

WAP プロトコルとインターネットプロトコルの性能評価に基づく IMT-2000 向けモバイルインターネットアーキテクチャの提案

石川 憲 洋[†] 上野 英 俊[†] 鈴木 偉 元[†]
角 野 宏 光[†] 高 橋 修[†]

近年、携帯電話や PDA からのインターネットにアクセスするサービスが非常に注目を集めている。WAP フォーラムでは、高誤り率、高遅延などの特徴を持つ無線ネットワーク環境に最適化したプロトコルとして、WAP プロトコルの標準化を進めている。しかしながら、WAP プロトコルの機能面、性能面での評価はまだ十分に行われていない。そこで、我々は WAP1.1 仕様に基づいて WAP クライアントと WAP ゲートウェイの試作を行い、それらを用いて WAP プロトコルとインターネットプロトコル (HTTP/TCP) の性能 (応答時間など) を測定し、比較評価を行った。2001 年にサービスが開始された第 3 世代移動通信ネットワーク (IMT-2000) での性能を評価するために、無線シミュレータを使用した。その結果、両プロトコルはほぼ同様の性能を持つが、大きなコンテンツを配信する場合は、インターネットプロトコルの性能が優れていることを明らかにした。さらに、WAP ヘッダおよびコンテンツのバイナリ符号化などの WAP 特有の機能についても評価を行った。WAP のバイナリ符号化は小さいコンテンツには有効だが、大きなコンテンツには効果が少ないことを明らかにした。最後に、WAP プロトコルとインターネットプロトコルの性能評価の結果に基づいて、IMT-2000 に適したモバイルインターネットアーキテクチャを提案する。

Proposed Mobile Internet Architecture for IMT-2000 Based on the Performance Evaluation of WAP Protocol and Internet Protocol

NORIHIRO ISHIKAWA,[†] HIDETOSHI UENO,[†] HIDEHARU SUZUKI,[†]
HIROMITSU SUMINO[†] and OSAMU TAKAHASHI[†]

Recently, much attention has been paid to the services accessing to the Internet from mobile phones and PDAs. The WAP Forum has been developing the WAP protocol that is optimized for wireless networks that have the characteristics such as high latency and/or high error rate. However, the functions and the performance of the WAP protocol have not been fully evaluated. We have implemented the WAP client and the WAP gateway based on the WAP version 1.1. Using them, we have measured the performance (e.g. response time) of the WAP protocol and compared it with the performance of the Internet protocol (i.e. HTTP and TCP). We used a wireless network simulator to evaluate the performance over IMT-2000 (W-CDMA) whose service was launched in 2001. Our result has shown that both protocols have the similar performance except for transmitting large contents, in which case the performance of HTTP/TCP is better than that of WAP1.1. We have also evaluated the WAP specific functions such as the binary encoding of WAP headers and contents. While the binary encoding is effective for a small content, its effect is questionable for a large content. Finally, we propose the mobile Internet architecture that is suitable for IMT-2000, based on our performance evaluation of the WAP protocol and the Internet Protocol.

1. はじめに

携帯電話, PDA などから, ニュースや天気予報, モバイルバンキングなどのインターネット上のコンテンツにアクセスするサービスが注目を集めている。今後

このようなモバイルインターネットサービスの需要は急速に増加することが予想され, 現在のインターネットアクセスやメールなどのサービスだけでなく, 携帯電話や PDA の特徴を生かしたアプリケーションの開発が進展することが期待されている。

しかしながら, 現在インターネットで用いられているプロトコルは, 高誤り率, 高遅延などの無線環境の特徴を十分に考慮していないため, そのままでは十分

[†] 株式会社 NTT ドコモマルチメディア研究所
Multimedia Laboratories, NTT DoCoMo Inc.

な性能が得られないという問題がある。そこで、WAP フォーラムでは、無線環境に最適化したプロトコルとして、WAP (Wireless Application Protocol) の標準化を進めている。

WAP を用いたサービスが各国で開始されているが、そのサービスの種類は少なく、機能的、技術的にもその評価が十分に行われていないのが現状であり、その実用性について不明確な部分が多い。

そこで、我々は WAP1.1 仕様¹⁾に基づいて WAP クライアントと WAP ゲートウェイの試作を行い、無線シミュレータを用いて、WAP プロトコルとインターネットプロトコル (HTTP/TCP) の応答時間などを測定し、比較評価を行った。WAP の特徴的な機能であるヘッダおよびコンテンツのバイナリ符号化については、その効果を定量的に評価した。

より高速な移動通信ネットワークとして、GPRS (General Packet Radio Service) などの第 2.5 世代移動通信ネットワーク、第 3 世代移動通信ネットワーク (IMT-2000 : International Mobile Telecommunication-2000) のサービスが開始されている。最後に、WAP プロトコルとインターネットプロトコルの性能評価の結果に基づいて、IMT-2000 に適したモバイルインターネットアーキテクチャを提案する²⁾。

本論文の構成は、以下のとおりである。2 章では、WAP 仕様の概要について述べる。3 章では、1999 年に公開された WAP1.1 仕様に基づく WAP クライアントおよび WAP ゲートウェイの試作について述べる。4 章では、WAP の特徴的な機能であるコンテンツおよびヘッダのバイナリ符号化の定量的な評価結果について述べる。5 章では、無線シミュレータを用いて行った、WAP プロトコルとインターネットプロトコル (HTTP/TCP) の比較評価について述べる。6 章では、WAP プロトコルとインターネットプロトコルの性能評価の結果に基づいて、IMT-2000 に適したモバイルインターネットアーキテクチャを提案する。

