

端末間直接通信とセル間通信を考慮した無線多重アクセス方式の基礎的検討

深川 周和 飯田 登 水野 忠則 渡辺 尚
 静岡大学理工学研究科* 三菱電機† 静岡大学情報学部‡

端末間直接通信とセル間通信を考慮したチャンネル効率の良い無線多重アクセスプロトコル DRCP を提案し評価する。DRCP の第一の特長は、セル内の通信において、モバイル端末間で直接送受信できた場合には、この中継用チャンネルを省略することによりチャンネルの効率化を図っていることである。第二の特徴は、セルに跨る通信の場合には、セル内での基地局中継用チャンネルを省くことである。即ち、受信局が送信局と異なるセルにある場合は基地局がセル間を中継する。その際、送信側のセルではセル内通信で基地局が中継に使用するダウンリンクチャンネルを省略し、受信側のセルではセル内通信でモバイル端末送信用のアップリンクチャンネルに基地局が送信することにより、ダウンリンクチャンネルを省略する。シミュレーションによってスループット遅延特性を評価し、ある条件下では従来提案されている DQRUMA よりも優れていることを示す。

キーワード: 多重アクセス, 無線ネットワーク, モバイルコンピューティング, DQRUMA

Fundamental Considerations on Direct and Relay Communication Protocol for Multi-Access Networks

Noritaka Fukagawa Iida Noboru Tadanori Mizuno Takashi Watanabe

Graduate School of
 Science and Engineering,
 Shizuoka University

Mitsubishi
 Electric Co., Ltd

Faculty of Information,
 Shizuoka University

This paper proposes and evaluates a wireless multi-access protocol, Direct and Relay Communication Protocol (DRCP). The first feature of the protocol is that if terminals can communicate directly, packet relay through the base station is omitted. Only if they can not do due to energy limitation or wave propagation restriction, DRCP relays the packet. This strategy enhances throughput and delay. The second feature is that if a packet is sent to a destination out of the current cell, DRCP does not relay it to the current cell. In the sending cell, DRCP omits the downlink channel through which the base station relay the packet. In the receiving cell, the protocol omits the downlink channel so that the base station transmits the relayed packet in the "uplink" channel. Evaluation by simulation shows DRCP dominates DQRUMA in some criteria.

keywords: multi-access, wireless networks, mobile computing, DQRUMA

1 まえがき

無線ネットワークの多重アクセスプロトコルは周波数帯域を最大限に利用し、最大のスループットと

*Noritaka Fukagawa, Graduate School of Industrial Science and Engineering, Shizuoka Univ.

†Noboru Iida, Mitsubishi Electric Co., Ltd.

‡Tadanori Mizuno and Takashi Watanabe, Faculty of Information, Shizuoka Univ.

最小の遅延を実現することが期待される [1]. 無線、通信衛星等ブロードキャストチャンネルに対する多重アクセスプロトコルは従来より様々な研究が行われている [2] ~ [5]. 最近の無線チャンネルを用いた多重アクセス方式に関する研究の例は、分散制御方式では、Fullmer らが、CSMA/CD に加え隠れ端末の問題によるスループットの低下を回避するために送信局と受信局の間で送信権の獲得を確認する FAMA

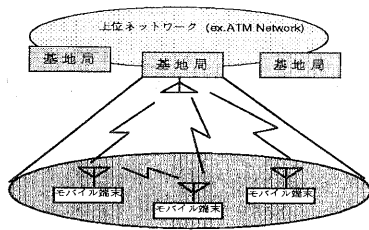


図 1: DRCP プロトコルのネットワークモデル
Fig.1: Network model of DRCP protocol.

