

マルチメディア移動通信システムにおける 動的な QoS チャンネル予約方式の提案

堀部 洋典[†] 張 勇兵[‡]

[†] 筑波大学 大学院 システム情報工学研究科

[‡] 筑波大学 社会工学系

次世代移動通信ネットワークでは、音声による通話のみでなく、データや動画などのマルチメディアデータも含めた通信が主体になると期待される。これらのマルチメディアデータ通信において、サービス品質 (QoS) を保障する、つまり、シームレスなデータ通信を保障することは非常に重要である。本研究では、セルラ移動通信システムにおける QoS を保障するマルチメディアデータ通信のための動的な無線資源 (通信チャンネル) の予約方式を提案する。本提案方式では、移動局が、各基地局からの受信電力の強さの情報を用いて、動的なチャンネル予約を行う。本提案方式は、従来のアルゴリズムと比較して、通話中移動局の強制切断確率のみでなく、新規呼出要求のブロッキング率をも大きく改善することがわかった。

Adaptive QoS-Guaranteed Channel Reservation in Multimedia Wireless Network

Yosuke Horibe[†] and Yongbing Zhang[‡]

[†] Graduate school of Systems and Information Engineering,
University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8573 Japan

[‡] Institute of Policy and Planning Sciences,
University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8573 Japan

In the next generation wireless networks, multimedia data such as voice, video, and nonreal-time data may play key role in most applications. It is therefore important to provide quality-of-service(QoS) guarantees for these multimedia applications. This paper proposes an adaptive bandwidth (communication channel) reservation scheme in order to provide QoS guarantees for multimedia traffic carried in high-speed wireless cellular networks. The proposed scheme employs user mobility information to reserve channels for a user according to the power levels that the user receives from adjacent base stations (BSs). Using this scheme, not only the connection dropping probability but the call blocking probability can also be reduced significantly compared with other existing algorithms.

1 はじめに

次世代の無線通信システムでは、動画、音声、データ転送などのマルチメディアデータを含めた通信の実現が期待されている [1] [2] [3] [4] [7] [8] [9]。このようなマルチメディア通信システムにおいて、サービス品質 (QoS:Quality-of-Service) を保障する、つまり、シームレスなデータ通信を保障することは非常に重要である。

現在のセルラ移動通信システムは、近年増加し続けているユーザを収容するために、無線資源 (通信チャンネル) の効率的な利用を考慮することが不可欠となっている。セルのサービス領域を小さくし、同一周波数帯の再利用性を高めることで、有限な無線資源を効率的に利用することができる。しかし、セル半径が小さくなるに従って、移動局がハンドオフする回数は増加の傾向にある。ハンドオフが実行されるときには、移動先の基地局で無線資

源を新たに確保する必要があるため、データ通信の QoS を保障することが困難となる。データ通信の QoS を保障するためには、移動局のハンドオフを確実にこななければならない。その解決法として、ハンドオフする移動局に対して、移動先のセルの通信チャンネルを確保しておき、新規呼出要求よりもハンドオフ要求に対して、優先的にチャンネルの割り当てることが考えられる。

本研究では、上述したような移動通信システムにおいて、データ通信の QoS を保障するための新しいチャンネルの予約方式を提案する。本提案方式は、従来の方式よりも高い QoS を保障しつつ、効率のよい通信チャンネル利用法を実現している。また、本提案方式の特徴は、移動局の受信電力値に関する情報を用いるため、従来の方式に比べ、よりの確なチャンネル予約をすることができる点にある [5] [10]。

