



電子情報

26

工学博士 学位論文

有無線統合 ATM 網における VSVD 方式を
適用した ABR トラヒック制御

1999 年 12 月 17 日

指導教官 齊藤 忠夫 教授

東京大学大学院 工学系研究科

電子情報工学専攻 77120

権 容 徳

目次

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | 序論 | 1 |
| 1.1 | はじめに | 1 |
| 1.2 | 本論文の目的 | 4 |
| 1.3 | 本論文の構成 | 5 |
| 2 | 有無線 ATM に関する研究 | 6 |
| 2.1 | ATM ネットワーク | 6 |
| 2.1.1 | ATM の概念 | 6 |
| 2.1.2 | サービスクラスとパラメータ | 10 |
| 2.1.3 | トラヒック管理 | 12 |
| 2.1.4 | ルーティング (PNNI:Private Network to Network Interface) | 15 |
| 2.2 | 無線 ATM ネットワーク | 17 |
| 2.2.1 | 無線 ATM ネットワーク | 17 |
| 2.2.2 | 無線 ATM ネットワークにおける技術的課題 | 18 |
| 2.2.3 | 無線 ATM に関する研究動向 | 22 |
| 2.3 | ATM ネットワークにおける ABR トラヒックの輻輳制御 | 28 |
| 2.3.1 | ABR サービスクラスの輻輳制御の必要性 | 28 |
| 2.3.2 | ABR サービスクラスのレートベース制御 | 28 |
| 2.3.3 | ABR サービスクラスのクレジットベース制御 | 29 |
| 2.3.4 | ABR サービスクラスのレートベース制御とクレジットベース制御の比較 | 31 |
| 2.3.5 | ABR トラヒックの VSVD(Virtual Source Virtual Destination) 制御 | 32 |
| 2.4 | まとめ | 34 |
| 3 | 有無線 ATM における ABR トラヒック制御方式の設計 | 35 |
| 3.1 | 有線区間と無線区間の課題 | 35 |
| 3.2 | 有線区間での RCFC 方式 | 36 |
| 3.2.1 | レートとクレジットに一つの制御セル利用: RCFC | 36 |
| 3.2.2 | RCFC 方式の目標 | 36 |
| 3.2.3 | RCFC 方式の基本構成 | 36 |
| 3.2.4 | RCFC トラヒックパラメータ | 39 |
| 3.2.5 | 制御セル: RM(Resource Management) Cell | 40 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.2.6 | RCFC方式の基本動作原理 | 42 |
| 3.3 | 無線区間での動的チャンネル割当方式 | 51 |
| 3.3.1 | 動的リソース割当制御の問題提起 | 51 |
| 3.3.2 | TDMA方式のスロット構造 | 52 |
| 3.3.3 | メディアアクセス制御機能 | 54 |
| 3.3.4 | 無線でのABRトラフィック動的割当 | 58 |
| 3.3.5 | フィードバック方式 | 60 |
| 3.4 | 有無線区間でのVSVD方式の適用 | 61 |
| 3.4.1 | ERICA(Explicit Rate Indication for Congestion Avoidance Schemes)で レートの計算 | 61 |
| 3.4.2 | 無線区間での割当方式の提案 | 63 |
| 3.4.3 | 基地局でのレート計算 | 63 |
| 3.5 | まとめ | 65 |
| 4 | 有無線ATMにおけるABRトラフィック制御方式の性能評価 | 66 |
| 4.1 | 有線区間でのRCFC方式に関する性能評価 | 66 |
| 4.1.1 | シミュレーションモデル | 66 |
| 4.1.2 | シミュレーションパラメータ | 66 |
| 4.1.3 | リンク間距離に対する評価 | 68 |
| 4.1.4 | 割当帯域に対する評価 | 72 |
| 4.1.5 | まとめ | 74 |
| 4.2 | 無線区間での動的チャンネル割当方式に関する性能評価 | 76 |
| 4.2.1 | 性能評価のモデル | 76 |
| 4.2.2 | ABRフロー制御方式の性能特性 | 79 |
| 4.2.3 | まとめ | 80 |
| 4.3 | 有無線区間でのVSVD方式に関する性能評価 | 81 |
| 4.3.1 | シミュレーションモデル | 81 |
| 4.3.2 | シミュレーションパラメータ | 81 |
| 4.3.3 | 割当帯域に対する評価 | 83 |
| 4.3.4 | 負荷に対する評価 | 85 |
| 4.3.5 | まとめ | 86 |
| 4.4 | まとめ | 88 |
| 5 | 有無線ATMでのABR輻輳制御設計の検討事項 | 90 |
| 5.1 | トラフィックパラメータの選択 | 90 |
| 5.2 | スイッチでのバッファ量の節約 | 93 |
| 5.3 | スイッチでの輻輳検出方法 | 94 |
| 5.4 | VSVDスイッチ設計の選択肢 | 95 |
| 5.4.1 | VSVDスイッチでの現レートの測定方法 | 95 |
| 5.4.2 | VSVDスイッチでの入力レートの測定方法 | 95 |

