

## スポット無線通信における滞在時間に適応した リソースマネジメント方式

蓑田 佑紀 新熊 亮一 塚本 勝俊 小牧 省三

大阪大学 工学研究科 通信工学専攻  
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2番1号  
06-6879-7717

E-mail: minoda@roms.comm.eng.osaka-u.ac.jp

**あらまし** ユーザ移動型スポット無線通信環境では、ユーザのスポット滞在時間が非常に小さい場合、ユーザが必要とするデータを十分に取得できない可能性がある。さらに、無線通信路での伝送誤り率が非常に高いため、データの品質劣化が問題である。本稿では、新しい無線リソースマネジメント方式を提案する。本リソースマネジメント方式は、ユーザの滞在時間及びユーザ数に応じてタイムスロットと変調方式を動的に割り当てて、異なる滞在時間を持つユーザのそれぞれに対して必要とする全データを伝送しつつ、周波数帯域を有効に利用する。本稿では計算機シミュレーションにより提案方式の有効性を示す。

**キーワード** ホットスポット通信 滞在時間 リソースマネジメント 適応変調 無線エージェント

## Radio Resource Management Scheme Considering Service Time for Hotspot Communications

Yuki MINODA Ryoichi SHINKUMA Katsutoshi TSUKAMOTO Shozo KOMAKI

Department of Communications Engineering,

Faculty of Engineering, Osaka University

2-1 Yamada-oka, Suita, Osaka 565-0871 Japan

06-6879-7717

E-mail: minoda@roms.comm.eng.osaka-u.ac.jp

**Abstract** In this paper, we propose a new type of radio resource management scheme for hotspot communications. The proposed algorithm allocates time slots according to the number of users and selects modulation level according to the service time of each user adaptively. If the service time of a user is long, proposed algorithm assigns more reliable modulation format to the user. If the service time is short, it choose more high speed modulation format. The proposed algorithm can improve the service quality for every user within its available service time. Computer simulation shows the availability of this proposed algorithm.

**Keyword** Hotspot communication system, Service Time, Resource Management, Adaptive Modulation, Radio Agent

## 1. まえがき

「どこへでも計算機を持っていき、自由にネットワークが利用できる」というユビキタス・コンピューティング (Ubiquitous Computing) の概念が近年、注目を集めている。ユビキタス・コンピューティングの実現には、移動端末同士の音声データ通信だけでなく、どこでも移動端末からインターネットにアクセスして WWW(World Wide Web)等のインターネットアプリケーションを利用できる必要がある、無線通信インタフェースを利用したインターネットアクセスは必要不可欠なものである。IEEE 802.11b[1]や Bluetooth[2]等を利用したホットスポット通信サービスは、局所的に存在するサービスエリアでユーザに高速なインターネットアクセスを提供する。例えば、無線インタフェースとして IEEE 802.11b を用いた場合、サービスエリアは最大で 100m 程度であるが、最大 11Mbps の通信が可能であり、WWW 等のインターネットアプリケーションを利用するのに十分な伝送速度を提供できるため、急速に普及している。

このように、ホットスポット通信は無線インターネットアクセスにおけるインタフェースの現状解として非常に有力であるが、無線通信環境では電波の伝搬経路が多数存在することによるマルチパスフェージングにより通信路の状態が劣悪であるので、ビット誤りによるデータの品質が劣化する問題がある。さらに、利用できる周波数帯域が有限であるから、多数のユーザが同時に利用を試みた場合、個々のユーザの使用できる周波数帯域は制限され、実効伝送速度が低下する。