2. WAP 仕様の概要

WAP とは、携帯電話などのモバイル端末からインターネットのコンテンツへのアクセスを実現することを主な目的に、WAP フォーラムで標準化が進められているプロトコルとアプリケーション環境である。WAP1.1 仕様に基づいて、WAP のアーキテクチャ、プロトコルの概要について述べる。

2.1 WAP アーキテクチャ

WAP のアーキテクチャは、WAP クライアント、WAP ゲートウェイ、オリジンサーバから構成される。

WAP クライアントは移動機、PDA などの小さい画面のモバイル端末を想定している。オリジンサーバとしては、WWW サーバなどの既存のインターネット上のサーバを使用することを前提としている。

WAP クライアントと WAP ゲートウェイの間は、WAP フォーラムで標準化した WAP プロトコルを使用して通信する。WAP プロトコルは、高誤り率、高遅延などの特徴を持つ無線環境に最適化されたプロトコルで、幅広い無線ネットワーク (CDMA, GSM, PDC など) に対応している。WAP ゲートウェイとオリジンサーバの間は、TCP/IP, HTTP などの標準的なインターネットプロトコルを使用して通信する。したがって、WAP のアーキテクチャは、基本的にインターネットの WWW アーキテクチャを無線環境向けに拡張したもので、WAP ゲートウェイは、無線環境とインターネットの間のゲートウェイの役割を果たしている。

2.2 WAP プロトコル

WAP プロトコルは、WDP (Wireless Datagram Protocol), WTLS (Wireless Transport Layer Security), WTP (Wireless Transaction Protocol), WSP (Wireless Session Protocol) から構成される。

WAP は幅広い無線ネットワークへの適用を考慮しており、WDP において無線ネットワークの違いを吸収するベアラアダプテーションの概念がある。無線ネットワークが IP をサポートする場合は、WDP は UDP を使用する。

WTLS は、TLS³⁾をベースに、無線環境への最適化を図ったプロトコルで、暗号化、認証などのセキュリティ機能を提供する。

WTP は、3 クラス (クラス 0, 1, 2) のトランザクション型通信機能を提供している。特にクラス 2 では、信頼性のある要求/応答型通信を実現している。また、オプションである分割・再組立て機能がサポートされる場合には、パケット欠落の検出や選択的再送を行う。

WSP は HTTP をベースとしてセッション管理を行うプロトコルである。WSP は HTTP1.1⁴⁾相当の機能に加えてプッシュ、セッションの中断と再開、ヘッダのバイナリ符号化などの WSP 固有の機能を提供している。

2.3 WAP アプリケーション環境

WAE (Wireless Application Environment) は、WAP のアプリケーション環境の総称で、マークアップ言語である WML1.1 (Wireless Markup Language), スクリプト言語である WML Script, WAP ゲートウェイから WAP クライアントにプッシュサービスを

提供する WAP プッシュなどから構成される。

WML1.1 は WAP フォーラムで規定した XML 準拠のコンテンツ記述言語で、HTML 相当のタグに加えて、カード & デッキなどの WML 固有のタグを定義している。WML1.1 では、無線環境で WAP クライアントに転送する WML コンテンツのサイズを圧縮するため、WML1.1 のタグ、属性などのバイナリ符号化を規定している。また、WAP ゲートウェイで WML コンテンツのパーズ処理、バイナリ符号化を行うことにより、WAP クライアントの負荷軽減を図っている。

2.4 WAP 関連研究

インターネット上にあるコンテンツの多くは HTML を用いて記述されている。WAP1.1 クライアントが HTML コンテンツに対してアクセスする場合には、WAP ゲートウェイにおけるコンテンツ変換が必要となる。論文 5) は、HTML から WML への変換の際の問題点などについて整理しており、変換時のいくつかの問題点の解決法を提案している。しかし、HTML と WML は、元々互換性がないため、あらゆるコンテンツを変換するには問題がある。さらに、ユーザ数が増加した場合の変換のオーバヘッドによるゲートウェイスケラビリティの問題は非常に重要であるが、その点についても考察されていない。

WAP プロトコルの評価に関しては、WTP のクラス 2 の実装とその評価をした論文が存在する⁶⁾。この論文は、WAP 仕様のいくつかの不具合を指摘しているが、無線ネットワーク上での WTP の性能を評価したのではない。

論文 7) は、モバイルブラウザアプリケーション利用時のネットワーク利用状況について分析している。この研究では、日々と毎週のサイクルについて測定し、ネットワークトラヒックの特徴として自己相関関係があることを導いている。また、この研究では、モバイルブラウザアプリケーションによるトラヒックの特徴について WWW トラヒックと比較している。この研究は、無線ネットワークの設計に非常に有用であるが、第 1 世代、第 2 世代移動通信ネットワークを対象に測定しており、IMT-2000 ネットワークを対象にはしていない。IMT-2000 ネットワークでは、ネットワークの性質および提供されるコンテンツのサイズなども劇的に変化することから、IMT-2000 ネットワークにおける同様な評価に関する研究が求められる。

2001 年に IMT-2000 ネットワークのサービスが開始された。WAP が IMT-2000 ネットワークにおいてどのような性能特性が得られるかを把握することは非



図 1 WAP 試作システムの構成
Fig. 1 Overview of WAP testbed system.

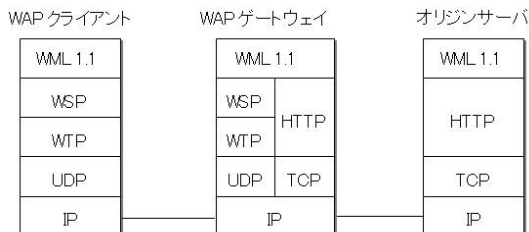


図 2 WAP 試作システムのプロトコルスタック
Fig. 2 Protocol stack of WAP testbed system.