2 関連研究

データ通信の QoS を保障するために、隣接するセルに対する通信チャネルの予約方法について、多くの論文で議論されている [5] [6] [8] [10]。C.Oliveira らが提案する予約方式 (以下、FR: Full Reservation 方式と呼ぶ) は、すべての隣接セルに予約を入れることで QoS を保障している [10]。この方式ではデータ通信の QoS を保障するために、ひとりのユーザが多くの資源を占有するので、チャネルの利用効率 (CU: Channel Utilization) は低く、他のユーザの新規呼出のブロッキング率 (CBP: Connection Blocking Probability) は高い。その上、ハンドオフが多い場合、通話中に強制的に切断される確率 (CDP: Connection Dropping Probability) も、他の予約方式に比べると高い値を示す。一方、G.S.Kuo らによる確率的な予約方式 (以下、SR: Static Reservation 方式と呼ぶ) では、各セルにおけるユーザの平均行動履歴を保持し、この情報に基づいて隣接するセルに予約を試みる [5]。この予約方法では、ユーザは隣接セルする各セルに対し、1 チャネル分のチャネル確保を要求するのではなく、各セルに移動する確率分のチャネルを予約する。そのため、SR 方式は FR 方式と比べると、CU は高く、CBP、CDP は低い値を示す。しかし、SR 方式はユーザの過去の平均行動情報を用いて予約を行っているため、現在のユーザの動きに適応できない。

3 提案方式のアルゴリズム

本研究で提案される方式 (以下、AR: Adaptive Reservation 方式と呼ぶ) は、移動局の動きに適応して変化する隣接セルからの受信電力の強さに応じて、チャネルを予約するクライアント/サーバ型のチャネル予約方式である。ここで、移動局と基地局が、それぞれクライアントとサーバに相当する。

本提案方式は、移動局は周囲の基地局からの受信電力の強さを絶えず監視していることを仮定している。実際の移動局は、同じセル内でも、位置している場所によってハンドオフを行う確率は異なる。同様に、本提案方式では、同じセル内でも、通信中の基地局からの受信電力値、および隣接セルからの受信電力値に応じて、予約を要求する量が異なる。例えば、セルの中心部付近にいるユーザは、すぐにハンドオフを行う確率は低いため、隣接セルへのチャネル予約要求量は小さい。一方、セルの境界線付近に位置しているユーザは、すぐにハンドオフを行う確率が高いため、隣接するセルに対するチャネ

ル予約要求量は大きい。各移動局は受信する電力値に基づいて、隣接する各セルに対してチャネルを確保すべき確率を算出し、予約の要求を出す。

基地局は、移動局からの予約要求を受け取り、後に示すアルゴリズムに従ってチャネルを確保する。従来の方式と同様、データ通信の途中強制切断を防止するため、新規呼出要求よりも、ハンドオフ要求に対して、通信チャネルを優先的に割り当てる。

以下では、ユーザが受信電力値の強さにより決まる、ハンドオフをする確率を予約確率と呼び、ハンドオフする移動局に対して確保すべきチャネルの数を予約量と呼ぶ。

本研究で提案されるアルゴリズムを記述する際、次のような記号を使用する。

- p_i : 通信中の基地局からの受信電力値
- p_j : 隣接セル j からの受信電力値
- p_{th} : ハンドオフの閾値となる電力値。ここで、 $p_{th} < p_i$ であり、 p_i が p_{th} を下回ったとき、ハンドオフを試みる
- r_{ij}^x : セル i に存在するユーザ x が、セル j に要求する予約確率

提案するアルゴリズムは、ユーザ側が行うチャネル予約量の決定と、基地局側が予約要求に対する処理の 2 つの部分からなる。基地局での処理は、優先順キューを用いる。ユーザから送られてくる予約要求は、ユーザ ID、予約確率、および予約量の三つの情報をもっている。基地局で、隣接する各セルに位置しているユーザから要求された予約量を足し合わせて、隣接セルからのハンドオフユーザのために確保すべきチャネルの数を決定する。

ユーザ側における処理

ユーザは各隣接セルに対する予約確率を計算し、チャネル予約の要求を行う。予約確率は現在通信している基地局と、隣接基地局から受信する電力の強さを用いて、次式のように算出される。

$$r_{ij}^x = \frac{p_i}{p_i + p_j - p_{th}} \quad (1)$$

基地局からの受信電力はユーザが移動すると変化するため、隣接セルに対するチャネル予約確率もそれに応じて変化する。算出された予約確率 r_{ij}^x に使用中の通信チャネル数をかけたものを、隣接セルに要求するチャネル予約量とする。具体的には、セル i のユーザが次の手順でチャネルの予約要求を行う。