この問題を解決するために、無線リソースを効率的に利用することで、ユーザに対するサービス品質向上を図るリソースマネジメント技術が提案されている [3]-[5]。文献 [3] では即時性の有するデータの QoS を保証するために、周波数帯域の一部を誤りパケットの再送用にあらかじめ予約する方式が提案されている。しかし、この方式はユーザ数があまり変化しない場合には効率よく再送を行うことが可能であるが、スポット環境のようにユーザ数が短時間で変動するような環境では周波数を効率よく利用することが難しい。文献 [4] ではセルラーシステムのようなマルチセル環境において、周波数リソースの最適な割り当てを行うアルゴリズムを提案している。この方式はトラフィックを「音声」「ファイル転送」「ビデオストリーム」にカテゴリ化し、それぞれに要求される QoS の違いに注目してリソースマネジメントを行う。しかし、セルが単一でありユーザのサービス時間が制限されているスポット通信環境にこの方式を適用することはできない。文献 [5] は CDMA(Code Division Multiple Access) や HDR(High Data Rate) のシステムにおいて通信路のキャパシテイ

を最大限に有効活用する方式を提案している。この方式は主にパケット伝送のスケジューリングによって、ストリームデータに対する QoS を保証することを目的としている。しかし、移動通信環境は通信路品質が劣悪であるだけでなく、その状況が刻々変化し、さらに、スポット通信では、ユーザによって電波の受信状態が大きく異なると考えられるため、スケジューリングのみによる周波数利用効率の改善効果は期待できない。

そこで本稿では、ホットスポット通信環境における滞在時間に適応したリソースマネジメントを行う無線エージェント (Radio Agent) [6] として、所要品質と所要データ量の両方を達成する新しいアルゴリズムを提案する。本稿で提案するリソースマネジメント無線エージェントは、ユーザの滞在時間とユーザ数に応じてタイムスロットと変調方式を動的に割り当てて、異なる滞在時間を持つユーザのそれぞれに全データを伝送できるようにしつつ、周波数帯域を有効に利用する。その際、テキストデータと静止画像データのようにそれぞれのビット誤り耐性が異なることも考慮して変調方式の選択を行っている [7]。本稿ではライクフェージング環境下においてテキストと画像を配信するサービスを想定し、計算機シミュレーションによって提案方式の特性を評価し、その有効性を示す。

## 2. リソースマネジメント方式

### 2.1. システム構成

図 1 にホットスポット移動通信システムのモデルを示す。無線基地局 (BS: Base Station) はゲートウェイサーバ (Gateway Server) を介してインターネットに接続している。ユーザがデータを要求すると、ゲートウェイサーバが WWW サーバからデータをダウンロードし、ユーザ端末へのデータ配信を行う。無線エージェントは本稿で提案するアルゴリズムに基づいたリソースマネジメントを行う。無線基地局は無線エージェントによって決定された伝送方式を用いてデータを送信する。ユーザはスポット内を移動しながら、BS の送信したデータを受信する。ユーザがスポットを出ると、強制的にサービスが終了されるため、ユーザは要求データをスポット滞在時間内に受信する必要がある。

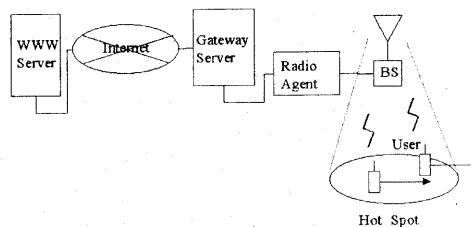


図 1: システムモデル

図2に本方式のシステム構成を示す。ユーザがスポット内に入ると、端末の移動速度推定器(SE)は推定した端末移動速度を滞在時間推定器(STE)に通知する。滞在時間推定器はそれに基づいてユーザの滞在時間を推定し、推定値をユーザマネージャ(UM)に送る。ユーザマネージャは被サービスユーザ数と各ユーザの滞在時間を把握しており、それらを通知されたリソースマネージャがリソース割り当てアルゴリズム(RAA)に基づいてタイムスロットマネージャ(TM)と変調制御部(MC)を駆動してタイムスロットと変調方式を割り当て、送信を行う。端末は受信データを適応復調器(ADEM)で復調し、タイムスロットマネージャにおいて自分あての packetsのみ選択し、パケット処理ユニット(PPU)でアプリケーションのデータへと組み立てる。