常重要であるが、現在までに、IMT-2000 ネットワーク上での WAP プロトコルの性能に関する研究はされていない。

3. WAP クライアントおよび WAP ゲートウェイの実装

我々は、WAP1.1 に基づいて WAP クライアントおよび WAP ゲートウェイの実装を行った。本試作システムは、100 Mbps LAN (100BASE-TX) で接続された WAP クライアント、WAP ゲートウェイ、オリジンサーバから構成される。IMT-2000 における無線環境を擬似するために、WAP クライアントと WAP ゲートウェイの間に無線シミュレータを設置した。無線シミュレータは無線ネットワークにおけるレイヤ 2 以下の処理を擬似するものであり、ペアラ特性として伝送速度、遅延時間、誤り率、最大再送回数などの値をあらかじめ設定することにより、IMT-2000 などの無線ネットワーク上を流れるパケットの動作を擬似できる。また、WAP ゲートウェイはインターネット上のオリジンサーバにアクセス可能である。本試作システムの構成を図 1 に、実装した WAP プロトコルスタックを図 2 に示す。

3.1 WAP クライアント

WAP クライアントは、PC (Pentium3 550 MHz , 256 MB , Windows98) 上で C++ 言語を用いて実装した。WAP クライアントは WML1.1 ブラウザ、WAP プロトコル管理、WAP プロトコル制御などから構成

される。

WML1.1 ブラウザは、図 1 に示すような携帯電話の画面上で WML コンテンツの表示を行う。マウスやキーボードを用いて携帯電話の画面に URL を入力することで、オリジンサーバ上の WML コンテンツを取得、表示することが可能である。

WAP プロトコル管理は、WAP プロトコルの各レイヤ間のインタフェース制御、通信パラメータの管理などを行う。各プロトコルのパラメータ値の設定、性能評価のためのデータ取得などが可能である。

WAP プロトコル制御は、今回実装した WSP ライブラリ、WTP ライブラリ、UDP ライブラリなどから構成され、OS 標準の Windows Sockets を用いて WAP ゲートウェイと通信を行う。

3.2 WAP ゲートウェイ

WAP ゲートウェイは、WS(Ultra Sparc333 MHz, 512 MB, Solaris2.6) 上で C 言語を用いて実装した。WAP ゲートウェイはインターネットプロトコル制御、ゲートウェイアプリケーション、WAP プロトコル管理、WAP プロトコル制御などから構成される。

インターネットプロトコル制御は、インターネットプロトコル(HTTP/TCP)を用いてオリジンサーバと通信を行う。

ゲートウェイアプリケーションは、オリジンサーバから受信した WML コンテンツのパーズ処理、バイナリ符号化を行った後、WML クライアントに送信する。XML パーサにはフリーソフト(RXP beta15)を使用し、XML パーズの際には、RXP beta15 独自の API を用いた。なお、バイナリ符号化は、WAP 仕様にあわせて新たに実装した。

WAP プロトコル管理、WAP プロトコル制御は WAP クライアントと同等の処理を行う。

3.3 オリジンサーバ

WML コンテンツのオリジンサーバとしては、PC (Pentium2 200 MHz, 64 MB, Linux) 上で WWW サーバとして広く利用されている Apache1.3.9 を使用した。Apache の CGI 機能を使用して、CGI を含む WML コンテンツを作成することも可能である。

3.4 WAP アプリケーション

本システム上のアプリケーションとして、プッシュアプリケーションを試作した。プッシュアプリケーションでは、WAP ゲートウェイがプッシュサーバとなり、WSP のプッシュ機能を用いて WAP クライアントに画像、テキストをプッシュする。さらに、WSP の POST メソッド(CGI 機能)を使用した電子メールの送信アプリケーションと WSP のプッシュ機能を応用した電

子メールの受信アプリケーションを試作した。

4. バイナリ符号化の性能評価

WAP のバイナリ符号化には、WBXML で規定された WML コンテンツのバイナリ符号化と、WSP ヘッダのコンパクト符号化の 2 種類が存在する。それぞれの符号化の性能を評価した。WAP のバイナリ符号化は、WAP1.1 の特徴の 1 つであり、その圧縮率と符号化時間を測定することにより、IMT-2000 ネットワークに適用した場合の効果について明らかにする。

4.1 WML コンテンツのバイナリ符号化

WML コンテンツのバイナリ符号化は、以下の 2 つの要素から構成される。

1) XML パーサによる構文解析

WML コンテンツの構文解析を行う。

2) WBXML 符号化

タグや改行コードなどの制御コードに対して WBXML 符号化を行う。WBXML 符号化は、バイナリ化モードとテキストモードの 2 種類のモードを切り替えて以下のように行われる。たとえば、WML コンテンツ中に wml というタグが存在したとすると、そのバイナリ化ルールに従って WBXML 符号化を行う。タグの値など、WBXML のバイナリ化ルールに存在しない値については、テキストモードに切り替えてテキストをそのまま表現し、終了後にまたバイナリ化モードに戻すことによって続けて WBXML 符号化を行う。

WML コンテンツのバイナリ符号化は、対象となるコンテンツにより符号化の効果が異なり、あらゆるコンテンツについて定量的な評価結果を求めることは不可能であるため、典型的なコンテンツについて評価を行った。今回の測定に用いた WML コンテンツを図 3

<?xml version="1.0"?>	
<!DOCTYPE wml PUBLIC "-//WAPFORUM//DTD WML1.1//EN" "http://www.wapforum.org/DTD/wml1.1.xml">	①
<wml>	
<card id="card2" ontimer="/auto500-2wml#card1">	
<timer value="50"/>	
<p mode="wrap">	②
50オクテットのテスト ***decd ***	
WAP は無線環境に適したプロトコルであり 携帯電話、PDA等からインターネットへアクセスを行うた めのプロトコルである。	
(以下省略)	③
</p>	
</card>	
</wml>	④

図 3 評価対象 WML コンテンツ

Fig. 3 Sample of WML content.