[6] と、その改良版として CSMA/CD における伝播遅延と送信タイミングによる衝突を回避するためのジャミングを加えた FAMA-PJ [7] を提案している。一方、集中制御方式では、R.Garces らが FAMA の制御コマンドをスタックアルゴリズム (ツリーアルゴリズムとも呼ばれる。) にて送信する CARMA [8] と、CARMA により送信権を獲得したノードが送信グループを構成する CARMA-NTG [9] を提案している。更に、スロット付アロハ方式またはスタックアルゴリズムによるデータ送信チャネルの予約に加え、一度データ送信チャネルを獲得するとビギンバック要求を用いて予約の継続を行う DQRUMA [10] がある。特にスタックアルゴリズムによりデータスロットの予約を行う DQRUMA は、高性能でしかも高負荷時にも安定したプロトコルである。

本論文では、DQRUMA を改良した多重アクセスプロトコル (DRCP: Direct and Relay Communication Protocol via Wireless Networks) を提案し評価する。DRCP は、図 1 に示すように 1 つのセルに対して 1 つの基地局と多数のモバイル端末 (以下、単に端末とも言う。) で構成する無線ネットワークを想定している。モバイル端末は非同期に発生したメッセージを蓄積し、チャネルアクセスプロトコルに従い固定長パケットに分割して他のモバイル端末へ送信する。送受信に用いる無線チャネルは基地局と多数のモバイル端末で 1 本の共通の周波数帯をタイムスロットに分割し用いる。DQRUMA はモバイル端末から基地局へデータを送信する「アップリンク」と基地局からモバイル端末へデータを同報する「ダウンリンク」の周波数帯を分離することを基本としているのに対し、DRCP はモバイル端末と基地局が 1 つの周波数帯を共用し、モバイル端末間で直接データの送受信することも可能としている。

近年の移動体通信においては、PHS のトランシーバ機能のように、1 つのセル内のモバイル端末間で

直接データを送受信する (直接通信と呼ぶ。) ことが可能になりつつある。また、効率的に周波数を利用するためにセルは小型化の傾向にある。したがって、直接通信が成功する確率 (直接通信成功率と呼ぶ。) は端末間の距離に依存するが、低くないと考えられる。DQRUMA では全ての通信を基地局が中継するが、DRCP は直接通信ができなかった場合に限り基地局がデータの中継し、モバイル端末間で直接正常に通信できた場合には基地局の中継を省略する。この中継用データ送信チャネルを省略することにより、高性能化と低遅延化を図ることが、DRCP の第一の特徴である。

さらに、セルの小型化により、異なるセルのモバイル端末間で通信する確率 (セル外率と呼ぶ。) も高くなる。ここでは、同一セル内の端末間の通信をセル内通信、異なるセルの端末間での通信をセル間通信と呼ぶ。セル間通信の場合、端末が送信したデータを基地局はセル内通信とは別の無線周波数帯もしくは別の通信媒体を使用して送信先の端末があるセルの基地局へ送信すると仮定する。その際、送信側のセルではセル内通信の基地局から端末へデータの中継するダウンリンクのデータ送信チャネルを省略し、受信側のセルでは端末から基地局へデータを送信するアップリンクのデータ送信チャネルへ基地局も送信しダウンリンクチャネルを省略する。即ち、セル間通信でも、各セル内ではセル内通信と同一のプロトコルに従い、双方のセルでセル内通信に用いる基地局中継用チャネルを省くことにより、高スループット低遅延を実現していることが DRCP の第二の特長である。(なお、DQRUMA ではセル間通信は考慮されていない。)

以下、第 2 章で DQRUMA の概要を紹介し、第 3 章で本論文で想定したシステムモデルと DRCP プロトコルの概略仕様について述べる。第 4 章では計算機シミュレーションによる評価を述べ、第 5 章で本論文をまとめる。

2 DQRUMA

ここでは、DRCP の基本となった DQRUMA [10] について概説する。DQRUMA は固定長パケット用に設計された高性能な要求時割当型チャネルアクセスプロトコルである。

図 2 に DQRUMA プロトコルのタイムスロット構成を図示する。DQRUMA はタイムスロットを用い基地局が中継して端末間の通信を行う。端末が送信し基地局が受信するアップリンクの各タイムスロットは要求アクセスチャネル、データ送信チャネル及

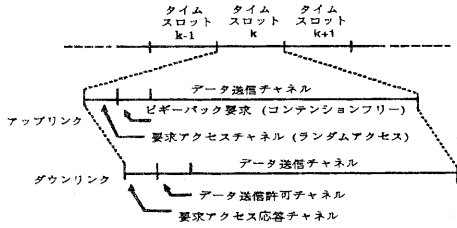


図 2: DQRUMA のタイムスロット構成
Fig.2: Time slot structure of DQRUMA.