- Step1. 通信中の基地局、および隣接する基地局 j から受信している電力値を計測する。計測値が前回の計測と比較して、その差が決められた閾値を越えた場合、Step2 を実行する。
- Step2. 式1を用いて、基地局 j への予約確率 r_{ij}^x を算出する。それによって決められたチャンネル予約量を基地局 j に要求する。

基地局側における処理

基地局は2つのキューを持っている。予約要求を受け付けるためのキューと新規呼出要求を受け付けるためのキューである。予約要求を受け付けるためのキューは、予約確率が大きい順にソートされた優先順位待ち行列である。一方、移動局から各基地局に対する要求は、新規呼出要求、隣接セルに対するチャンネル予約要求、および隣接セルに対するハンドオフ要求の3つがある。次に、移動局からの各要求に対する処理手順について説明する。

(a) 新規呼出要求の処理

各基地局は、ユーザからの新規呼出要求を、下記の手順に従って処理する。

- Step1. 使用可能なチャンネルがあるかを確認する。あるなら、そのチャンネルを呼出要求している移動局に割り当てる。ないなら、Step2へ移る。
- Step2. 呼出要求を破棄(ブロック)する。

(b) 予約要求の処理

基地局では、すべての予約要求を集計して、その予約量の総和に相当するチャンネル数を確保する。チャンネルの予約は、図1に示されるように、優先順位待ち行列に従って、チャンネルを確保する。この場合、基地局 j は下記の手順に従ってチャンネル予約要求を処理する。

- Step1. 隣接セル i のユーザ x からの予約要求 r_{ij}^x を受ける。
- Step2. 予約要求を優先順の待ち行列の適切な位置に挿入する。
- Step3. 使用可能なチャンネルがあれば、確保する。もし使用可能なチャンネルがなければ、予約要求を保持したまま Step4へ移る。
- Step4. 使用中の通信チャンネルを監視し、使用可能なチャンネルができ次第、それを予約要求に割り当てる。

(c) ハンドオフ要求の処理

各基地局は下記の手順に従ってハンドオフの要求を処理する。

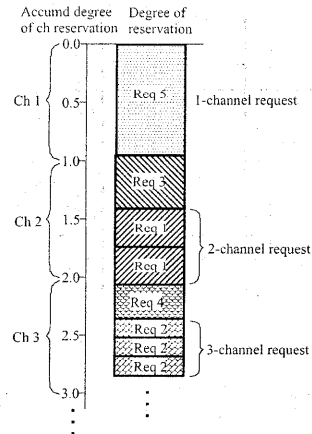


図1: チャンネルの予約

- Step1. ハンドオフを要求する移動局の予約を受け付けているかを確認し、もし予約を受け付けているなら、確保しておいたチャンネルを用いてハンドオフを実行する。そうでなければ Step2へ移る。
- Step2. 利用可能なチャンネルがあるなら、そのチャンネルを用いてハンドオフを実行する。利用可能なチャンネルがないなら、Step3へ移る。
- Step3. 使用中の通信チャンネルを監視し、使用可能なチャンネルができればハンドオフを要求する移動局に割り当てる。ハンドオフユーザの受信電力値が、通信不能なまでに低下したら、強制的に切断する。

4 シミュレーション実験

4.1 仮定

本研究で提案された AR 方式は、シミュレーションで評価した。また、AR 方式と比較のために、従来の予約方式である FR 方式と SR 方式、予約を全く行わない方式(以下、NR:No Reservationと呼ぶ)を用いた。性能の尺度として、システムから強制的に切断される確率(CDP:Connection Dropping Probability)、新規呼出要求がブロックされる確率(CBP:Connection Blocking Probability)、チャンネル利用率(CU:Channel Utilization)を用いた。これらの各尺度は、下記のように定義される。