に示す。

図 3 では WML を構成する最低限の種類のタグ (“wml”, “card”, “p”) および改行タグの “br” を使用しており、それ以外はテキストデータで構成している。したがって、他のタグが含まれるコンテンツを用いた場合には、さらに圧縮率は高くなることも考えられる。

今回の評価では、図 3 の③に示すテキスト領域のサイズを変化させることにより、複数サイズのコンテンツ(500, 1,000, 1,400, 20,480, 368,640 バイト)を用意した。また、符号化の圧縮率と処理時間に着目し、以下の評価を行った。

- WML バイナリ符号化と gzip 圧縮率の比較評価 (図 4)
- WML バイナリ符号化の処理時間とそれに含まれる XML パーサの処理時間の評価 (図 5)

WML バイナリ符号化は、先述したように、XML パーサによる構文解析が行われた後、タグや改行コー

ドなどの制御コードに対して WBXML 符号化が行われる。WML バイナリ符号化の処理時間は、XML パーサの処理時間と WBXML 符号化の合計時間であり、そのうち XML パーサの処理時間を図 5 に示す。なお、XML パーサにはフリーソフト (RXP bata15) を用いた。

図 4 に示す符号化前後のサイズの比率とは、元のサイズから圧縮後のサイズを引いたサイズを元のサイズで割った比率のことを示しており、圧縮されたサイズが大きいほど、圧縮率が高いということを示している。WML バイナリ符号化では、コンテンツサイズが大きくなるに従い圧縮率が下がる。これは、図 3 の①に示すコンテンツの先頭部分の圧縮率が高く、この部分が 3 バイトに圧縮されるため、コンテンツサイズが大きくなるに従い先頭部分の圧縮の効果が全体としては小さくなるからである。また、gzip 圧縮では、逆にコンテンツサイズが大きくなるに従い圧縮効果が高い。以上のことから、タグなどの圧縮対象部分のみの圧縮を行う WML バイナリ符号化は、その圧縮効果は高いものの、今回の評価対象のようにサイズが大きくなるに従い相対的にテキスト部が増加するコンテンツでは圧縮効果は低下する。

図 5 に示す WML バイナリ符号化の処理時間は、XML パーサおよび WML バイナリ符号化の処理時間のいずれもコンテンツサイズにほぼ比例して増加している。ただし、コンテンツサイズが 500 オクテットおよび 1,000 オクテットの場合の WML バイナリ符号化の処理時間はそれぞれ 1.00 秒、0.96 秒であり、コンテンツサイズにかかわらず約 1 秒要している。また、WML バイナリ符号化処理全体のうち XML パーサの処理時間が占める割合は、500 バイトのコンテンツ時に 72.7%、386,640 バイトのコンテンツ時に 24.9% であり、コンテンツサイズが大きくなるに従い低下している。つまり、コンテンツサイズが大きくなるに従い、XML パーサの処理時間よりも WBXML 符号化に多く時間を要することを示している。

以上の評価結果から、圧縮率と処理時間のいずれについても、コンテンツサイズが小さい場合において WML バイナリ符号化がより有効に機能することが示された。また、WAP ゲートウェイで XML パーサ処理を行うことで、WAP クライアントでは WML のレンダリングのみを行えばよいという WAP アーキテクチャ特有のメリットもあげられる。しかしその反面、WAP ゲートウェイで XML パーサ処理が必要となるため、加入者が増加した場合の WAP ゲートウェイのスケラビリティを確保することとのトレードオフに

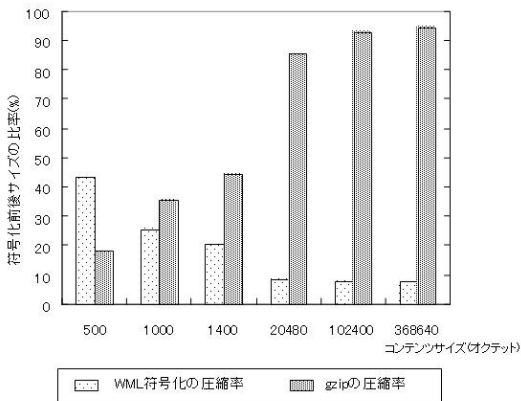


図 4 符号化の圧縮率
Fig. 4 Processing rate of encoding schemes.

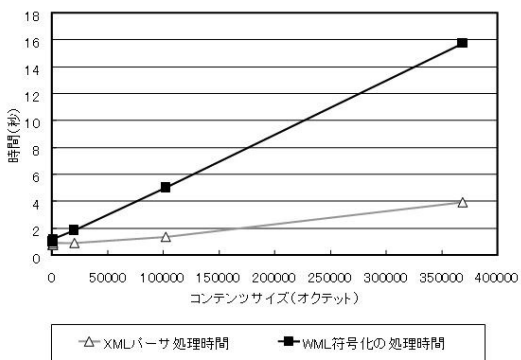


図 5 符号化の処理時間
Fig. 5 Processing time of encoding schemes.