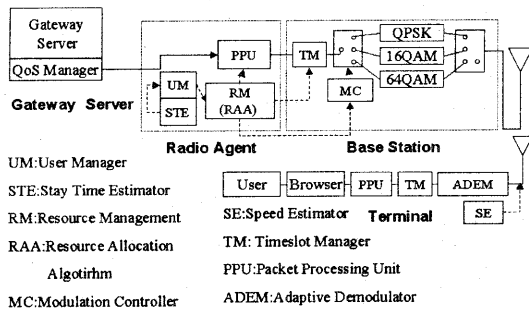


図2: システム構成図

## 2.2. 提案リソースマネジメントアルゴリズム

提案アルゴリズムは伝送方式を決定する際にまず滞在時間の推定を行う。次に、ユーザ数から各ユーザの割り当てタイムスロットが決定されると、以下の式に基づいて変調方式が決定される。

$$S_i \leq \frac{m_i}{M} \times \Delta f \times \{k \times \Delta t_i + (k+2) \times (\Delta T_i - \Delta t_i)\} \quad (i=1, 2, \dots, I) \quad (1)$$

$S_i$ : ユーザ*i*の残りデータ  $m_i$ : ユーザ*i*のスロット数  
 $M$ : TDMフレームの全スロット数  $M = \sum m_i$   
 $\Delta f$ : 全帯域幅  $\Delta T_i$ : ユーザ*i*の残り時間[sec]  
 $\Delta t_i$ :  $k$ を用いる時間  $I$ : スポット内に滞在しているユーザ数  
 $k$ : 多値変調の1シンボルあたりのビット数(2,4)

提案方式では変調方式の決定が式(1)の右辺を  $S_i$  以上でかつ最小にする最小の  $k$  (変調多値数) と最大の  $\Delta t_i$  を1人のユーザ毎に見出すことで行われる。これにより、滞在時間の許す限り信頼性の高い変調方式が選択される。具体的には、提案方式は QPSK, QPSK-16QAM, 16QAM, 16QAM-64QAM, 64QAM の5つの伝送フォーマットのうち1つをユーザの滞在時間の大きさに応じて割り当ててるが、滞在時間が大きいユーザほど QPSK といった低速で信頼性の高い変調方

式が割り当てられる。ただし、テキストデータについては信頼性を確保するために QPSK を固定的に用い、画像データについては提案アルゴリズムを使用する。

## 2.3. アルゴリズムの動作例

ここでは、それぞれのユーザに対してテキストと静止画像データを配信するプッシュ型アプリケーションを想定し、同時にスポット内に存在する最大のユーザ数が2である場合のアルゴリズムの動作を示す。

図3にリソース割り当てアルゴリズムのフローチャートを示す。まず、リソースマネージャがユーザからの通知によりユーザ数の変化を確認すると、総ユーザ数に応じて TDM (Time Division Multiple) スロットの配分を決定する。利用できるスロット数が決定されると、各ユーザの残り滞在時間を取得し、送信するデータがテキストであるか画像であるかの判別を行う。もし送信するデータがテキストであれば変調方式として QPSK を固定的に用い、画像であれば式(1)より変調方式を決定する。変調方式が決定されると、無線基地局は決定された変調方式に基づいて変調を行い、データの送信を行うが、スポット内に存在するユーザ数が変化すると、アルゴリズムは再度実行される。ここで、ユーザ数の変化は被サービスユーザのうち一人でもデータの受信を完了した時あるいはスポットエリア外に出た時、あるいは新たなユーザがスポット内に入った時に生じる。