| | | |
|----------|----------------------------------|------------|
| 5.4.3 | レートの変更による影響 | 96 |
| 5.4.4 | レートの変更周期 | 96 |
| 5.5 | まとめ | 97 |
| 6 | 無線 ATM における動的ハンドオーバ方式 | 98 |
| 6.1 | 位置登録・管理 | 98 |
| 6.2 | ハンドオーバ制御 | 99 |
| 6.2.1 | フル再設定 | 100 |
| 6.2.2 | 接続拡大 | 100 |
| 6.2.3 | 部分再設定 | 101 |
| 6.2.4 | マルチキャスト設定 | 101 |
| 6.2.5 | ハンドオーバ方式の比較 | 101 |
| 6.3 | 動的ハンドオーバ制御方式の提案 | 102 |
| 6.3.1 | MES セル | 102 |
| 6.3.2 | MES セルのフロー | 103 |
| 6.3.3 | まとめ | 105 |
| 6.4 | 無線区間でのハンドオーバ方式に関する性能評価 | 106 |
| 6.4.1 | シミュレーションモデルと条件 | 106 |
| 6.4.2 | シミュレーション結果 | 106 |
| 6.4.3 | まとめ | 108 |
| 6.5 | 接続拡大ハンドオーバ方式の改善方式の提案 | 109 |
| 6.5.1 | 2 フェーズハンドオーバ方式 | 109 |
| 6.5.2 | シミュレーションによる評価 | 109 |
| 6.5.3 | シミュレーション結果 | 110 |
| 6.5.4 | まとめ | 111 |
| 7 | 結論 | 113 |
| 7.1 | まとめ | 113 |
| 7.2 | おわりに | 117 |
| | 謝辞 | 118 |
| | 参考文献 | 119 |
| | 発表文献 | 126 |

表一覧

| | | |
|-----|-------------------------------------|-----|
| 2.1 | ATM セルにおける PTI フィールド | 8 |
| 2.2 | ATM サービスクラスと対応する各パラメータ | 12 |
| 2.3 | 代表的アプリケーションとその要求条件 | 18 |
| 2.4 | 無線 ATM プロジェクト | 26 |
| 2.5 | クレジットとレート of 長短所 | 31 |
| 3.1 | ABR トラヒックパラメータ | 39 |
| 3.2 | RM セルのフィールド構成 | 41 |
| 3.3 | ACR の変更方法 | 46 |
| 4.1 | シミュレーションの諸条件 | 68 |
| 4.2 | リンク間距離とバッファの割り当て量 | 68 |
| 4.3 | 評価に用いる共通パラメータ | 78 |
| 4.4 | チャネル誤りパラメータ | 79 |
| 4.5 | シミュレーションの諸条件 | 83 |
| 5.1 | RM セルの周期によるオーバーヘッドとスループット | 91 |
| 6.1 | ハンドオーバー制御方式の比較 | 102 |
| 6.2 | MES セルのフィールド構成 | 104 |
| 6.3 | シミュレーションの諸条件 | 107 |

図一覧

| | | |
|------|---|----|
| 2.1 | ATM セル形式 | 7 |
| 2.2 | コネクションテーブル | 8 |
| 2.3 | ATM ネットワークのプロトコル参照モデル | 9 |
| 2.4 | ATM ネットワークのプロトコル構成と機能 | 9 |
| 2.5 | PNNI の QoS ルーティング | 16 |
| 2.6 | PNNI のクランクバックの観念 | 16 |
| 2.7 | 無線 ATM ネットワーク | 17 |
| 2.8 | 無線 ATM ネットワークのプロトコル参照モデル | 19 |
| 2.9 | Closed-loop flow controlled communication network | 29 |
| 2.10 | リンクバイリンクのクレジットベース制御 | 30 |
| 2.11 | エンド-ツ-エンド制御と VSVD 制御 | 32 |
| 2.12 | 一方向 VSVD スイッチのキュー構造 | 33 |
| 2.13 | 一方向 VSVD 方式のデータフロー | 33 |
| 3.1 | レートとクレジットの融合方式：RCFC | 37 |
| 3.2 | スイッチのバッファ構造 | 38 |
| 3.3 | CUP(Credit update protocol) | 38 |
| 3.4 | 順方向 RM セルの転送例 | 44 |
| 3.5 | データスロット及び制御スロットの形式 | 53 |
| 3.6 | 制御スロットの形式 | 53 |
| 3.7 | バッファ状態のフィードバック方法 | 56 |
| 3.8 | フレームアクセス例 | 58 |
| 3.9 | トークン発生方式による ABR フロー制御 | 59 |
| 3.10 | 周期的リセット方式による ABR フロー制御 | 59 |
| 3.11 | ABR 輻輳制御の VSVD 方式の適応 | 61 |
| 3.12 | VSVD スイッチでのレート計算 | 62 |
| 3.13 | 融合方式による ABR フロー制御 | 63 |
| 4.1 | シミュレーションモデル | 67 |
| 4.2 | リンク間距離とスループット及びセル損失率 | 69 |
| 4.3 | リンク間距離とバッファ要求量及び輻輳リンクのバッファ要求量 | 69 |
| 4.4 | リンク間距離と平均セル転送遅延時間及びセル遅延変動 | 70 |