なることに注意する必要がある。さらに、コンテンツサイズが大きくなった場合、WML バイナリ符号化に要する処理時間がほぼ比例して増加するため、コンテンツサイズが大きき場合には、応答時間に大きな影響を与える可能性がある。

以下では、IMT-2000 ネットワークに WML バイナリ符号化を適用した場合について述べる。1,400 バイトのコンテンツをバイナリ化すると 1,117 バイトに圧縮されるため 283 バイトの圧縮効果があるが、この 283 バイトを 384 kbps のネットワークで送信する際の伝送遅延は約 6 ミリ秒である。また、この 283 バイトを 9,600 bps のネットワークで送信する際の伝送遅延は 236 ミリ秒である。本測定結果により、この 1,400 バイトのコンテンツをバイナリ化するのに約 130 ミリ秒を要しているため、ネットワーク速度が 9,600 bps のように低速のネットワークの場合には、バイナリ化してネットワークの伝送時間を短くする効果は大きい。反面、IMT-2000 ネットワークの場合、バイナリ化してコンテンツサイズを減少させるよりは、コンテンツをそのまま送信したほうがよいことが明らかになった。

また、本測定結果では、コンテンツサイズが大きくなるにつれ、WML バイナリ符号化の圧縮率が低下することを示した。IMT-2000 で提供されるアプリケーションのコンテンツサイズは相対的に大きくなることと考えると、WML バイナリ符号化は効果的ではないことが確かめられ、一般的に用いられている gzip などのデータ圧縮方式の採用を考慮する必要がある。

本評価では gzip の WAP クライアントでの処理を考慮していない。gzip を採用する際には、WAP クライアントにおける処理量、処理時間、使用メモリ量などを考慮する必要がある。本評価結果は、WAP クライアントで gzip をコンテンツの圧縮方法として採用することができたと仮定した場合を述べており、この仮定の下では、gzip を採用することによる圧縮率の効果が高いことを示した。

4.2 WSP ヘッダのコンパクト符号化

WSP ヘッダのコンパクト符号化については、WSP で規定されているデフォルトのヘッダコードページを用いた。測定に用いた WAP 試作システムでは、WSP-CONNECT メソッドのヘッダ圧縮の処理時間として約 10 ミリ秒程度の時間を要し、185 バイトから 50 バイトに 135 バイト圧縮された。もし、ネットワークの速度が高速である場合には、この圧縮は効果がないものになる。たとえば、ネットワーク速度が 384 kbps である場合の 135 バイトデータの伝送遅延は約 3 ミリ

秒であり、ヘッダ圧縮を行わずにそのままデータ転送を行った方が全体の転送時間という点においては効率が良いことになる。しかし、もしネットワーク速度が 9,600 bps である場合には、その伝送遅延は約 112 ミリ秒であり、その場合には WSP ヘッダ圧縮を行ったほうが全体の転送時間という点においては効率が良いことになる。

以上のことから、WSP ヘッダコンパクト符号化は、ヘッダサイズを減少させるためには役に立つが、IMT-2000 ネットワークにおいては、全体の転送時間という点に着目すると必ずしもその効果が高いとはいえないことを示した。

5. WAP プロトコルの性能評価

2章で述べたように WAP は通信プロトコルからコンテンツ記述言語まで幅広い仕様を規定しているため、システム全体として見たスループットを理論的に定量評価することは難しい。そこで、WAP プロトコルと同じ機能を提供するインターネットプロトコルである HTTP/TCP との比較によって、WAP プロトコルの性能評価を試みた。評価実験では、無線ネットワークに IMT-2000 (W-CDMA) を用いることを想定して無線シミュレータを介させた擬似無線環境を構築し、WAP プロトコルと HTTP/TCP に関して、リクエスト送信開始からレスポンス受信終了までの時間(以下、応答時間と呼ぶ)を測定し、比較評価を行った。

5.1 WAP プロトコルと TCP の機能比較

WAP プロトコルと TCP について、トランスポート層相当の機能比較を表 1 に示す。TCP のコネクションは WAP における WSP のセッションが同等の機能

表 1 WAP プロトコルと TCP の機能比較

Table 1 Functional comparison of WAP protocol and TCP.

項目	WAPプロトコル	TCP
コネクション(セッション)確立手順	コネクとコネクトリプライによるWSPセッション確立	3ウェイハンドシェイクによるコネクション確立
順序制御	WTPのパケットシーケンス番号	TCPのパケットシーケンス番号
フロー制御	WTPの最大グループサイズ	ウィンドウサイズの更新
再送制御	WTPの選択式再送	Go-Back-N方式、早期再送・早期回復方式
誤り検出	ベアラ依存	チェックサム

を提供するものと考えられる。TCPはコネクション型のストリーム転送を提供するが、WAPはWSPのセッション管理のもと、非同期的に要求可能なトランザクション型のメッセージ転送を提供する。TCPのコネクション確立シーケンスは3ウェイハンドシェイクの手順に従うが、WAPではWSPのコネクトメッセージとその応答でセッションを確立する。また、WAPプロトコルの特徴として、非同期的なトランザクション要求が可能であるため、コネクトメッセージの応答を待たずにリクエストメッセージを送信可能である。これによって、WAPプロトコルではセッション確立手順のための遅延時間を短縮することができる。TCPではセグメントの順序制御を行うが、WAPではWTPにおけるパケットシーケンス番号を用いて順序制御を行う。TCPではフロー制御は受信側から受信可能なウィンドウサイズを通知、更新することによって実現している。一方WAPは画面の小さなモバイル端末を主な対象として開発されたプロトコルであり、単一パケットの転送が標準でサポートされている。これは、たとえばネットワークにイーサネットを用いる場合には、単一パケットの最大転送サイズ(MTUサイズ)が1,500バイトであることを意味する。その場合にはフロー制御のための特別な手順は必要としない。次世代のモバイルインターネットサービスとして、動画や音楽の配信を想定した場合には、数10k~数100kバイトの大容量データ転送のニーズが想定される。WAPプロトコルにおいて大容量データ転送をサポートするために、データの分割・再組み立て機能(SAR: Segmentation And Reassembly)が、WTPのオプション機能として規定されている。SARの通信パラメータの1つである最大グループサイズを用いてフロー制御を行うことができる。最大グループサイズはWAPゲートウェイがWAPクライアントからACKを待たずに連続的に送信できるパケット数である。これを用いてパケットの流量を制限できる。ただし、この値は通信開始時にWAPゲートウェイからWAPクライアントへ通知されて決まり、通信中に動的に変えることはできないので、TCPのウィンドウ制御のような柔軟性はない。TCPの再送制御は、Go-BACK-N方式を基本に早期再送・早期回復方式(Fast Retransmit/Fast Recovery)を加えたものであるが、WAPではWTPにおけるパケットシーケンス番号を用いて欠落パケットを検出し、欠落パケットのみを再送する選択式再送機能を規定している。本機能は、WAPクライアントがパケット受信のACKを返すときに正しく受信できなかったパケット番号をNACK(Negative ACK)として通知