び、ピギーバック要求フラグから成る。要求アクセスチャンネルは予約を送信するためのチャンネルである。データ送信チャンネルは、データ送信の際、予約を獲得したユーザがデータ送信を行うためのチャンネルである。このとき引き続きデータ送信を行うのであればピギーバック要求フラグでチャンネルの予約継続を行う。基地局が送信し端末が受信するダウンリンクの各タイムスロットは要求アクセス応答チャンネル、そして、送信許可チャンネル、データ送信チャンネルに分割される。基地局にはセル内の全端末に各々 1 エントリをもつ要求テーブルがあり、テーブル内の各エントリは端末の識別子と送信要求情報（即ち、その端末が送信するデータを未だ保持しているか否か）を含む。DQRUMA プロトコルは要求アクセスフェーズとデータ送信フェーズの 2 フェーズに分けることができる。

最初に、要求アクセスフェーズについて説明する。送信データの発生時、端末は送信要求（内容は端末の識別子）を基地局へアップリンクの要求アクセスチャンネルを用いて送信する。要求アクセスチャンネルはランダムアクセスチャンネルであり、全端末が共有する。したがって、要求アクセスチャンネルでは衝突が発生し得る。この衝突を回避する方法として、スロット付アロハ方式またはバイナリスタックアルゴリズムを用いる。端末からの送信要求を正常に受信したら、基地局はその端末が送信すべきデータをもつことを示すフラグを要求テーブルにセットする。基地局は受信した端末の識別子をダウンリンクの要求アクセス応答チャンネルを用いてブロードキャストすることにより送信要求が受理されたことを通知する。要求の受理が通知されると、端末はダウンリンクのデータ送信許可チャンネルを受信しながら、自端末へのデータ送信チャンネルの割当を待つ。

次にデータ送信フェーズについて説明する。要求されるデータ送信の方針（例えば、ラウンドロビン）

にしたがって、基地局は要求テーブル内の送信要求をもつ端末の 1 つを選び、次のタイムスロットでのデータ送信を許可する。これを伝えるために、ダウンリンクのデータ送信許可チャンネルにより端末の識別子をブロードキャストする。端末がアップリンクのデータ送信チャンネルを用いてデータを送信する際、未だ送信すべきデータが残っているか否かを同一タイムスロット中のピギーバック要求フラグをセットし基地局へ通知する。基地局はピギーバック要求をチェックし、要求テーブルのエントリを更新する。

要求テーブルに送信要求が全く無い場合は、基地局はダウンリンクの送信許可チャンネルを使用して、次のタイムスロットのアップリンクのデータ送信チャンネルを複数の要求アクセスチャンネルへ変更することを通知する。複数の要求アクセスに応答するために、次のダウンリンクの送信チャンネルも同期して複数の要求アクセス応答チャンネルに変換する。

DQRUMA プロトコルでは、衝突は要求アクセスチャンネルにおいてのみ発生し、ピギーバック要求は衝突無しに送信することができる。それ故、ランダムアクセスプロトコルによる要求の衝突は劇的に減少し、重負荷時のシステム性能は大幅に改善される。加えて、基地局がスロット毎にデータを送信する端末を指定することにより、DQRUMA は様々なサービスの要求に応えることができる。

なお、DQRUMA は主にデータ送信チャンネルの要求アクセスに関する方式であり、受付けた要求に対するデータ送信チャンネルの割付方式に関しては具体的な提案をしていない。この点に関しては、山本、町田、池田がさまざまなサービス要求をもつデータや音声などを送信の対象とした方式 [13] を提案している。また、DQRUMA ではセル間通信におけるセル内のプロトコルを考慮していない。

3 DRCP

3.1 モデル

本研究で想定したモデルは次のとおりである。

- (1) 1 つの基地局と多数の端末が 1 つの無線チャンネルを用いて通信するシステムである。
- (2) 無線チャンネルはタイムスロット（以下、単にスロットとも言う。）化する。
- (3) スロットは要求アクセス応答チャンネル、要求アクセスチャンネル、データ送信許可チャンネル、データ送信チャンネル、データ応答チャンネル、及び、基地局中継用データ送信チャンネルの 6 種類より