| | | |
|------|--|-----|
| 4.5 | リンク間距離と RCFC 方式の各送信端末のスループット及び平均セル転送遅延時間 | 71 |
| 4.6 | リンク間距離と音声端末のスループット及び平均セル転送遅延時間 | 71 |
| 4.7 | 割当帯域とスループット及びセル損失率 | 72 |
| 4.8 | 割当帯域とバッファ要求量及び平均セル転送遅延時間 | 73 |
| 4.9 | 割当帯域とセル遅延変動及び RCFC 方式の各送信端末のスループット | 73 |
| 4.10 | 割当帯域と音声端末のスループット及び平均セル転送遅延時間 | 74 |
| 4.11 | ABR データトラヒックの発生パターン | 77 |
| 4.12 | チャンネル状態のモデル化 | 78 |
| 4.13 | ABR フロー制御方式のスループットおよび遅延時間特性 [総合トラヒック] | 80 |
| 4.14 | ABR フロー制御方式のスループットおよび遅延時間特性 [一般データ] | 80 |
| 4.15 | ABR フロー制御方式のスループットおよび遅延時間特性 [対話型データ] | 81 |
| 4.16 | シミュレーションモデル | 82 |
| 4.17 | 割当帯域とスループット及びセル損失率 | 84 |
| 4.18 | 割当帯域とバッファ要求量及び平均セル転送遅延時間 | 85 |
| 4.19 | 負荷とスループット及びセル損失率 | 85 |
| 4.20 | 負荷とバッファ要求量及び平均セル転送遅延時間 | 86 |
| | | |
| 5.1 | RM セルの発生周期とバッファの総要求量 | 91 |
| 5.2 | RM セルの発生周期と平均セル転送時間 | 91 |
| 5.3 | RM セルの発生周期とスループット | 92 |
| 5.4 | 共有出力バッファの構成 | 93 |
| 5.5 | 現レートの決める方法 | 95 |
| 5.6 | 入力レートの決める方法 | 96 |
| 5.7 | レートの変更周期を決める方法 | 96 |
| | | |
| 6.1 | Location Server エントリ | 98 |
| 6.2 | 無線 ATM ネットワークにおける位置管理 | 99 |
| 6.3 | フル再設定及び接続拡大ハンドオーバー方式 | 100 |
| 6.4 | 部分再設定及びマルチキャストハンドオーバー方式 | 101 |
| 6.5 | 動的なハンドオーバー方式 | 103 |
| 6.6 | 接続拡大及び部分再設定方式の MES セルのフロー | 104 |
| 6.7 | シミュレーションモデル | 106 |
| 6.8 | ABR サービスクラスのセル損失率及び VBR サービスクラスの最大遅延時間 | 107 |
| 6.9 | ABR の必要なバッファの要求量及び VBR の必要なバッファの要求量 | 107 |
| 6.10 | ABR の最大遅延時間及び VBR のセル遅延変動 | 108 |
| 6.11 | 2 フェーズ方式の MES セルのフロー | 110 |
| 6.12 | ABR のセル損失率及び最大遅延時間 | 111 |
| 6.13 | ABR の必要なバッファの要求量及び VBR の必要なバッファの要求量 | 111 |
| 6.14 | VBR の最大遅延時間及びセル遅延変動 | 112 |

第 1 章

序論

1.1 はじめに

従来のコンピュータ技術と通信技術では、それらを連携してトータルなサービス機能を得ようとすると、互いに制約があった。しかし、半導体技術によってコンピュータの情報処理速度やメモリ容量は飛躍的に増加してきた。また、通信技術におけるデータ（情報）の伝送速度は光ファイバによって、やはり飛躍的な向上がなされた。これらの二つにより新しく生まれた技術が、ATM(Asynchronous Transfer Mode)である。ATMは、情報通信革命をもたらす情報スーパーハイウェイの中核の技術であるため、研究が盛んに行われている。ATMの一般的な目的は local area network (LAN)、metropolitan area network (MAN)、wide area network (WAN) など、様々なネットワークとの接続を支援することである。ATM ネットワークにおける交換技術や管理、制御技術の進歩により、広帯域、マルチメディア、マルチポイント通信が今後の通信サービスとして期待されている。

ATM方式は、マルチメディア情報の伝送にとって大切な QoS (Quality of Service) の保証を行うことができ、すべてのデータを 53 バイト固定長のパケットに分割して伝送する非同期型のデジタル通信方式で、ATM フォーラムで規格化が進められている。ITU-T は 1987 年から検討を開始して広帯域 ISDN(B-ISDN) の標準化を進めるための中核となる伝送/交換技術として ATM を採用している。1997 年 3 月に NTT は、インターネットの標準プロトコル TCP/IP を高速処理する専用の LSI を搭載し、プロトコル・ヘッダ処理などをハードウェアで担わせることで 116Mbps 以上のデータ転送速度を確保し、ワークステーションの拡張スロットに装着して使う ATM 通信ボードを開発した。世界最初に商用 ATM ネットワークを提供したのは、サン・ディエゴをベースにした ATMNet で、サン・ディエゴ、ロスアンゼルス、シアトル、ニューヨークまでを全て Fore System 社の ATM を使用して接続し、155Mbps のバックボーンを構築している。日本では、ATM 普及促進を図る任意団体である ATM 日本委員会が 1993 年 11 月に設置され、ATM に対する技術的な調査と相互接続試験などを行った。ATM 方式は、有線 ATM ネットワークだけではなく、無線や衛星まで拡大している。