表2 無線シミュレータのパラメータ
Table 2 Parameters on wireless simulator.

パラメータ	値
ベアラ速度(上り)	64Kbps
ベアラ速度(下り)	384Kbps, 64Kbps
エラー率	5% (FECフレーム毎)
レイヤ2	RLCプロトコル ¹¹⁾
ベアラMTU	1500バイト

することにより実現している。誤り検出はTCPではヘッダにチェックサムがあるが、WAPではWDPのヘッダチェックサムを用いて誤り検出を行うが、それをWTP層に通知して再送制御を行うことが可能である。

5.2 WAPプロトコルとHTTP/TCPの性能評価

本節では、図1に示すWAP試作システムを用いてWAPプロトコルとHTTP/TCPの性能評価を行った結果を示す。HTTP/TCPについては、図1におけるWAP1.1のプロトコル部分を、HTTP/TCPに置き換えて実験した。WAPクライアントとWAPゲートウェイの間では、現在IETFで議論されている無線向けTCP⁸⁾を採用した。本実験では、初期ウィンドウサイズ拡張⁹⁾により初期ウィンドウサイズを2とし、受信側バッファサイズにはネットワークの帯域遅延積に基づいて32Kバイトを採用し、さらにSACK(Selective Acknowledgement)機能¹⁰⁾を用いている。なお、WAPでは、TCPと同様に最大グループサイズを32Kバイトとしている。

性能評価で用いた無線シミュレータの各パラメータの値を表2に示す。無線シミュレータは、ベアラのエラー率、遅延などの各種パラメータの値の設定が可能である。本研究では、ベアラにIMT-2000(W-CDMA)を用いることを想定しており、本性能評価における各パラメータの値は、IMT-2000サービス(FOMA)で得られる値に基づいて設定した。ここで説明しているベアラのエラー率は、W-CDMAの1FECフレームごとのエラー率を示している。つまりこのエラー率は、無線通信時のフェージング現象などにより発生したビット誤りを、FECフレームごとにエラー訂正を行い、その結果、エラー訂正が行えなかったFECフレームの比率を示している。したがって、ビットのバースト的な誤りが発生し、その誤り率が高い場合には、FECにより誤り訂正が行えず、フレームのエラーとして上位層に通知されることになる。我々は、このエラー率を、IMT-2000サービス(FOMA)上での測定を基に

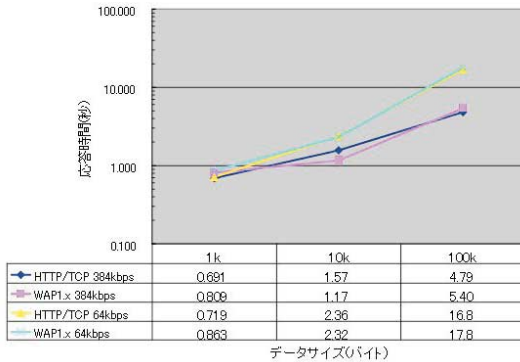


図6 WAP1.xとHTTP/TCPの応答時間の比較

Fig. 6 Comparison of response time between WAP1.x and HTTP/TCP.

導出した．WAPクライアントからWAPゲートウェイまでのラウンドトリップ時間(RTT: Round Trip Time)は350ミリ秒から400ミリ秒程度であった．

本測定では、3種類(1K, 10K, 100Kバイト)のサイズのコンテンツを用意した．1Kバイトのコンテンツは、HTMLなどのテキストデータのブラウジングを想定しており、WAPおよびHTTP/TCPでは、1パケットに収まるデータサイズ(MTU=1,500バイトの場合)である．また、100Kバイトのコンテンツは、W-CDMAなどの高速無線ネットワーク上での、MPEG4データ、Javaデータなどのダウンロードを想定しており、WAPにおいてはWTPの分割再組み立て(以下、SAR: Segmentation and Reassemblyとする)機能を用いることにより1パケットのサイズを超えるデータの転送が可能となる．

表2に示すパラメータを基に測定を行った結果を図6に示す．なお、図6は縦軸が対数スケールになっている．図6に示すようにIMT-2000ネットワークでは、当初考えられた無線ネットワークにおけるTCPの性能低下は見られず、WAPとHTTP/TCPはほぼ同じ性能が得られる．また、100Kバイトデータ送信時に、ペアラ速度384kbpsで約160kbps、64kbpsで約50kbpsのスループットが得られている．

5.3 評価結果の考察

WAPとHTTP/TCPのトランスポート特性を比較し、図6の測定結果について考察する．

1KバイトではHTTP/TCPの性能が良い．1Kバイトは1パケットに収まるデータサイズであるので、TCPのスロースタートなどのウィンドウ制御が性能に影響しないことが原因である．WAPの性能低下の原因は、WAPゲートウェイにおけるプロトコル変換のオーバーヘッドであると考えられる．しかしこの差は無

