

## 無線エージェントと WWW プロキシ連携による適応的画質制御

藤野 信次<sup>†</sup> 徳世 雅永<sup>†</sup> 飯田 一朗<sup>†</sup>

本論文ではアプリケーションとネットワークが連携するモデルに基づき、モバイルインターネット接続向けに WWW プロキシが無線エージェントと呼ぶプロセスと連携して画質を制御する方式について提案している。無線エージェントにより回線の実効伝送速度を測定し、それに応じて画質を劣化させることにより、アクセス速度の向上をはかる。ここでは、まず無線インターネット接続の問題とそれを解決するための無線エージェントアーキテクチャについて述べる。次に JPEG 画像の特性を利用した画質制御の原理と提案する無線エージェント-プロキシ連携について述べる。最後に製作したプロトタイプシステムとその評価結果について述べる。

### Adaptive Picture Quality Control by WWW Proxy Server Cooperating with Radio Agent

Nobutsugu Fujino,<sup>†</sup> Masanaga Tokuyo<sup>†</sup> and Ichiro Iida<sup>†</sup>

This paper proposes a method of picture quality control by the WWW proxy server cooperating with a radio agent (RA) for the mobile Internet access. The proxy server degrades picture quality on the Web in order to improve the access speed according to the efficient speed measured by the RA. This is based on a model where applications and networks collaborates, and allows it to make a balance between the Web access speed and the picture quality. First, we describe the problems in the mobile Internet access as well as the RA that solves them. Then we discuss the picture quality control in which characteristics of JPEG images are used. Last, we represent the prototype system we developed and show the evaluation result.

#### 1. はじめに

近年、デジタル携帯電話(PDC)や PHS (Personal Handy phone System)の爆発的な普及にともなうモバイル環境でのインターネット接続が増加している。しかし無線回線を使用したインターネット接続では、無線回線特有のフェージングやシャドウイングといった現象によって、突然回線が切断されたり、極端に伝送効率が低下するなどの問題が発生する。これらの問題を解決するために、我々は無線エージェント(RA)と呼ぶ一種のプロキシの導入を提案している<sup>1)</sup>。

RA (Radio Agent)の重要な機能として上位アプリケーションや下位の無線回線に適応した伝送制御がある。これは RA を介して上位のアプリケーションと下位の無線回線をダイナミックに協調連携させることによりシステム全体の性能、効率の向上を図るという趣旨で

ある。本論文ではこの概念に基づき、RA と WWW (World Wide Web)プロキシサーバが動的に連携するモデルを提案する。

一般に有線網と比較して伝送速度が遅い無線網を使用してインターネットの主要アプリケーションである WWW アクセスを行うと、画像データの転送に時間がかかり問題となる。しかも実効伝送速度は環境の影響を受けるため、絶えず変化する。提案する方式は WWW プロキシにより画質を劣化させることにより転送時間の短縮をはかる。この時、RA から得た実効回線速度に応じて画質制御することにより転送時間と画質のバランスをとる。

ここでは、まず無線インターネット接続の問題とそれを解決する無線エージェントについて述べる。次に JPEG 画像の特性を利用した画質制御の原理と提案する連携モデルについて述べる。最後に試作したシステムとその評価について述べる。

#### 2. 無線エージェント

<sup>†</sup> 富士通研究所 ネットメディア研究センター  
NetMedia Laboratory, Fujitsu Laboratories Ltd.

## 2. 1 無線エージェントアーキテクチャ

一般に無線インターネット接続、特にポイント・ツー・ポイント接続では以下のような問題がある。

- (1) 接続中のセッション切断
- (2) 初期接続率の悪化
- (3) 回線状態悪化時の伝送効率の極端な低下
- (4) データ伝送速度が低い
- (5) 通信コストが高い

このうち(1)から(3)は主に(a)無線特有のフェージング、シャドウイング、ハンドオーバーによる瞬断およびバースト誤りと(b)TCP/IP およびPPPの制御との相互作用による<sup>2)</sup>。また(4)と(5)は(c)周波数資源の制約による。たとえIMT-2000のような広帯域な無線システムが登場したとしても、帯域とコストはトレードオフの関係にあるため、全ての人が潤沢な帯域を使用できるわけではない。従って限られた帯域を有効に利用するため、伝送効率の向上が重要である。