一方、無線通信ネットワークにおいても、最近のアンテナ、信号処理技術の進歩により、高速大容量化が進められ、マルチサービス提供への要求が高まっている。このような要求は、移動端末の小型、高機能、省電力化により、ますます高くなり、今後の無線通信ネットワークでも、音声情報のみならず、動画像、データ情報等のあらゆる表現メディアをあらゆる速度で統合的にサービスできる広帯域、マルチメディア通信が期待される。

今後の有線系のネットワークが ATM 技術に基づいて構築されることを仮定すると、有線系のネットワークと無線系のネットワークを結ぶ方法としては、まず、無線系のネットワークが最適された独自の通信プロトコルを持ち、有無線ネットワークにおいてプロトコル変換を行なう方法が考えられる。しかし、コネクション指向の通信を想定する ATM ネットワークとの相互接続のためには、データの形式だけではなく、シグナリング方法やサービス記述子などの変換までも必要となり、技術的に容易ではない。もう一つの方法は、ATM 技術を拡大し、無線リンクを含むネットワークにおいてエンド-ツ-エンド間に ATM コネクションを支援する方法である。今後、柔軟かつ効率的に通信ネットワークを構築するためには後者のようなアプローチが有利である [9][65]。

ATM ネットワークと無線通信ネットワークは各々独立分野として研究され、発展して来たのが今までの現状であり、最近、それらの統合的管理、制御機能に関する研究、いわゆる“無線 ATM ネットワーク”に関する研究が盛んである。

「無線 ATM」とは、有線 ATM ネットワークへの無線アクセスを実現することで、有線系の端末と“質的”に同様のサービスを無線リンクの移動端末に提供することを目指すものである。しかし、無線 ATM の実現に向けては解決すべき技術的問題が多く、世界中の研究機関でその研究が進められている。

ATM ネットワークでは、コネクションの設定時にエンド-ツ-エンドのすべてのリンクにおいて厳密な経路の選択と受付制御を行うことで、各サービスの品質を保証する。しかし、無線 ATM 環境では端末が自由に移動できるので、エンド-ツ-エンドの ATM コネクションを保持するためには、端末のハンドオーバーに関わる経路切替のためのルーティング制御、ハンドオーバーすることによって生じるトラフィック変動に対応するためのコネクション受付制御、ハンドオーバー時の経路切替に伴うセル損失の軽減技術などの検討が必要となる。また、高品質で広帯域の容量を有する光ファイバを用いることが一般的な有線系とは違って、電波を用いる無線リンクでは、周波数資源の制限によって容量が厳しく、伝送路の品質劣化が著しい。したがって、このような無線リンク上で広帯域のマルチメディアサービスを提供するためには、無線リンクの高品質化のための誤り制御、限られた周波数資源の有効利用のためのリンクアクセス制御方式などの検討が必要となる。また、これらの制御方式は無線リンク上の各コネクションのサービス品質要求条件に基づいて行う必要がある。無線伝送技術に関しては、構築するネットワークの環境に最適な技術の確立が必須であり、広帯域の容量が確保できる 20 ~ 60GHz の周波数帯におけるマルチパスフェージングやシャドウイング特性と誤り率改善のための変復調・等化器・アンテナ・符号化方式に関する検討が必要である。

ATM が従来の LAN に比べて優れている点は、音声や動画などのリアルタイムサービスに対して、その通信品質 (QoS) を保証することが出来る点である。通信品質はネットワーク内での転送遅延 (Cell Transfer Delay : CTD) とその変動 (Cell Delay Variation : CDV)、セル損失率 (Cell Loss Ratio : CLR) である。この通信品質を保証するため、ATM では、ネットワークリソース管理 (Network Resource Management)、呼受け付け制御 (Connection Admission Control : CAC)、UPC/NPC パラメータ制御 (Usage/Network Parameter Control)、フィードバック形の輻輳制御、優先制御 (Priority Control) などのトラフィック管理を行なう。また、ATM ではセルの転送品質である CLR、CTD、CDV を基にして、5 つ (CBR、rt-VBR、nrt-VBR、ABR、UBR) のサービスクラスが定義されており、コネクション設定時には、どのクラスを用いるか申告する必要がある [14]。

ネットワークの資源である帯域をを有効に使用するため、ABR は既存のデータアプリケーション

ンを收容し、CBR と VBR が帯域を優先的に使い、残った帯域を ABR ソースが公平に使用することである。ABR の場合、通常の LAN や Internet 同様、帯域予約を行なわないでデータ転送を行なう。帯域予約を行なっていないため、高負荷時にはセルの損失による再送が増大する恐れがあり、ネットワークのスループットが大きく低下する可能性がある。このような問題点を解決できるトラフィック制御の研究が必要である [31]。