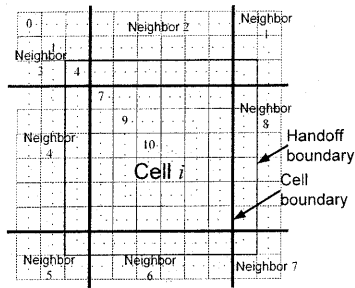


図 2: シミュレーションのセルモデル

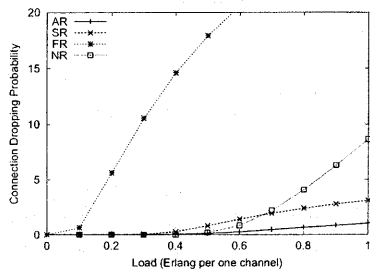


図 3: 通信負荷による CDP への影響

$$CDP = \frac{\text{(強制切断されたチャンネル数)}}{\text{(ハンドオフしたチャンネル数)}}$$

$$CBP = \frac{\text{(ブロッキングされたチャンネル数)}}{\text{新規の通信要求されたチャンネル数}}$$

$$CU = \frac{\text{(総通信時間)}}{\text{(総チャンネル数)} \times \text{(計測時間)}}$$

本研究で用いられたシミュレーションモデルは、 10×10 のセルからなり、また各セルは図 2 に示されるように、 6×6 のエリアに分割されている。各基地局からの電波の強さの最大値は 10 とし、図 2 に示されるように減衰するとした。図 2 のセル境界線内に位置している移動局が新規呼出を要求するときは、セル i に通信開始の要求を出すとする。また、通信中のユーザが、ハンドオフ境界線を通過したときにハンドオフを試みる。つまり、ハンドオフを試みる受信電力の閾値 p_{th} は 1 とした。その時、ハンドオフ先の基地局に通信可能なチャンネルがなく、ハンドオフが実行されなければ、その通信は強制的に切断される。

ユーザからシステムへの新規呼出要求はポワソン分布に従い、各呼出の通信時間は指数分布に従うものとする。各基地局は 20 個のチャンネルを持つとし、各ユーザの呼出要求は 1 つのチャンネルが必要とする。システム内