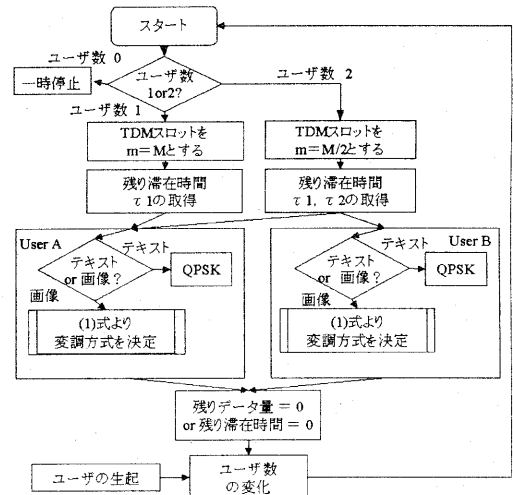


図3: 提案アルゴリズムのフローチャート

図4にこの提案アルゴリズムの動作例を示す。横軸は時間であり、縦軸はそれぞれの変調方式である。時刻  $t_0$  に User1 がスポットに入り滞在時間推定器がユーザの滞在時間の推定を行い、時刻  $t_4$  まで滞在すると

推定できた場合には、無線エージェントが式(1)に基づいて伝送に用いる変調方式を決定し、データの送信を開始する。時刻  $t_1$  までにテキストデータをすべて送信した後、画像データの送信を開始する。時刻  $t_2$  に User2 がスポット内に入ると、User1 の利用可能帯域が減少するので User1 の残り滞在時間と残りデータ量から提案アルゴリズムが再び実行され、User1 については結果として高い変調多値数が選択される。一方、User2 は滞在時間が小さいため全データを受信する前にユーザがスポットから出るため、通信が終了となる。時刻  $t_3$  に User2 のサービスが終了すると、User1 の利用可能帯域が再び増加し、より信頼性の高い 16QAM 変調方式を利用できるようになる。なお、図の斜線部の面積はユーザの受信できるデータ量を表す。

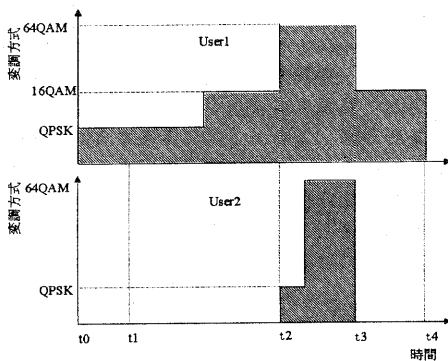


図4：提案アルゴリズムの動作例

### 3. シミュレーションによる評価

#### 3.1. シミュレーション諸元

本稿では、ユーザがスポット滞在時間内に受信できるデータ量について計算機シミュレーションによる評価を行った。表1に本シミュレーションの諸元を示す。本シミュレーションでは、ユーザがスポットに到着する時間間隔は平均値 4.0[sec]の指数分布に従うものとし、ユーザがスポット内に滞在する時間は平均値 3.0[sec]の一樣分布に従うものと仮定した。また、同時に存在する最大ユーザ数を 2 とした。簡単のため、Dynamic TDM スロット割り当ては、ユーザ数が1のとき、そのユーザに全スロットを割り当て、ユーザ数が2のとき、各ユーザに全スロットの半分ずつ割り当てることにした。また、プッシュ型のアプリケーションとして、ユーザにまず 30[kbyte]のテキストデータを送信し、次に 970[kbyte]の静止画像データを送信することとした。また、ホットスポット移動通信環境の伝搬路特性としてライスフェージングチャネルを仮定した。

テキスト、静止画像のそれぞれの受信パケットの許

容ビット誤りスレッシュホールドを  $P_t$ ,  $P_i$  とし、1パケット内のビット誤りが許容ビット誤りスレッシュホールド以下であるパケットを有効受信パケットと定義する。本シミュレーションでは、テキストデータについてビット誤りをまったく許容せず、許容スレッシュホールド  $P_t=0$  とし、画像データについては許容スレッシュホールド  $P_i=1.0 \times 10^{-3}$  とした。