有無線が統合された ATM ネットワークでの ABR トラフィック制御は有無線区間の環境の違いにより、エンドユーザの QoS を保証するためには有線区間と無線区間を分け、エンド-ツ-エンド間の輻輳制御ができるようなトラフィック制御が必要である。

1.2 本論文の目的

有線 ATM ネットワークでは、ユーザの要求品質である QoS を保証し、資源を有効に使用するため、サービスクラスとトラヒックパラメータを設け、様々なトラヒック制御により果している。そのサービスクラスの中で、最も注目を浴びているクラスが ABR(Available Bit Rate) であり、ABR サービスクラスのトラヒック制御は輻輳制御を行う。今まで提案された輻輳制御は、レートベース制御とクレジットベース制御に大きく二つに分けられる。しかし、両方式は長所と短所があり、LAN から WAN まで適用することは難しい点がある。本論文の目的の一つは、ネットワーク規模に関係せず、ユーザの QoS を保証できる方式として RCFC(Rate and Credit Flow Control) 提案し、既存方式との比較性能評価により提案方式の優れた点を検証する。

また、もう一つの目的は、有無線を統合した ATM ネットワークで、ABR トラヒックの輻輳制御に対する研究である。有無線統合した ATM ネットワークでは、有線区間と無線区間の様々な状況の違いがあるため、有線区間と無線区間を分け、有線区間では RCFC 方式を適用し、無線区間では動的割当方式を適用する。具体的には、有線区間と無線区間のネットワーク状況を適切にフィードバックさせ、送信端末や仮想端末で伝送速度を制御することにより、ユーザの QoS(セル廃棄率、セル遅延、セル遅延変動など)の保証とユーザ間の公平性、バッファの節約、スループットの向上を図るような方式を提案し、検証する。

また、無線 ATM ネットワークの設計において二つの課題がある。一つは、マルチメディアサービスは高速データレートを要求しているが、無線リンクでの高速化は課題である。もう一つは、移動端末がマクロセル間を移動した場合、短時間内に ATM のコネクションを再設定することが課題である。本論文では、端末が移動した場合、トラヒック特性によりハンドオーバー方式を動的に適応する。動的ハンドオーバー方式を提案し、ハンドオーバー間の ATM セルの順序保証、ハンドオーバーの処理時間の短縮、移動ユーザの QoS の保証を検証する。

1.3 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。

第2章で、本研究に関する全般的な基礎技術を概説する。まず、ATM ネットワークの概念、ATM Forum が規定したサービスクラスとトラフィックパラメータ、トラフィック管理、ATM 網のルーティング方式である PNNI(Private Network to Network Interface) について説明を行う。次に、無線 ATM ネットワークの概念、技術的な課題、研究動向について述べる。また、ATM ネットワークにおける ABR トラフィック制御であるレートベース制御とクレジットベース制御の基本動作と両方式の比較などについて詳細に概説する。

第3章で、有無線 ATM における ABR トラフィックの輻輳制御の設計を行う。まず、有無線区間の課題を提起し、その解決策として有線区間での ABR トラフィックの輻輳制御方式として RCFC 方式の設計と、無線区間での動的割当方式として周期的リセット方式とトークン方式を設計する。また、有無線統合 ATM 網での ABR トラフィック制御方式として有無線区間を分け、有線区間では RCFC 方式と無線区間での新しい方式である融合方式を適用するため、基地局を VSVD(Virtual Source/ Virtual Destination) スイッチとして設計を行う。

第4章で、有線区間での RCFC 方式に関して性能評価の結果を述べる。シミュレーションのモデルと評価項目について述べ、他の方式との比較性能評価を行い、結果について述べる。無線区間でのチャンネル動的割当方式に関してシミュレーションモデル、評価項目について述べ、各方式に対して比較評価を行い、結果について述べる。最後に、有無線区間での VSVD 方式を用いた場合、有線区間では RCFC 方式を適用し、無線区間での各動的割当方式について比較性能評価を行い、結果について述べる。

第5章で、本章では、有無線統合 ATM での ABR 輻輳制御の設計時、検討すべき事項に対して考察する。有線区間での RCFC 方式を設計時、検討すべき事項を考察する。本考察では、トラフィックパラメータの選択の一点として制御セルの発生周期を考察する。また、スイッチでのバッファの節約するための方法とスイッチでの輻輳検出方式の改善を考察する。VSVD スイッチでのレートの計算を行う時、選択すべき事項について考察する。

第6章で、無線 ATM における技術的な課題である、移動性に関して位置管理とハンドオーバー方式について概説し、その課題を解決するための動的ハンドオーバー方式を提案し、設計について検討を行う。また、無線区間でのハンドオーバー方式に関してシミュレーションモデルと評価項目、サービスクラスによる評価を行い、結果について述べる。無線区間での動的ハンドオーバー方式を適用する時、ABR トラフィック場合、接続拡大を適応するが、接続拡大方式は遅延や資源の浪費の問題点がある。その問題点を解決するために2フェーズハンドオーバー方式を提案し、設計を行う。2フェーズハンドオーバー方式、部分再設定方式及び接続拡大方式について比較性能評価を行い、結果について述べる。