我々はこれらの問題を解決するために無線エージェント(RA)と呼ぶプロセスの導入を提案し、既に試作システムによる実証を行っている<sup>3)</sup>。

図1にRAによる通信モデルを示す。RAは移動計算機(クライアント)と有線ネットワーク(サーバー)上に各々常駐し、アプリケーションと回線の間で置かれる。RAはローカルのアプリケーションに対してはリモートのアプリケーションの代理として動作し、データの授受を行う。例えばWWWブラウザに対しては、RAはプロキシ・サーバとして設定される。

TCP/IPはRAで終端され、RA間では無線回線に特化したプロトコルを適用する。ローカルのアプリケーションとRA間の通信はTCP/IPで行われ、無線回線の影響は受けないのでセッション切断は起こらない。無線区間を挟む2つのRAは無線特有の問題をRA間で解決し、上位のアプリケーションから隠蔽する。

一方のRAはアプリケーションから受信したデータをバッファし、専用プロトコルで対向するRAに送信する。対向するRAはそのデータをバッファしてそのクライアント

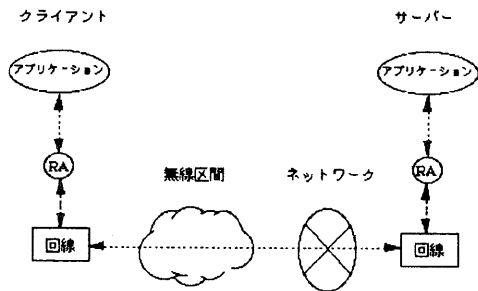


図1 RAによる通信モデル

まま上位のアプリケーションに送信する。従ってRA間はIPを通過しないがアプリケーションレベルでは透過となる。ゆえにクライアントのアプリケーションに対してRAをローカル・プロキシまたはローカル・サーバーとして設定する以外は従来のTCP/IPアプリケーションに対して何ら影響を与えない。

## 2. 2 無線エージェントの機能

RAは前章で述べた問題を解決するために以下の機能を有する。

- (1) プロトコル終端
- (2) 自動再接続によるセッション維持
- (3) アイドル切断
- (4) 上位アプリ/回線状態に適応した伝送制御
- (5) 他エージェントとの連携

(1)はアプリケーションとの通信手段であるTCP/IPを終端して無線用のプロトコルを適用する機能である。無線区間のプロトコルは、PDC(Personal Digital Cellular phone)や、PIAFS(PHS Internet Access Forum Standard)を使用したPHSのデータ通信の様に無線リンク層でデータ誤りを補償する場合には、誤り制御の競合を避けるため無手順に近いものを適用する。

これによりTCPの再送制御と無線リンク層の誤り制御との競合による極端な伝送効率の低下を防止する。これは衛星通信のように遅延が大きいシステムに対して特に有効である。また、初期接続所要時間を短縮し、この間の回線悪化による初期接続率の低下を防ぐ。これは(2)の自動再接続を効果的に機能させる。

(2)は回線状態の悪化にともなう通信中回線切断や発呼時の接続失敗に対して自動的に再接続する機能である。この時、上位アプリケーションに対してはそれを通知しない。一般にWWWなどのアプリケーションは通信タイムアウト時間が比較的に長いので、その時間内に再接続が完了すればセッションを維持することができる。これにより接続中のセッション切断と初期接続率の低下を防ぐ。

(3)は回線接続中に通信データが無い状態が続くと回線を切断する機能である。これにより通信コストを低減する。一般にWWWアクセスのようなインタラクティブな通信では回線保留時間に対するデータ保留時間は数分の1と小さいためコスト削減効果は大きい。この効果は(1)による接続所要時間の短縮により、より大きくなる<sup>4)</sup>。

(4)はアプリケーションやデータの種別に応じて無線回線の伝送方法を制御したり、逆に無線回線の状態

に応じて上位の伝送方法を適応的に制御する機能である。これはアプリケーションとネットワークが連携することによりシステムを最適化するという概念に基づき、RA が上位アプリケーションと下位の無線回線の橋渡しをすることを意味する。