無線通信路	ライスフェージング
周波数帯	2.4GHz
帯域幅	192kHz
ユーザ滞在時間	一樣分布 (平均3.0[sec])
ユーザ生起間隔	指数分布 (平均4.0[sec])
静止画像データサイズ	970kB
テキストデータサイズ	30kB
最大端末移動速度	5[km/h]
同時最大ユーザ数	2
下り多重方式	Dynamic TDM方式
変調方式	QPSK/16QAM/64QAM
テキスト許容BERスレッシュホールド $P_t$	0
画像許容BERスレッシュホールド $P_i$	$1.0 \times 10^{-3}$

表1：シミュレーション諸元

#### 3.2. 平均有効受信データ量特性

##### 3.2.1. 平均 CN 比に対する平均有効受信データ量特性

図5に平均 CN 比に対する平均有効受信データ量特性を示す。ここで、有効受信データ量は各ユーザが滞在時間内に受信できた有効受信パケットの和である。平均 CN 比は CN 比の時間的な平均値であり、全ユーザに対して一樣である。図には提案方式と共に、QPSK, 16QAM, 64QAM を固定的に使用し、タイムスロットを Dynamic TDM で割り当てた場合の特性も示す。

平均 CN 比が 20dB 以上の場合、提案方式の有効受信データ量は 16QAM のみや 64QAM のみを用いた場合と同等となる。例えば、平均 CN 比が 30dB の場合、16QAM のみを用いた場合の平均有効データ量が 741[kB] であるのに対し、提案方式を用いた場合の平均有効データ量は 762[kB] である。また平均 CN 比が 45dB の場合、64QAM のみを用いた場合の平均有効受信データ量は 825[kB] であるのに対し、提案方式を用いた場合には 880[kB] である。提案方式が少し上回っているのは、提案アルゴリズムが各ユーザの滞在時間に適した変調方式を用いることで、ユーザの滞在時間内に効率よくデータを伝送しているからである。

一方、平均 CN 比が 20dB 以下の場合、16QAM のみや 64QAM のみを用いた場合の平均有効受信データ量が大きく劣化するのに対し、提案方式の平均有効受信データ量は、QPSK のみを用いた場合と同程度である。例えば、平均 CN 比が 20[dB] の場合、16QAM のみを用

いた場合の平均有効受信データ量が 231[kB]であり、QPSK のみを用いた場合には 681[kB]であるのに対して、提案方式を用いた場合の平均有効受信データ量は 624[kB]である。これは、平均 CN 比が低いと 16QAM および 64QAM はビット誤りによりデータを誤りなく受信することが難しいが、提案アルゴリズムがテキストは最初に信頼性の高い QPSK を用いて伝送し、次に画像は限られた滞在時間を最大限に活用してなるべく信頼性の高い変調方式を選択するからである。

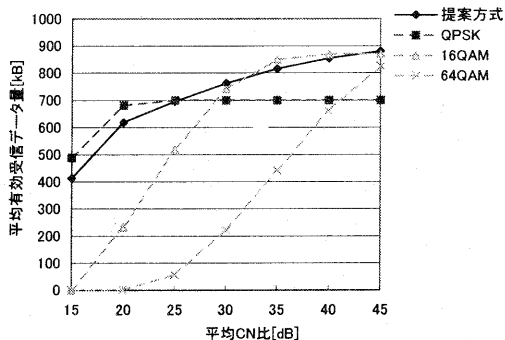


図 5：平均 CN 比に対する平均有効受信データ量特性

### 3.2.2.滞在時間に対する有効受信データ量特性

図 6 に各ユーザの滞在時間に対する有効受信データ量特性を示す。図には提案方式を用いた場合と 16QAM のみを用いた場合の結果を示す。同図は、平均 CN 比が 30[dB]の場合の結果である。図より、提案方式を用いると 16QAM のみを用いた場合より多くのユーザが全データを取得できていることが分かる。例えば、16QAM のみを用いた場合、送信データを完全に取得できるユーザが約 0%であるのに対して、提案方式を用いると全ユーザのうち約 45%が送信データの全てを取得できる。これは、提案方式が滞在時間に適応しながら多値数の低い変調方式と多値数の高い変調方式をうまく組み合わせることで、周波数帯域を効率よく利用して滞在時間の小さいユーザにも大きなデータを送信できるからである。