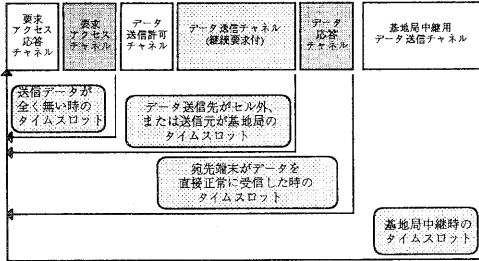


図 3: DRCP のタイムスロット構成
Fig.3 : Time slot structure of DRCP protocol.

- 構成する。ここでは、要求アクセス応答チャンネル、要求アクセスチャンネル、データ送信許可チャンネル、及び、データ応答チャンネルの4つを纏めて制御チャンネルといい、制御チャンネルを用いて送る予約、予約受付等のデータを制御データという。
- (4) スロットを構成するチャンネルのシーケンスは図3タイムスロット構成に示す4種類が存在する。
 - (5) 要求アクセス応答チャンネルは、直前のスロットの要求アクセスチャンネルにより端末が基地局へ送信したデータ送信チャンネルの予約に対して、その結果を基地局が端末へ通知するために使用する。
 - (6) 要求アクセスチャンネルは、端末が基地局へデータ送信チャンネルを予約するために使用する。
 - (7) データ送信許可チャンネルは、直後のデータ送信チャンネルを割当てた端末情報を基地局が通知するために使用する。
 - (8) データ送信チャンネルは、端末（基地局の場合もある。）がデータを送信するために使用する。その際、端末はビジーバック要求フラッグにより、コンテンツフリーでデータ送信チャンネルを再予約することができる。
 - (9) データ応答チャンネルは、送信元の端末から直接送信先の端末がデータを正常に受信した時、その旨基地局（送信元の端末ではないことに注意。）に応答するために使用する。
 - (10) 基地局中継用データ送信チャンネルは、データ応答チャンネルに正常受信が通知されなかった場合に基地局がデータの中継するために使用する。
 - (11) 制御データは、チャンネル識別子と端末識別子等の情報の2つから構成される。端末識別子等の情報はチャンネルの種類に応じて次の内容を表す。

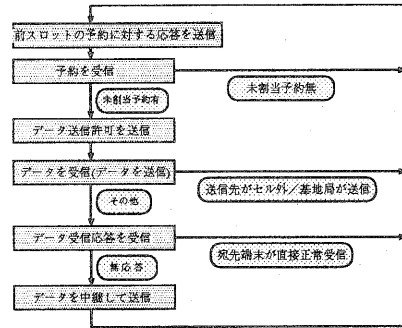


図 4: 基地局フロー
Fig.4 : Base station flow.

- (a) 要求アクセス応答チャンネル：予約を受付けた端末の識別子、予約衝突、または、予約無
- (b) 要求アクセスチャンネル：予約を送信した端末の識別子
- (c) データ送信許可チャンネル：データ送信を許可した端末の識別子
- (d) データ応答チャンネル：正常受信した端末の識別子

3.2 DRCP プロトコル

3.2.1 全体フロー

最初に DRCP プロトコルの概略フローを示す。

- 1) 基地局は、直前のスロットの要求アクセスチャンネルにより端末が基地局へ送信したデータ送信チャンネルの予約要求に対して、要求アクセス応答チャンネルによりその結果を全端末へ通知する。
- 2) 全端末は、要求アクセス応答チャンネルから受信した予約への応答に従ってバイナリスタックの更新を行う。その結果自端末が送信可能となった場合、送信すべきデータがあれば要求アクセスチャンネルにより予約を送信する。
- 3) 基地局は、要求アクセスチャンネルから受信した予約及び受信済みの予約に基づいてデータ送信チャンネルを割当て、その端末情報をデータ送信許可チャンネルにより通知する。予約が全く無い場合はデータ送信許可チャンネルを用いず直ちに1)へ戻る。
- 4) データ送信チャンネルを割当てられた端末は、データをデータ送信チャンネルにより送信する。その

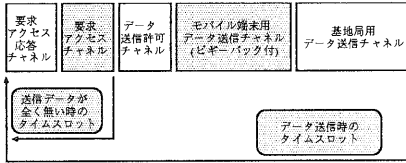


図7: DQRUMA の1周波数帯利用時のタイムスロット構成

Fig.7: Time slot structure of DQRUMA with one frequency band.