第7章で、まとめと結論を述べる。

第 2 章

有無線 ATM に関する研究

本章では、本研究に関する基盤技術と従来の研究についてまとめる。まず、ATM 技術について、基本的な概念と ATM Forum が規定したサービスクラスとトラフィックパラメータ、また、トラフィック管理、ATM のルーティング方式である PNNI について概説する。次に、無線 ATM ネットワークの概念、技術的な課題、研究動向について述べる。また、ATM ネットワークにおける ABR トラフィック制御について詳細に概説し、各方式の長所と短所などについてまとめる。

2.1 ATM ネットワーク

従来の通信ネットワークでは、サービスとネットワークの間に明確な関係があり、サービスごとに独自のネットワークが存在した。例えば、音声電話用としては回線交換公衆電話網、データ通信用の packets 交換網、テレビ放送用の有線放送網などが独立に運用されており、専用のサービス以外のサービスを効率的に収容することはできない。これらのネットワークを国際的な標準に基づいた単一のユーザ-ネットワーク-インターフェース (UNI: User-Network Interface) で結ぶのが ISDN (Integrated Services Digital Network) である。

しかし、ISDN では UNI は統一されたものの、内部的には物理的に独立された専用のネットワークが存在し、従来のネットワークと変わりはないのがその技術的限界である。今後の通信においてはユーザの要求が高度化・多様化されると予想され、様々なサービスに柔軟に対応できる次世代ネットワークの技術が必要になってきた。

このような背景から登場したのが、ATM (Asynchronous Transfer Mode) 技術であり、今後の高速・広帯域ネットワークとして期待される B-ISDN (Broadband ISDN) の基盤技術として現在研究・実用化が進んでいる。

本節では、ATM の概念、コネクションパラメータとサービスクラス、コネクション管理、トラフィック制御・リソース管理方式について概説する。

2.1.1 ATM の概念

ATM では、単一の物理網で多様なサービスを収容し、各サービスの品質をエンド-ツ-エンドで保証することで、今後のマルチメディア通信に柔軟に対応することが目的である。そのために、ATM では、固定長のショートパケットによるパケット交換方式とコネクション型の疑似回線交換方式の両

方の考え方を採り入れている。

固定長のショートパケット

単一の物理網で多様なトラフィックを多重化し、その転送やパケット化遅延時間を抑制するため、「ATMセル」と呼ばれる固定長のショートパケットを転送単位として用いる。図 2.1 に ATM セルの形式を示す。

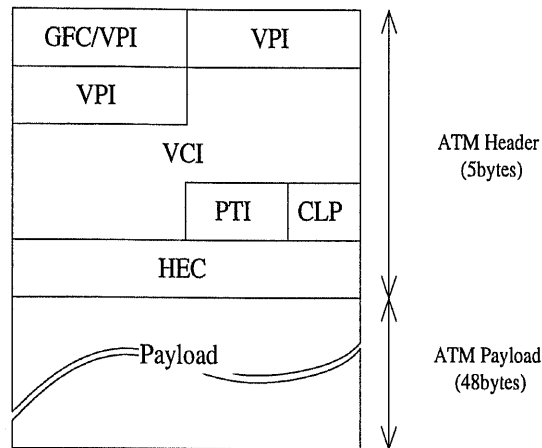


図 2.1: ATM セル形式

1ATMセルには48バイトのペイロード部と5バイトのヘッダ部があり、ヘッダ部には以下のようなフィールドが設けられる [50]。

- GFC(Generic Flow Control): 複数の端末が接続される UNI(User-Network-Interface) におけるフロー制御に用いる。NNI(Network-Network-Interface) においては、VPIとして用いられる。
- VPI/VCI(Virtual Path/Virtual Channel Identifier): コネクションを識別し、ルーティングを行うためのラベルである。VPIはUNIにおいては8ビットで、NNIにおいては12ビットが設けられる。VCIは16ビットが設けられる。
- PTI(Payload Type Identifier): ペイロードの種別・輻輳状態・AAL UUI(User-User Indication) 情報を表すフィールドである。PTIフィールドは表 2.1のように定義されている。
- CLP(Cell Loss Priority): ネットワーク内での輻輳制御に用いられる。通常は、“0”であり、“1”であるセルは、輻輳時に交換機内で選択的に廃棄することができる。
- HEC(Header Error Check): ヘッダ部の誤りの検出とセル同期のためのフィールドである。HECを除くヘッダ全域の4バイトに対して生成多項式 $x^8 + x^2 + x + 1$ による単一ビットの誤り訂正と複数ビットの誤り検出能力を有するCRC(Cyclic Redundancy Check) 符号である。

VPI/VCI ラベルによる高速セル交換

| |
|----------------------------------|
| 0XX = ユーザデータセル |
| 1XX = 制御セル |
| 00X = 輻輳なし |
| 100 = Segment OAM F5 関連セル |
| 01X = 輻輳あり |
| 101 = End-to-end OAM F5 関連セル |
| 0X0 = SDU type 0 |
| 110 = RM(Resource Management) セル |
| 0X1 = SDU type 1 |
| 111 = 未使用 |