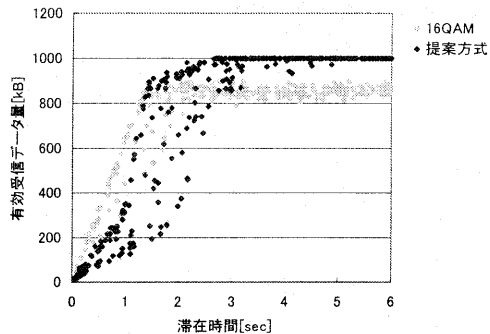


図 6：滞在時間に対する有効受信データ量特性 (CNR=30[dB])

図 7 に提案方式と 16QAM のみを用いた場合の各ユーザの滞在時間に対する有効データ量特性を示す。平均 CN 比が 15[dB]の場合、図より、滞在時間が 3[sec]以上と大きいユーザに対しては、提案方式を用いると 16QAM のみを用いた場合と比べて有効受信データ量を大きく向上できる。これは提案方式がユーザの滞在時間が大きいほど低速で信頼性の高い変調方式を選択することで、劣悪な通信路状況でも誤りなくデータを伝送できるからである。また、滞在時間が 3[sec]以下のユーザに対しては、16QAM のみを用いるとユーザがほとんどデータを受信できていないのに対して、提案方式を用いると、30[kB]のテキストデータを約 100%のユーザに伝送できていることが分かる。これは、提案方式が 30[kB]のテキストデータを信頼性の高い QPSK を用いて伝送しているためであり、提案方式を用いると、約 100%のユーザが少なくともテキストの情報は取得できている。

以上から、提案方式を用いると単一の伝送方式を用いる従来方式に比べ、ユーザが滞在時間内により多くのデータを受信できることを示した。

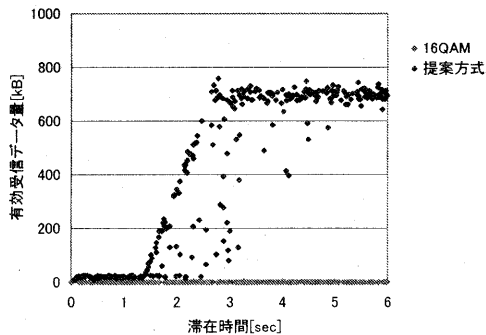


図 7：滞在時間に対する有効受信データ量特性 (CNR=15[dB])

### 3.3. 平均 CN 比に対する受信成功確率

図 8 に平均 CN 比に対するテキストの受信成功確率を示す。ここでは、スポット内に到着した総ユーザ数のうちスポット滞在時間内に有効パケットとして全データを正しく受信できたユーザ数の割合を受信成功確率と定義する。

図 8 が示すように提案方式を用いると、16QAM のみあるいは 64QAM のみを用いた場合と比べて、平均 CN 比によらずテキストデータの受信成功確率が改善される。例えば、平均 CN 比が 30[dB] の場合、16QAM のみを用いた場合は受信成功確率が 0.18 であるのに対して、提案方式を用いた場合では 0.92 であり、信頼性の高い QPSK を固定的に用いた場合と同等である。