これにより、限られた帯域という制約の中でユーザの要求を満たしつつ伝送効率の向上をはかる。ここではその一例として無線回線速度に応じた WWW プロキシによる画質変換について次章で述べる。

(5)はより一層の機能向上とサービスの拡張をはかるため、他のエージェントと連携する機能である。そのために RA は他のエージェントと通信するための共通インターフェース(エージェント・インターフェース)を持つ。次章で述べるプロキシ連携は、プロキシはエージェントとして実装されるので、一種のエージェント連携でもある。

### 3. プロキシ連携

ここではまず RA-プロキシ連携の基礎となる WWW プロキシによる画質制御の原理について述べ、次に RA-プロキシ連携について述べる。

#### 3.1 WWW プロキシによる画質制御

無線回線のような狭帯域の回線を経由した WWW アクセスでは画像伝送が特に問題になる。一般に Web ページではデータサイズが大きい画像データが多用されるからである。一方、画像データは通常、既に圧縮がかかっているため、圧縮によりデータサイズを小さくすることはあまり期待できない。従って狭帯域回線に対しては画質を落として情報量を減らすしかない。

図2に WWW プロキシによる画質制御の原理を示す。WWW プロキシ(Proxy Server)を Proxy Agent と呼ぶエージェントプロセスで構成し、ここで画像データの変換を行う。

画質制御は JPEG 画像の quality factor(q 値)を変更することにより行う。図3に画質制御(劣化)した画像とそのデータサイズを示す。ここで注目すべき点は

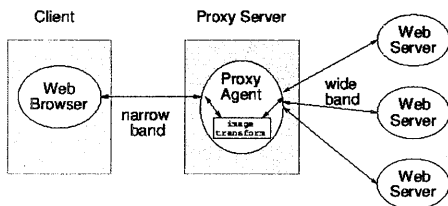


図2 WWW プロキシによる画質制御

$q=30$  程度では、視覚上さほど劣化を感じないことである。つまり、この画像についてはデータサイズをおよそ 1/2 に縮小するような画質劣化を行ってもあまり問題にならない。一方、 $q=10$  ではブロックノイズが目立ち、オリジナル画像との差は顕著である。しかし、画像を認識する上では大きな障害とは言えず、データサイズを 1/4 程度に小さくできるメリットとのトレードオフとなる。

本方式では JPEG 画像の特性を利用するため、WWW で一般に使用される GIF 画像は JPEG 画像に変換することになる。一般に GIF は JPEG よりも圧縮率が低い。従って JPEG 画像に変換するだけでデータサイズを減らすことができる。図4に GIF 画像から JPEG 画像への変換例を示す。この例では画質劣化無しにデータサイズは約 1/3 になっている。ただし、JPEG は自然画を対象に設計されているため、モノクロ画像やアニメーション画像のような色数の少ない画像では GIF よりも圧縮率が悪いという問題がある。これに対してはオリジナル画像とのデータサイズの比較を行い、サイズが大きくなる場合にはオリジナル画像を出力する。

#### 3.2 RA-プロキシ連携

無線による WWW アクセスでは、無線回線の伝送速度が低いことと並んで、その値が常に変動することが問題になる。もしも最大伝送速度を前提に画質制御を行うと回線状態が悪い時には期待したアクセス速度が得られない。逆に安全側を取って低い目の伝送速度を前提にすると回線状態が良い時には必要以上に画質を劣化させてしまうことになる。従って、回線状態が良い時には良い画質で、悪い時にもそれなりの画質で閲覧できるように、回線状態に応じて画質を適応的に制御するしくみが必要になる。

図5にこの目的のための RA と WWW プロキシとの連携による画質制御のモデルを示す。ここでは RA により常に実効回線速度を監視し、この情報を Proxy Agent に渡す。この Agent は、例えば実効回線速度が最大回線速度の 1/2 ならば画像データサイズが初期サイズの 1/2 になるように q 値を制御する。

q 値を求める方法としては実際にデータを生成しながら必要な値を求める最適手法を採用した。JPEG 画像ではその特性としてデータサイズから q 値を理論的に求めることは困難だからである。一般的に最適手法のコストは高くなる。これに対しては q 値の取り得る値の範囲を限定することによりデータ生成回数を少なくしてコストを抑えることが可能である。



