション値がほぼ比例して値を上げていくのに対して、実験値の傾きや絶対値が小さい。これはPPPによるオーバーヘッドの増加とプロセッサ、インターフェース部の処理による遅延やデータの送受信が理論検討のように理想の状態にならないためと考えられる。

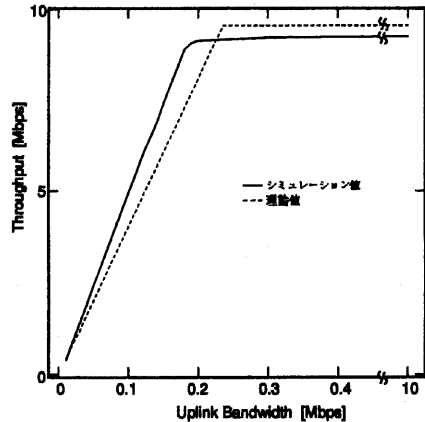


図 5: TCP スループット (2)

また上りと下りのパケット長が異なるため、上りの伝送速度を上げていけば上りと下りのSingleDelayが同じになる値が存在する。この値が飽和点で、これ以上、上りの伝送速度を上げてもスループットは向上しない。これは理論値とシミュレーション値のみ算出しているが、ともに200kbps前後となっている。実機でもこのあたりが飽和点であることが予測できる。

以上見てきたように非対称伝送路のような上りが高遅延のネットワークでTCPを用いると下りリンクのスループットが低下してしまうことがわかる。例えば、理論検討で使用した上り伝送速度が32kbpsでは1.2Mbps程度であり、これは双方向10Mbpsの対称伝送路の場合の実に約6分の1である。これでは下りの帯域を十分に活かしているとは言えない。

この理由としてはまず帯域遅延積の増大が挙げられる。受信側のバッファ(ウィンドウサイズ)が足りなくなるため、送信側がACKを受信し、ウィンドウが開いて送信できる状態までデータを送信しない時間が生じてしまうのである。最悪の場合には再送をも引き起こすことになる。

今回の場合、必要なウィンドウサイズは上り伝送速度32kbpsの場合で24000bytes以上であり、通常のデフォルト値である8760bytesとは実に2

倍以上の開きがある (図 6).

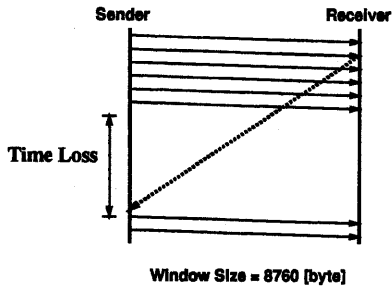


図 6: ウィンドウ不足によるスループット低下

他に先にも述べたが、データを遅滞なく送信させるために、送信側のウィンドウサイズを更新するために、受信側から 2 セグメントに 1 つと頻りに送達確認 (ACK) を送信している。この場合、上りの帯域が狭い伝送路では、帯域を必要以上に消費してしまうこととなる。

理論上では 10Mbps の伝送路では 1 秒間に 819 個のデータセグメントを送信することが可能である。よって、実装に従えば 409 個の ACK を受信側は送信することになる。409 個の ACK は情報量にして約 236kbits である。これは先程述べた理論値の飽和点であるが、これより伝送速度が遅ければ受信側の ACK は送信待ちになってしまい、スループットの低下につながる。例えば 32kbps の伝送路では 1 秒間に 55 個の ACK しか送信できない。

4 TCP の改良

前の章の問題を踏まえて、スループットを向上させるための TCP の改良方法について提案する。

4.1 ウィンドウサイズ

帯域遅延積増大に関しては十分な大きさのウィンドウサイズを提供することにする。ウィンドウサイズを大きくとることにより、下りの伝送路の使用効率は上がり、結果として、スループットが向上することとなる。

4.2 送達確認 (ACK)

TCP では、プロセスがデータを読み込んだ量を判断材料として ACK を送信する仕組みが存在し、通常はこの値は最大セグメントサイズの 2 倍であることは既に述べた。もしこれがウィンドウサイズと比較して十分に小さい場合は、ウィンドウが十分に利用されないうちに、さらなるウィンドウ更新のための ACK を送信することになる。結果として、上りの伝送路を無駄に消費することになる。そこで、受信側の ACK を出す頻度と間隔を適切に設定してやれば、上りの帯域の圧迫や送信待ちが生じなくなるため、スループットの向上を図ることができる。