表 2.1: ATM セルにおける PTI フィールド

ATM では、ATM セルのヘッダ部にある VPI/VCI ラベルを用いて複数のコネクションをラベル多重化し、高速セル交換を行う。VPI/VCI ラベルは、通信端末の物理的な固定アドレスではなく、コネクションの設定時にリンクごと独立に割り付けられる。コネクションが設定されると、各リンクの交換ノードではコネクションテーブルを参照し、入力 ATM セルに対して入力 VPI/VCI を出力ポート番号と出力 VPI/VCI に付け替える。交換機の内部では、出力ポート番号によって、各セルがハードウェア的に自己ルーティングされ、出力 VPI/VCI を持つ ATM セルとして次のリンクに転送される。図 2.2 にコネクションテーブルの例を示す。ここで、 C_{in} は入力 VPI/VCI であり、 C_{out} は出力 VPI/VCI である。 P_{out} は出力ポート番号で、自己ルーティングに用いられる内部的ヘッダである。 C_{state} はトラヒックパラメータを含むその他のコネクション状態情報である。

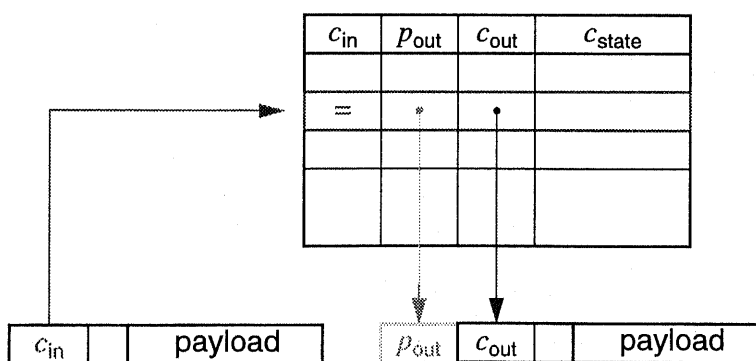


図 2.2: コネクションテーブル

コネクション型通信

ATM ネットワークでは、各トラヒックのサービス品質を保証するために、エンド-ツ-エンドのコネクション型通信を提供する。呼設定の要請があると、エンド-ツ-エンドのすべてのリンクにおいて帯域、交換機バッファ、VPI/VCI などのリソースが確保できるように経路の選択を行う。成功

したら、選択された経路に沿って通信が行われ、上位のレイヤから見るとコネクションが維持する間は要求した品質の専用回線があるかのような通信サービスを提供する。ただし、ATM ネットワークでは、上位レイヤサービスの種別に依存しない転送サービスを提供するので、上位レイヤと ATM レイヤの整合を取るためにサービス依存型の AAL(ATM Adaptation Layer) レイヤがエンド端末に設けられる。図 2.3 に ATM ネットワークのプロトコル参照モデルを示す。また、図 2.4 に各レイヤの機能について説明する。

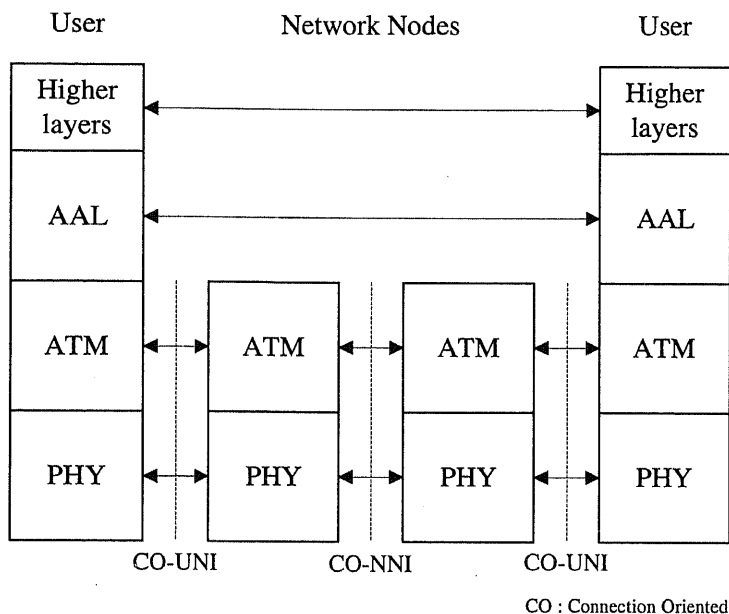


図 2.3: ATM ネットワークのプロトコル参照モデル

| Layers | | Functions |
|---------------|--|---|
| Higher layers | | |
| AAL | Convergence Sublayer (CS) | Service specific (SSCS) Common part (CPCS) |
| | Segmentation and Reassembly (SAR) sublayer | Segmentation and reassembly |
| ATM | | Generic flow control Cell header generation/extraction Cell VPI/VCI translation Cell multiplexing/demultiplexing |
| PHY | Transmission Convergence (TC) sublayer | Cell rate decoupling Cell delineation Transmission frame generation/recovery |
| | Physical Medium Dependent (PMD) sublayer | Bit timing Physical medium |

図 2.4: ATM ネットワークのプロトコル構成と機能

PHY レイヤでは、通信回線の物理的・電氣的インターフェースを分担する。物理媒体上でビット伝送機能を提供し、信号波形の生成・受信、ビットタイミング、電気/光変換などを行う。