ある。

- 2) 要求アクセス応答チャンネルにより基地局から予約に対する応答を受信した場合、端末はその応答にしたがってバイナリースタックの更新を行う。(スタックの更新方式の詳細は文献[10]を参照。)

更に、条件により処理は下記の3つに分れる。

- a) 受信した応答が自端末の予約に対する受付通知ならば、送信処理へ予約受付完了を通知し、受信待ち状態へ戻る。
 - b) また、バイナリースタックを更新した結果、直後の要求アクセスチャンネルで自端末が予約送信可能ならば、送信処理へ予約送信許可を通知し、受信待ち状態へ戻る。
 - c) 上記の2つの当てはまらない場合は、そのまま受信待ち状態へ戻る。
- 3) データ送信許可チャンネルにより基地局から自端末へのデータ送信許可を受信した場合、送信処理へデータ送信許可を通知し、受信待ち状態へ戻る。
 - 4) 自端末へのデータを受信した場合、データの受信処理を行う。更に、直接他の端末からデータを正常に受信した場合には、送信処理へデータ直接受信を通知する。受信待ち状態へ戻る。

4 評価と議論

シミュレーションにより提案する DRCP の性能を DQRUMA と比較して評価する。

4.1 評価条件

DRCP の比較対象とする DQRUMA も、端末送信-基地局受信のアップリンクと基地局送信-端末受信のダウンリンクは時分割多重により1周波数帯を共用するものとする。この点については、Karol

らが[10]において可能であることを示している。アップリンクとダウンリンクが同一周波数帯を時分割多重する場合の DQRUMA のタイムスロット構成を図7に示す。DQRUMA は2周波数帯を使用する時は1つのデータ送信チャンネル全体を複数の予約アクセスチャンネルに変換しているが、本評価では図6に示すとおり DRCP と同様タイムスロット構成を動的に変更するチャンネル効率の良い方式を採用する。

なお、アクセス方式の性能評価においては最悪値も重要なファクタであるが、バイナリースタックアルゴリズムに従い全モバイル端末が予約を送信する際に端末の識別子をずらすなどして負荷の平滑化を図ることを前提に、ここでは平均値により評価する。また、バイナリースタックアルゴリズムには様々な改良型の方式が提案されている[2][3]が、本シミュレーションでは最上位のスタックに含まれる端末グループだけが要求を送信する基本的なアルゴリズムを用いる。

シミュレーションで想定した主な前提条件とパラメータは次のとおりである。

- 1) システムは128端末で構成され、全端末が同一のトラフィック特性を持つ。
- 2) 送信メッセージは固定長でポアソン到着にしたがって発生するものとする。
- 3) 4種類の制御チャンネルは各々チャンネル識別子2ビット、端末識別子等の情報8ビットの合計10ビットであり、このビット数を伝送するのに要する時間をT単位時間とする。
- 4) データ送信チャンネルは、425ビット(53バイトの1ATMセル+1ビットのピギーバック要求フラグ)を送信し、25T単位時間とする。
- 5) 送信データのチャンネルに対するガードタイム、伝播遅延時間、及び、端末と基地局のDRCPプロトコル等の処理時間は考慮しない。
- 6) データ送信チャンネルの端末への割当てはラウンドロビンにて行う。
- 7) 端末相互間の直接通信は送受信エラーが発生し、基地局とモバイル端末間の通信は100%正常に送受信されるものとする。
- 8) 送信先端末がセル外の場合、端末でのメッセージ発生から同一セル内の基地局受信迄のシミュレーションを行う。
- 9) 送信元端末がセル外の場合、セル外からのメッセージの基地局受信から端末受信迄のシミュレーションを行う。その際、基地局も端末の1つとしてデータ送信チャンネルを予約してからデータの中継するものとする。