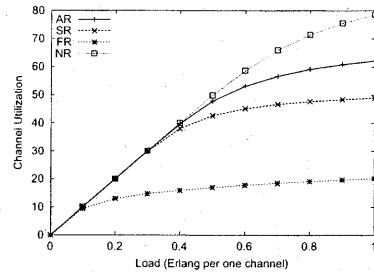


図 4: 通信負荷による CU への影響

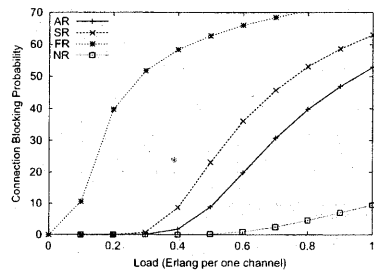


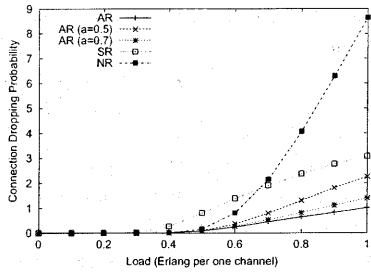
図 5: 通信負荷による CBP への影響

に存在するユーザの数を増減させ、チャンネル 1 個あたりの通信負荷を 0.1 アーランから 1.0 アーランまで変化させた。

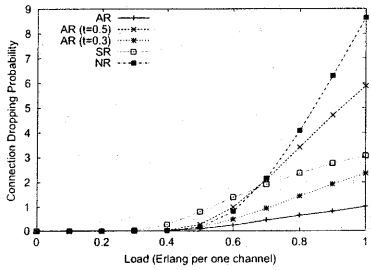
4.2 性能評価

図 3 は比較する各方式の CDP を示している。FR 方式は負荷が少し変化するだけで、CDP が急激に上昇することがわかる。それは、すべての通信を始めたユーザが、隣接セルのすべてに対してチャンネルの予約要求を行うためである。ユーザの平均移動情報を用いる SR 方式では、負荷が低いときには低い CDP 値を示すが、負荷が高くなるにつれ提案方式よりも早く悪くなることわかる。一方、本研究で提案された AR 方式は他の方式より低い CDP 値を持つことがわかる。負荷が 1.0 アーラン/チャンネルの場合、AR 方式の CDP が僅か 1% しかなく、これは SR 方式のおよそ半分である。これはユーザが、今現在の受信電波情報を用いて予約要求を決定しているために、より正確な予約確率で予約を決定しているためである。

図 4 は比較する各方式の CU の変化を示している。このグラフは、どれだけのチャンネルが通信中のユーザに使用されているかを示し、どれだけのチャンネルをハンドオ



(a) 縮尺パラメータ a .

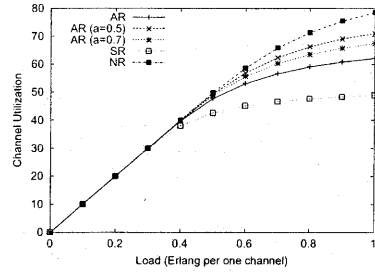


(b) 閾値パラメータ t .

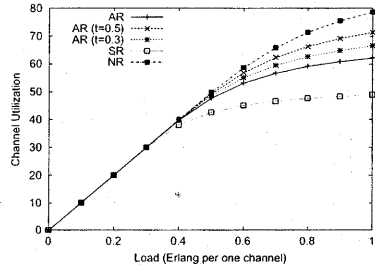
図 6: 調整パラメータを用いたときの CDP の変動

フューザのために確保しているかを知ることができる。AR 方式は予約を行う方式の中でもっとも高い CU を示している。NR 方式が高い CU を示しているのは、予約を全く行わず、通信にのみチャネルを使用しているためである。NR 方式は予約を行わないために、ハンドオフユーザヘデータ通信の QoS を全く保証しない。また、本研究で簡単のため用いた四角形のセルモデルも一因であると考えられる。通常、セルラ移動通信システムでは、セルが六角形のセルモデルにより近く、四角形のモデルよりも隣接セルの数が少ない。そのため、本研究で行われたシミュレーションは実システムよりも CU を低く見積もっている。

図 5 は各方式の CBP の変化を示している。図 5 によると、どの予約方式でも、ある負荷値を閾値として CBP 値が急激に増加することがわかる。これは、チャネルを通信に使用していたり、ハンドオフのために確保することによって、そのセルで使用可能なチャネルがない状態では、以後の新規通信の要求はすべてブロックされるためである。このグラフから、従来の予約方式と比較して、AR 方式は低い CBP を持つことがわかる。このことは、同じチャネル数の下では、他の予約方式のシステムよりも多くのユーザを収容可能であることを示している。



(a) 縮尺パラメータ a .



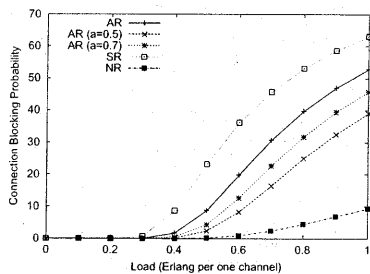
(b) 閾値パラメータ t .

図 7: 調整パラメータを用いたときの CU の変動

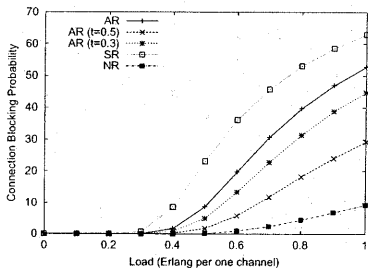
4.3 予約パラメータの調整

前述の結果により、各性能評価指標は、ハンドオフユーザのためのチャネル予約量に大きく依存することがわかる。提案方式では、予約量を調節する 2 つのパラメータを用いて、前述の方式における予約量を調整できるようにした。このことにより、新規呼出要求に割り当てることができるチャネル数を増減させ、システム全体の性能の改善を試みた。1 つのパラメータは縮尺パラメータ a , $0 < a < 1$ である。これは、ユーザが予約要求を行うときに、予約確率 r_{ij}^a にパラメータ a をかけることで予約量を減少させる。もう 1 つのパラメータは閾値パラメータ t , $0 < t < 1$ である。これは、ユーザが予約確率を計算するときに、パラメータ t よりも小さい予約確率のものは予約要求しないことで予約量を減少する。