視できるくらいに小さいため、プロトコル変換のオーバーヘッドは実質無視できる範囲である．

10KバイトではWAPの性能が良い．これは、両プロトコルのフロー制御アルゴリズムの違いが原因となっている．WTPでは10Kバイトの転送に7パケットを必要とするが、WAPゲートウェイは、最大グループサイズの範囲内でその7パケットを一度に送信することが可能である．しかし、TCPでは、スロースタートアルゴリズムを採用するため、初期ウィンドウサイズ2(これは、初期ウィンドウサイズ拡張が採用されている場合である)から、ネットワークの帯域幅に合わせて徐々にウィンドウサイズを拡張している．したがってTCPでは、TCPの輻輳ウィンドウサイズが十分に大きくならないうちに通信が終了してしまっているのに対し、WAPはTCPのようなスロースタートの仕組みを持たないため、受信側バッファサイズの範囲内で一度にパケットを送信しているためTCPと比較して性能が良い．しかし、TCPでは、初期ウィンドウサイズの値を4にすることも定義されており¹²⁾、これを採用することで両プロトコルの差異は小さくなるものと予想できる．

輻輳ウィンドウサイズがネットワークの帯域遅延積を超えた場合、HTTP/TCPの性能が優位になる．100Kバイトでは、HTTP/TCPの性能が良い．これは100Kバイト程度のサイズになると、TCPの輻輳ウィンドウサイズ十分に大きくなってから通信が終了するので、TCPの性能が十分に引き出せているためである．WTPの性能がHTTP/TCPと比較して低かったその理由として、WTPのフロー制御方式が原因となっていることが考えられる．TCPでは、ピギーバック方式によりデータの受信中に必要に応じてACKを返信しているのに対し、WTPでは、最大グループサイズに基づいてパケットを一度に送信したあと、ACKが返信されてくる間に待ち時間が生じるためである．この待ち時間は無線ネットワークのような遅延の大きいネットワークの場合、性能低下の原因となる．この様子を図7に示す．

5.2節で説明したように、本測定では、IMT-2000サービス(FOMA)から得られたネットワーク特性を測定のパラメータとして用いている．このことと以上の測定結果から、IMT-2000ネットワークにおいては、インターネットで用いられているプロトコルを基本として、無線向けTCPのように無線ネットワークの特性に合わせて最適化したトランスポートプロトコルを採用することにより、WAP1.1と同等か場合によってはそれ以上の性能が得られることが確認できた．その

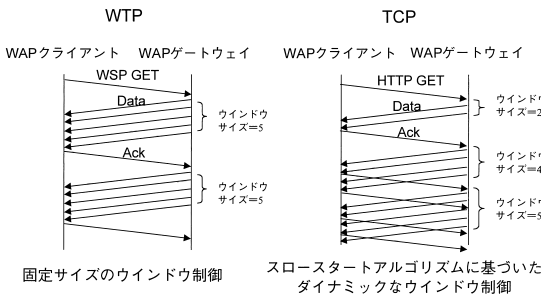


図 7 WTP と TCP のフロー制御方式の比較 (概略)

Fig. 7 Comparison between WTP and TCP flow control (outline).

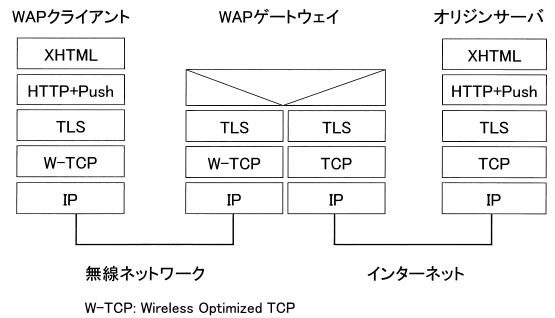
理由として、WAP1.1は、フロー制御のウィンドウサイズを動的に変化させる機能を持ち合わせていないなど、本来低速なネットワーク向けに設計されたプロトコルであり、それに対して TCP は、ウィンドウサイズを動的に変化させることができるフロー制御機能と輻輳制御機能を備えているため、高速ネットワークへの柔軟な対応が可能である。

6. 次世代モバイルインターネットアーキテクチャの提案

4 章および 5 章で考察したように、WAP プロトコルは第 2 世代移動通信ネットワークで小さなコンテンツを配信する場合には有効であるが、より高速でより大きなコンテンツを配信することが予想される IMT-2000 ネットワークでは、HTTP/TCP でも十分な性能を得ることができる。WAP プロトコルに機能面、性能面で明らかな優位性がない限り、インターネットのセグメント化を避けるためにも、移動通信ネットワークにおいても標準的なインターネットプロトコルを採用すべきである。

上記の考察に基づいて、我々は IMT-2000 ネットワークに適した次世代モバイルインターネットアーキテクチャを提案する¹³⁾。

提案するアーキテクチャは、TCP、TLS、HTTP、Push、XHTML から構成される (図 8)。TCP は 5 章で述べた無線ネットワークに最適化された TCP⁸⁾ (W-TCP) である。トランスポート層セキュリティとして TLS を採用することにより、WAP プロトコルでは完全には実現できなかったエンド・エンドセキュリティが可能となる。プッシュはモバイル環境で有効な機能であるため、WSP のプッシュ機能と同等の機能を HTTP 上で実現する¹⁴⁾。この場合、WAP ゲートウェイが HTTP のクライアントとなり、WAP クライアントが HTTP サーバとして動作する。WAP ゲートウェイ



W-TCP: Wireless Optimized TCP

図 8 次世代モバイルインターネットアーキテクチャの提案
Fig. 8 Proposed Next-generation mobile Internet architecture.