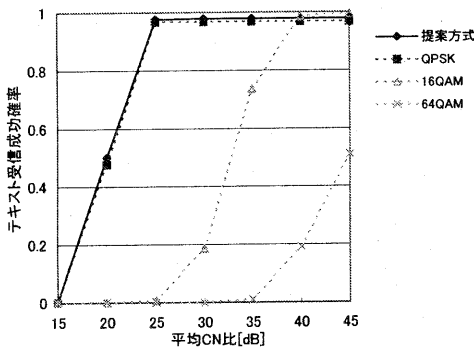


図 8：平均 CN 比に対するテキスト受信成功確率

図 9 に平均 CN 比に対するテキストと静止画像を総合した全データの受信成功確率を示す。図より平均 CN 比が 30dB 以上の場合、提案方式を用いると変調方式を固定的に用いた場合と比べて、データ受信成功確率が改善されていることが分かる。例えば、平均 CN 比 40dB の場合、受信成功確率は 16QAM のみを用いた場合は、0.62 であるのに対して、提案方式を用いた場合は、0.68 である。これは、提案方式が滞在時間の小さいユーザほど周波数利用効率の高い多値変調方式を割り当てるため、CN 比が高い条件下では、滞在時間が小さいユーザも全データを受信できるからである。また、平均 CN 比が 30dB 以下になった場合、提案方式を用いると、信頼性の高い QPSK を固定的に用いた場合と同程度の受信成功確率特性が得られる。これは、提案アルゴリズムが信頼性の高い QPSK を選択するからである。

以上から、提案方式を用いると単一の伝送方式を用いる従来方式に比べて、通信路品質によらず、配信されたデータの全てを受信できるユーザ数を増大することを示した。

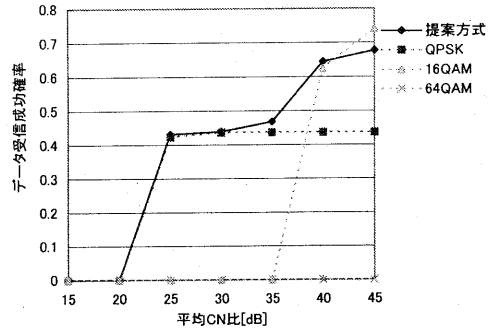


図 9：平均 CN 比に対する全データ受信成功確率

### 4. あとがき

本稿では、ホットスポット通信における短く、かつ変化する滞在時間や無線チャネルの帯域制限という問題を解決するために、タイムスロットと変調方式をユーザの滞在時間とユーザ数に応じて動的に割り当てるリソース管理アルゴリズムの提案を行った。スポット内のユーザに対して情報をプッシュするアプリケーションを想定して計算機シミュレーションを行った結果、平均 CN 比によらず固定的に変調方式を用いた場合に比べ提案方式を用いると全データの受信成功確率を改善できることを示した。今後は最大ユーザ数が 3 以上に増加した場合のアルゴリズムの評価や、ARQ や FEC といった無線環境に必要な誤り制御方式の検討を行う必要がある。

### 参考文献

- [1] 守倉 正博 他, “無線アクセス技術”, 電子情報通信学会誌, vol84, no.2, pp105-111, Feb 2001,
- [2] ハンス ライネ, アンティ ラッペテライネン他, “ホットスポット環境における Bluetooth の性能について”, 電子情報通信学会論文誌 B vol.J84-B, no.4, pp.680-687, 2001年 4月
- [3] Norival R.Figueira and Joseph Pasquale, “Providing Quality of Service for Wireless Links:Wireless/Wired Networks”, IEEE Personal Communications, Oct 1999, p.42-p.51
- [4] Jiann-Liang Chen and Han-chieh CHAO, “Resource Sharing Scheme for Cellular Data service with Differentiated QoS”, IEICE Trans. Commun, vol E83-B, no.11 Nov.2000, p.2545-p.2549
- [5] Matthew Andrews, “Providing Quality of Service over a Shared Wireless Link”, IEEE Communications Magazine, Feb 2001, p.150-p.154
- [6] Ryoichi SHINKUMA, Minoru OKADA and Shozo KOMAKI, “Adaptive Transmission Scheme for Web Prefetching in Wireless Environment”, IEICE TRANS. ELECTRON., VOL.E85-C, NO.3 MARCH 2002 p.485-p.491
- [7] Y. Sakamoto, M. Morimoto, M. Okada and S. Komaki, “A Wireless Multimedia Communication System Using Hierarchical Modulation” IEICE Trans. Commun., vol E81-B, no.12 Dec 1998, p2290-p.2295