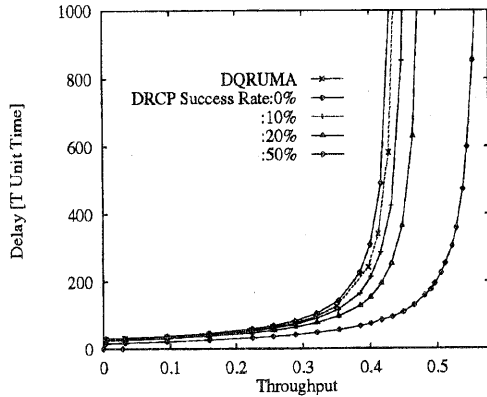


図 8: スループットに対する遅延特性
(1ATM セル / メッセージ, セル外率 0%)
Fig.8 : Delay versus Throughput
(1ATM cell/message, $r_{cross} = 0\%$).

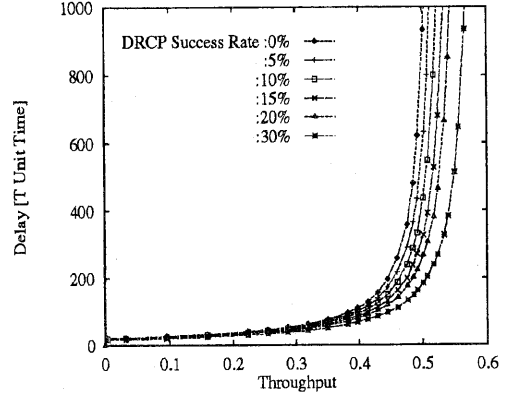


図 9: スループットに対する遅延特性
(1ATM セル / メッセージ, セル外率 30%)
Fig.9 : Delay versus Throughput
(1ATM cell/message, $r_{cross} = 30\%$).

10) DQRUMA の制御チャンネルは端末識別子等の情報 8 ビットであるが、簡単化のため DRCP と同様 T 単位時間とする。

4.2 評価結果

DRCP と DQRUMA の評価結果を図 8, 図 9 に示す。

なお、本シミュレーションのスループット、遅延の 95% 片側信頼区間幅は、それぞれ標本平均の 1%、4% 以下である。

図 8 は、1 メッセージ 1 ATM セルのシミュレーション結果で、セル外率 (r_{cross}) を 0% の条件下で、直接通信成功率 (Success Rate) が 0, 10, 20, 50% 場合の DRCP と DQRUMA と平均遅延対スループットである。DRCP にとって最悪の条件となる直接通信成功率 0% の場合、低スループット時の平均遅延時間は DQRUMA より劣る。この差は、DQRUMA には無い DRCP のデータ応答チャンネルのオーバーヘッドによる遅延である。しかし、直接通信成功率が高くなるに従い基地局中継用データ通信チャンネルを省略した効果が現れて、高スループット時は勿論低スループット時も DRCP は DQRUMA より優れた平均遅延特性を示す。スループットに関しても、直接通信成功率 0% の場合、その最大値は DQRUMA より 2% 劣る。これも、遅延の場合と同様にデータ応答チャンネル分の劣化である。しかし、直接通信成功率が高くなるに従い DRCP のスループットは高くな

り、直接通信成功率 5% 以上では、DQRUMA より高い。

これは、直接通信により基地局中継用データ送信チャンネルを省略した効果である。DRCP が DQRUMA と最大スループットが等しくなる直接通信成功率 p はタイムスロットの構成から

$$3T + 50T = \frac{(4T + 25T) \times p}{100 + (4T + 50T) \times (1 - p)} \quad (1)$$

となり、これより $p = 0.04$ となる。この値は、シミュレーション結果 (図面の都合上図 8 にはしめさなかったが約 5%) とほぼ一致している。

更に、DQRUMA のスループットの限界値は 0.5 (文献 [10] の 1.0 に対応する。) であるが、DRCP は直接通信成功率 20% 以上になる場合は図 8 のとおり 50% を超えることも可能となる。