図 6、図 8、および図 7 は、それぞれのパラメータを採用した時の AR 方式の性能を示している。これらのパラメータを採用することによって、前述の AR 方式よりも、僅かに CDP を犠牲にして、CU と CBP を大きく改善している。このパラメータは、CDP を低い値に抑えながら、CBP を大きく改善させるので、システム全体のコストを改善させるのに役立つ。



(a) 縮尺パラメータ a .



(b) 閾値パラメータ t .

図 8: 調整パラメータを用いたときの CBP の変動

5 結論

本研究では、移動通信ネットワークにおけるマルチメディアデータ通信の QoS を保障するための動的なチャネル予約を提案した。既存の方式に比べ、提案方式はシステムの性能尺度 (CDP、CBP、および CU) を大きく改善することを示した。また、実システムへの実装コストはそれほど高くないことが予想される。なぜなら、システムの機能を利用することが容易であるためである。次世代移動通信システムで使用される CDMA (Code Division Multiple Access) 技術では、遠近問題を解決するための送信電力制御が行われている。この機能では移動局が基地局からの受信電力を頻りに検出し、計測する必要がある。提案方式は、この機能を利用することにより、容易に実装できると考えられる。

参考文献

[1] A. Aljadhaj and T. Znati: "A framework for call admission control and QoS support in wireless environments," In *Proc. INFOCOM'99*, pages 1019-1026, 1999.

- [2] A. Aljadhaj and T. Znati: "A predictive adaptive scheme to support QoS guarantees in multimedia wireless networks," In *Proc. IEEE ICC'99*, pages, Jun. 1999.
- [3] R. Gopalakrishnan and G. M. Parulkar: "Efficient user-space protocol implementations with QoS guarantees using real-time up-calls," *IEEE/ACM Trans. Networking*, pages 374-388, August. 1998.
- [4] V. K. Garg, K. F. Smolik and J. E. Wilkes: "Applications of CDMA in Wireless/Personal Communications," Prentice Hall PTR, New Jersey, 1997.
- [5] G. S. Kuo, P. C. Ko and M. L. Kuo: "A probabilistic resource estimation and semi-reservation scheme for flow-oriented multimedia wireless networks," *IEEE Commun. Mag.*, pages 135-141, February 2001.
- [6] D. A. Levine, I. F. Akyildiz, and M. Naghshineh: "A resource estimation and call admission algorithm for wireless multimedia networks using the shadow cluster concept," *IEEE/ACM Trans. Networking*, 5(1):1-12, February 1997.
- [7] U. Madhow, M. L. Honig and K. Steiglitz: "Optimization of wireless resources for personal communications mobility tracking," *IEEE/ACM Trans. Networking*, 3(6):698-707, December 1995.
- [8] D. Mitra, M. I. Reiman, and J. Wang: "Robust dynamic admission control for unified cell and call QoS in statistical multiplexers," *IEEE J. Selected Areas Commun.*, 16(5):692-707, June 1998.
- [9] M. Naghshineh and M. Willebeek-LeMair: "End-to-end QoS provisioning in multimedia wireless/mobile networks using an adaptive framework," *IEEE Commun. Mag.*, pages 72-81, November 1997.
- [10] C. Oliveira, J. B. Kim, and T. Suda: "An adaptive bandwidth reservation scheme for high-speed multimedia wireless networks," *IEEE J. Selected Areas Commun.*, 16(6):858-873, August 1998.