(a) Original JPEG image; 16,404 bytes



(b) quality = 50; 13,301 bytes



(c) quality = 30; 8,939 bytes



(d) quality = 10; 4,157 bytes

図3 Quality factor と JPEG 画像の画質



(a) GIF Image; 49,131 bytes



(b) Converted JPEG image (q=100); 18,186 bytes

図4 GIF 画像から JPEG 画像への変換

以下にここで用いたアルゴリズムを示す。ここでは  $q=10, 30, 50$  の3通りのみとした。

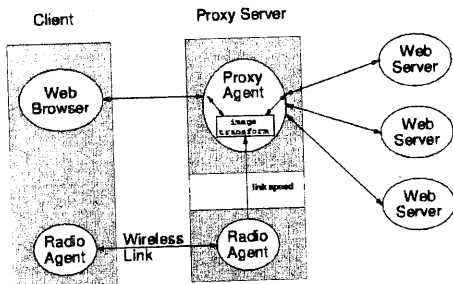


図5 RA-WWW プロキシ連携

1.  $q=30$  の画像を生成する。  $q=30$  の画像サイズを  $s30$  とする。
2.  $s30$  と目標データサイズを比較して、誤差許容範囲に入っていれば、  $q=30$  の画像を採用する。
3. 誤差許容範囲に入っていなければ新たな画像を作成する。このとき、目標データサイズの方が  $s30$  よりも大きければ、  $q$  に 20 を足す。
4. 新たな画像 ( $q=50$ ) を生成する。このときのデータサイズを  $s50$  とする。
5.  $s50$  と目標データサイズを比較して、誤差許容範囲に入っていれば、  $q=50$  の画像を採用する。
6. 誤差許容範囲に入っていなければ、今回生成した画像 ( $q=50$ ) と前回生成した画像 ( $q=30$ ) の各々のデータサイズと目標データサイズとの差を比較し、差の小さい方の画像を採用する。

この場合の画像生成回数は 1 回または 2 回で、平均 1.8 回となる。これは十分実用的な値と思われる。ここで、  $q$  値に対してデータサイズは必ず単調増加になるため、極小点から脱出できないという最適化手法特有の問題は発生しない。

#### 4. プロトタイプ・システム

##### 4.1 システム構成

図 6 に開発したプロトタイプ・システムの構成を示す。プロキシ・エージェントはユーザー毎に生成するものとし、RA から実効伝送速度を取得する。またユーザー毎に割り当てられたパーソナル・エージェント<sup>6)</sup> (PA)とも連携し、ユーザ・プリファレンス情報から目標伝送速度などのパラメータを取得する。ユーザは自分の PA と会話することにより、画質制御の有無、目標伝送速度を設定する。図 7 にその設定画面を示す。

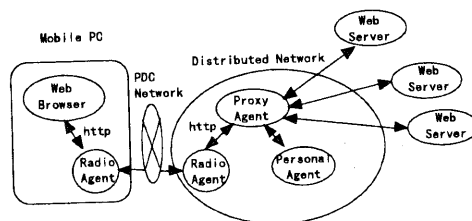


図6 プロトタイプシステムの構成

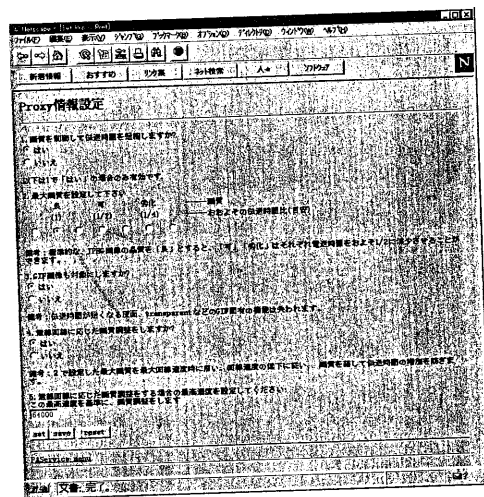


図7 プロキシ連携の設定画面

システムは全て Java で実装し、プロキシサーバは Jigsaw<sup>6)</sup>を使用した。エージェント間通信は JavaRMI (Remote Method Invocation)<sup>7)</sup>を用いた。データ通信手段としては PDC を用い、最大伝送速度は 9.6 kbps である。