次に、セル外率 30%、直接通信成功率 0, 5, 15, 20, 30% の DRCP の平均遅延対スループットを示す。図 9 は 1 メッセージ 1 ATM セルの場合である。これらはセル外率が高くなるに従い高性能となることを示している。これは、DRCP の基地局中継用データ送信チャンネルとデータ応答チャンネルを省略した効果である。DRCP はセル内通信と同じプロトコルを用いてセル間通信も同時に処理することを可能とし、端末間直接通信とセル間通信により高スループット低遅延を実現している。

5 むすび

本論文では, DQRUMA を改良し, よりチャネル効率の良い多重アクセスプロトコル (DRCP: Direct and Relay Communication Protocol via Wireless Networks) を提案した. DRCP では1つの周波数帯を用いて, 同一セル内のモバイル端末間でパケットを直接送受信することができなかつた場合に限り基地局がそのパケットを中継する. 直接通信に成功した場合には基地局中継用チャネルを省略し, スループットを向上させている. この結果, DRCP の性能は直接通信の成功率が5%以上でDQRUMAを超えることを示した. 更に, DRCP は, セルに跨る通信でも, 送受信端末がある各セル内ではセル内通信と同じプロトコルを用いてセル間通信も同時に処理することを可能とし, 双方のセルでセル内通信に用いる基地局中継用チャネルを省くことにより, 高スループット低遅延を実現している.

今後, Wireless ATMへ適用するために, ABR, 及び CBR, UBR, VBR へのチャネル割当方式等を具体的に検討する必要がある.

参考文献

- [1] T. Imielinski and B. R. Badrinath, "Mobile Wireless Computing: Challenge in Data Management", *Commun. ACM*, vol. 37, pp. 18-28, Oct. 1994.
- [2] D. Bertsekas and R. Gallager, "Data Networks", Second Edition, Prentice-Hall, 1992.
- [3] F. A. Tobagi, "Multiaccess Protocols in Packet communication systems", *IEEE Trans. Commun.* Vol. COM-28, pp.468-488, Apr. 1980.
- [4] L. Kleinrock and F. A. Tobagi, "Packet Switching in Radio Channels: Part I -Carrier Sense Multiple-Access Models and Their Throughput-Delay Characteristics", *IEEE Trans. Commun.*, vol.COM-23, pp.1400-1416, Dec. 1975.
- [5] F. A. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet Switching in Radio Channels: Part II -The Hidden Terminal Problem in Carrier Sense Multiple-Access and the Busy-Tone Solution", *IEEE Trans. Commun.*, vol.COM-23, pp.1417-1433, Dec. 1975.
- [6] C. L. Fullmer and J. J. Garcia- Luna- Aceves, "Floor Acquisition Multiple Access (FAMA) for Packet-Radio Networks", *Proc. ACM SIGCOM 95*, Cambridge, MA, Aug. 30 - Sept. 1, 1995.
- [7] C. L. Fullmer and J. J. Garcia- Luna- Aceves, "FAMA-PJ: A Channel Access Protocol for Wireless LANs", *Proc. ACM MOBICOM 95*, pp. 76-85, 1995.
- [8] R. Garces and J. J. Garcia- Luna- Aceves, "Floor Acquisition Multiple Access with Collision Resolution", *Proc. ACM MOBICOM96*, pp. 187-197, 1996.
- [9] R. Garces and J. J. Garcia- Luna- Aceves, "Collision Avoidance and Resolution Multiple Access with Transmission Groups", *Proc. IEEE INFOCOM'97*, pp. 134-142, 1997.
- [10] M. J. Karol, Z. Liu, and K. Y. Eng, "Distributed-Queuing Request Update Multiple Access (DQRUMA) for Wireless Packet (ATM) Networks," *Proc. of ICC'95*, pp.1224-1231, June 1995.
- [11] N. Amitay, "Resource Auction Multiple Access (RAMA): Efficient method for fast resource assignment in decentralized wireless PCS," *Electron. Lett.*, vol.28, no.8, pp.799-801, Apr. 9, 1993.