4.3 実験結果および考察

前節で述べた提案手法について、前章と同じ実機によるシステムで検証を行った。

図 7 に上りの伝送速度による性能評価を、図 8 にウィンドウサイズによる性能評価を、図 9 に送達確認更新頻度の変化による性能評価を示している。

図中の MSS は今回の実験ではすべて 1460bytes である。

図 7 では今回の提案手法が伝送速度に影響されずに性能を向上していることがわかる。

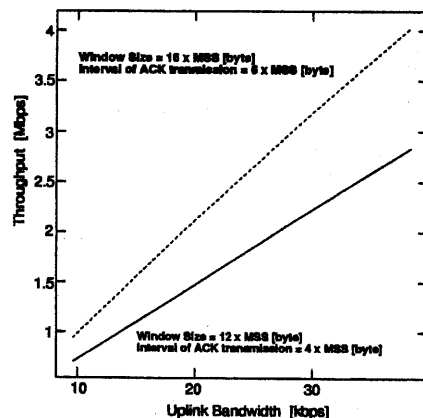


図 7: 伝送速度の変化による性能評価

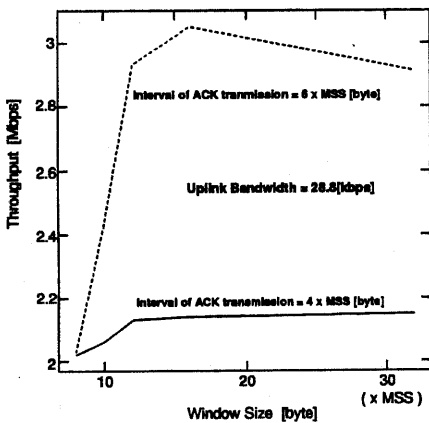


図 8: ウィンドウサイズの変化による性能評価

図 8 を見るとわかるが、ウィンドウサイズはある一定以上拡大しても性能は向上しなくなる。これは 1ACK あたりに下りで送信できるデータ量が決まっており、それ以上になるとウィンドウサイズを広げても、その量は増えないからである。すなわち、受信側における ACK 送信待ちが性能に大きく影響を与えていることがわかる。

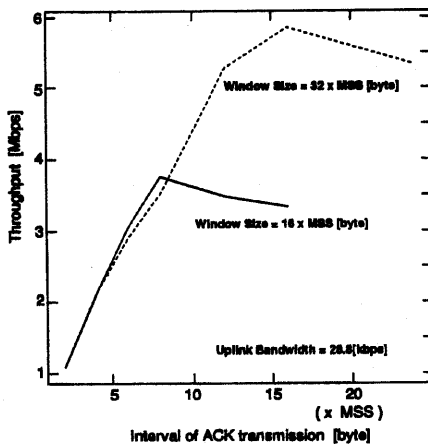


図 9: ACK の頻度の変化による性能評価

図 9 において、ACK の間隔がある値を越えるとスループットが劣化することがある。ウィンドウの更新頻度を少なくすると、データ送信側が、ウィンドウが利用しつくさされてしまう前に、ウィンド

ウ更新のための ACK を受信できなくなるのがその原因である。

5 まとめ

今回、非対称無線リンク (AWL) システムの紹介を行い、非対称伝送路上での TCP の性能評価を試みた。下りを 10Mbps と固定し、上りがある伝送速度以下の非対称性では十分なスループットが出ないことわかり、問題点を考察した。

そこで TCP ウィンドウサイズと送達確認の見地からスループット向上のための検討を加えた。これらの手法によりスループットを上げることが可能となった。ウィンドウサイズの拡大についてはある値まではスループットが向上するものの、それ以降はその最大値をほぼ保つ。また送達確認の間隔に関してはウィンドウサイズに対してある最適値が存在することを明らかにした。

今後は、この非対称無線通信システムの試作機で、この提案手法を検証するとともに、さまざま実験をしていきたいと考えている。

参考文献

- [1] Mutumu SERIZAWA, "Broadband Personal Communication Network and Services", Proc.ITU, Telecom95 Vol1. 3-6(1995).
- [2] R.T.Braden, "Requirements for Internet Hosts - Communication Layers", RFC1122.
- [3] Wright, Stevens, "TCP/IP Illustrated, Volume2", Addison Wesley(1995).
- [4] 加藤, 鎌形, 農人, 芹澤, "非対称伝送路に適するトランスポートプロトコルの検討", 信学会総合大会, B-550(1996).