とオリジンサーバの間はすでに WAP フォーラムで規定している PAP (Push Access Protocol) を使用する。マークアップ言語としては、次世代の標準マークアップ言語である XHTML¹⁵⁾を提案する。XHTML を採用することにより、XHTML のモジュール化機能を利用したモバイル端末向けのサブセット定義、XML の拡張性を利用した機能拡張などが可能となる。

我々は本アーキテクチャを WAP フォーラムに提案し、次世代 WAP (WAP2.0) として採用された。本アーキテクチャは次世代モバイルインターネットの標準的なアーキテクチャとなることが期待されている。

7. ま と め

IMT-2000 (W-CDMA) の無線環境を疑似する無線シミュレータを利用して、WAP プロトコルとインターネットプロトコル (HTTP/TCP) の性能を測定し、比較評価を行った。その結果、両プロトコルはほぼ同等の性能を持ち、特に、IMT-2000 ネットワークでマルチメディアなどの大容量コンテンツを配信する場合、HTTP/TCP などのインターネットプロトコルでも十分な性能が得られることを明らかにした。

本評価結果に基づいて、IMT-2000 ネットワークに適した次世代モバイルインターネットアーキテクチャを提案した。本提案は、WAP フォーラムで次世代 WAP (WAP2.0) として採用され、次世代モバイルインターネットの標準的なアーキテクチャとなることが期待されている。

今後は、第 4 世代移動通信ネットワークなどのより高速な無線ネットワークを対象としたインターネットプロトコル (TCP など) の最適化、WAP プッシュなどを応用した新しいモバイルインターネット向けアプリケーションなどについて研究を進める予定である。

参考文献

- 1) WAP Forum: WAP Forum Specifications. Available from <http://www.wapforum.org/>.
- 2) Ueno, H., et al.: Performance evaluation on WAP and Internet protocol over 3G wireless networks, *2nd IFIP-TC6 Networking Conference* (May 2002).
- 3) Dierks, T. and Allen, C.: The TLS Protocol Version 1.0, RFC 2246 (Jan. 1999).
- 4) Fielding, R., et al.: Hypertext Transfer Protocol-HTTP/1.1, RFC 2616 (June 1999).
- 5) Metter, M., et al.: WAP enabling existing HTML applications, *Proc. 1st Australasian User Interface Conference* (Jan. 2000).
- 6) Gordon, S., et al.: Analyzing the WAP Class 2 Wireless Transaction Protocol Using Coloured Petri Nets, *Proc. 8th International Aerospace Congress incorporating the 12th National Space Engineering Symposium* (Sep. 1999).
- 7) Kunz, T., et al.: WAP traffic: Description and comparison to WWW traffic, *Proc. 3rd ACM International Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM 2000)* (Aug. 2000).
- 8) Inamura, H., et al.: TCP over 2.5G and 3G Wireless Networks, Internet-Draft (Oct. 2001).
- 9) Allman, M., Paxson, V. and Stevens, W.: TCP Congestion Control, RFC 2581 (Apr. 1999).
- 10) Mathis, M., et al.: TCP Selective Acknowledgment Options, RFC 2018 (Oct. 1996).
- 11) 3rd Generation Partnership Project (3GPP): RLC Protocol Specification. Available from <http://www.3gpp.org> (Sep. 2001).
- 12) Allman, M., Floyd, S. and Partridge, C.: Increasing TCP's Initial Window, RFC 2414 (Sep. 1998).
- 13) Ishikawa, N., et al.: Consideration on the Mobile Internet Architecture for High-Speed Wireless Networks, *INET 2001* (June 2001).
- 14) 上野英俊ほか: 移動通信におけるプッシュプロトコルの提案と評価, DICOMO 2001 シンポジウム (June 2001).
- 15) Pemberton, S., et al.: XHTML 1.0: The Extensible HyperText Markup Language, W3C Recommendation. Available from <http://www.w3.org/> (Jan. 2000).

(平成 13 年 11 月 9 日受付)

(平成 14 年 9 月 5 日採録)



石川 憲洋 (正会員)

1978 年京都大学工学部情報工学科卒業。1980 年同大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年, 日本電信電話公社 (現 NTT) 入社。現在, NTT ドコモマルチメディア研究所に所属。ATM, インターネットプロトコル, マルチメディア通信, モバイルインターネット等の研究開発に従事。電子情報通信学会会員。



上野 英俊 (正会員)

1997 年筑波大学第三学群情報学類卒業。1999 年同大学大学院工学研究科電子・情報工学専攻修士課程単位取得退学。同年より, NTT ドコモマルチメディア研究所勤務。モバイルインターネットアプリケーションとプロトコルの研究に従事。電子情報通信学会会員。



鈴木 偉元

1989 年千葉大学工学部機械工学科卒業。1991 年同大学大学院修士課程修了。同年 NTT 入社。以来, ビデオオンデマンドシステムの研究開発に従事。現在, NTT ドコモマルチメディア研究所・主任研究員。モバイルインターネットの研究開発に従事。電子情報通信学会会員。



角野 宏光

1997 年名古屋大学大学院工学研究科修士課程修了。同年より, NTT ドコモマルチメディア研究所所属。以来, モバイル向け通信プロトコル, ゲートウェイの研究開発に従事。電子情報通信学会会員。



高橋 修 (正会員)

1975 年北海道大学大学院情報工学専攻修士課程修了。同年, 日本電信電話公社入社。現在, NTT ドコモマルチメディア研究所主幹研究員。主としてモバイルマルチメディア通信サービスとプロトコルの研究開発に従事。電子情報通信学会会員。