##### 4.2 評価

図 8 に画質制御した場合としない場合の原画像データサイズと転送時間の関係を示す。図は数種の GIF 画像を目標伝送速度 17 kbps として閲覧した場合の例である。グラフよりほぼ期待通りの制御が行われていることがわかる。また、画像交換のための処理時間 (コスト) は約 7.5 秒であることが読み取れる。これは 100k バイトの画像を画質制御した場合の転送時間が約 47 秒 (しない場合約 109 秒) であることを考えると、さほど大きくないと言える。

図 9 に回線速度 (最大回線速度で正規化) と転送時間 (回線速度 1 の時の転送時間に対する比) の関係を示す。

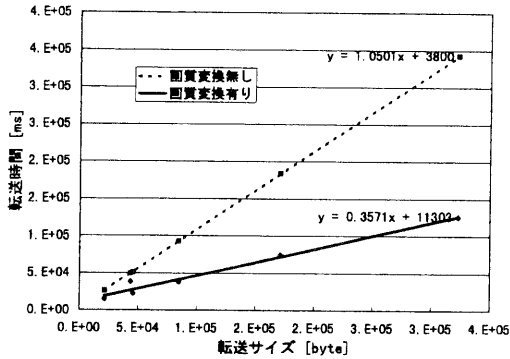


図8 原画像サイズに対する転送時間

図より回線速度が 0.2 程度まではほぼ理想的な特性を示していることがわかる。回線速度が 0.1 の時には転送時間が理想値よりも 2 倍以上となっているのは画質劣化の限界(この場合  $q=10$ )を超えているためと思われる。しかし、回線速度が 1/10 となる確率はさほど大きくないと考えられる。従って、本方式により、かなり安定した転送時間を保証できると言える。

## 5. まとめ

アプリケーションとネットワークが連携するモデルに基づく無線アクセス向けの WWW プロキシによる画質制御方式について述べた。そしてプロトタイプ・システムを実装し、効果的に動作することを実証した。本方式により無線インターネット接続環境でも安定で快適なアクセスが可能となる。

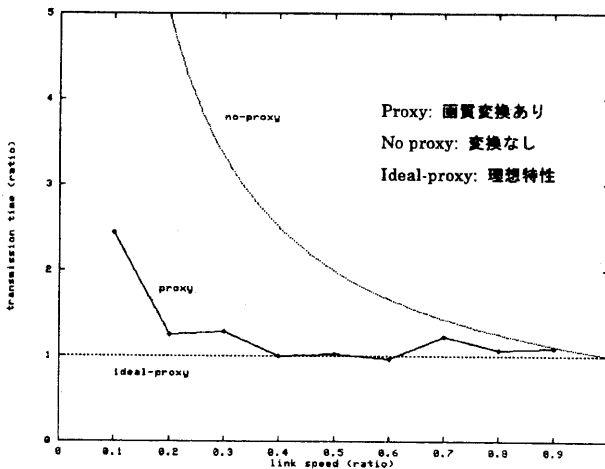


図9 回線速度に対する転送時間

今後はオリジナル画像の選択的な再送方法等を検討し、実システムへの応用を目指したい。

**謝辞** システムの実装と測定に協力頂いた富士通ターミナルシステムズの細野氏と富士通研究所の竹間氏に深く感謝します。

## 参考文献

- 1) 藤野他：エージェントによる移動無線アクセスの一検討，電子情報通信学会研究報告 RCS95-168 (1995)
- 2) T. Imielinski, et al: Mobile Computing, Kluwer Academic Publishers ISBN 0-7923-9697-9 (1996)
- 3) N. Fujino, et al: Mobile Information Service Based on Multi-Agent Architecture, IEICE transactions on Communications, Vol.E80-B, No.10, pp.1401-1406 (1997)
- 4) 藤野他：移動データ通信における擬似パケット通信方式の提案，電子情報通信学会研究報告 RCS93-67 (1993)
- 5) 西ヶ谷他：エージェント指向ネットワークアーキテクチャ D U E T の提案，電子情報通信学会論文誌 Vol.J79-B-I, No.5, pp.216-225 (1996)
- 6) <http://www.w3.org/Jigsaw/>
- 7) <http://java.sun.com/products/jdk/rmi/>