ATM レイヤでは、多様なトラヒックの収容と共に、伝送路の効率的な利用を図るため、様々なトラヒックの統計的な性質を利用した多重化を行っている。したがって、輻輳状態によるコネクション品質の低下を避けるためには、コネクション管理、トラヒック制御・リソース管理機能が必要である。これらの機能については後述する。

そして、AAL レイヤでは、サービス特性に合わせてパケットのセル化や組み立て、誤り制御、再生タイミングの抽出などを行う。

2.1.2 サービスクラスとパラメータ

ATM ネットワークでは、コネクションの設定時に、予想されるトラヒックの特性を記述するトラヒックパラメータと、そのコネクションが必要とするサービス品質 (QoS: Quality of Service) を表す QoS パラメータをあらかじめユーザがネットワーク側に申告し、この情報を用いて後述するコネクション受付制御などを行う。

ATM Forum の UNI 4.0 仕様では、次のようなトラヒックパラメータと QoS パラメータを定義し、その組合せで5つのサービスクラスを定義する。ここでいうサービスクラスとは、ネットワーク側から見たコネクションの性質上の分類であり、あらゆる上位レイヤのサービスは、この5つの中の一つのサービスクラスとしてマッピングされる。

トラヒックパラメータ

- **ピークセルレート (PCR: Peak Cell Rate)**
コネクションで送信するセルの瞬間最大速度である。ネットワークに送出されるセルストリームの最小時間間隔の逆数で定義される。次の CDVT と対で使用される。
- **セル遅延変動許容値 (CDVT: Cell Delay Variation Tolerance)**
ネットワーク側から見た UNI において、指定されたセル到着時間間隔の最小値からどれだけの偏差が許されるかを表すパラメータ。このパラメータ値は、ネットワーク側で指定するものであり、コネクション設定時に交渉はされない。
- **平均セルレート (SCR: Sustainable Cell Rate)**
コネクションの実際の平均速度はあらかじめ知ることができない。そのため、PCR バーストの最小間隔と次の BT から求めた最大平均速度を表す。次の BT と対で使用される。
- **バースト許容値 (BT: Burst Tolerance)**
PCR での送信が許される最大時間である。
- **最小セルレート (MCR: Minimum Cell Rate)**
コネクションが許容できるセル速度の最小値である。ABR サービスクラスだけが使用する。

QoS パラメータ

- **最大セル転送遅延 (Max CTD: Maximum Cell Transfer Delay)**
セルの先頭ビットが送信元を出てから、そのセルの最後尾ビットが相手先に到着するまでに経過する遅延時間の最大値である。
- **平均セル転送遅延 (Mean CTD: Mean Cell Transfer Delay)**
セルの先頭ビットが送信元を出てから、そのセルの最後尾ビットが相手先に到着するまでに経過する遅延時間の平均値である。
- **セル遅延変動 (CDV: Peak-to-Peak Cell Delay Variation)**
コネクション中の最大セル転送遅延と最小セル転送遅延との差である。
- **セル損失率 (CLR: Cell Loss Ratio)**
伝送路誤り、交換機における輻輳などによりネットワーク内で紛失するセルの割合である。

ATM Forum の UNI 4.0 仕様では、以上のトラヒックパラメータと QoS パラメータとの組合せにより、5つのサービスクラスを定義する。各サービスクラスとパラメータとの関係を表 2.2 に示す。各サービスクラスの概要は次の通りである。

- **Constant Bit Rate (CBR)**
音声や映像のように遅延と遅延変動の制限に厳しいリアルタイムアプリケーションに使用される。指定した CTD 以上の遅延を受けたセルはアプリケーションにとって無意味となる。CBR トラヒックはトラヒックパラメータ PCR と CDVT によって規定される。PCR に等しい固定量のリソースが必要である。QoS パラメータとしては CTD、CDV、CLR が規定されている。
- **real-time Variable Bit Rate (rt-VBR)**
CBR と同様、音声や映像のように遅延と遅延変動の制限に厳しいリアルタイムアプリケーションに使用される。ただし、rt-VBR トラヒックは発生情報量が時間と共に変動する可変ビットレートトラヒックである。指定した CTD 以上の遅延を受けたセルはアプリケーションにとって無意味となる。rt-VBR はトラヒックパラメータ PCR、CDVT、SCR、BT によって規定される。割り当りソース量は、バッファサイズ、スケジューリング規則、要求 CLR など様々な要因によって決められる。いずれにしても、その量は SCR と PCR の範囲内である。どのように割り当りソース量を決めるかに関しては、標準化されず、サービス提供者が独自の方式を適用できる。QoS パラメータとしては、CTD、CDV、CLR が規定されている。
- **non-real-time Variable Bit Rate (nrt-VBR)**
バースト性トラヒックを伴う非リアルタイムアプリケーションに使用される。トラヒックパラメータ PCR、CDVT、SCR、BT によって規定される。割り当りソース量は、rt-VBR と同様、種々の要因に基づいて決められる。QoS パラメータとしては CTD と CLR が規定されている。
- **Available Bit Rate (ABR)**
nrt-VBR と同様、バースト性トラヒックを伴う非リアルタイムアプリケーションに使用される。ただし、ABR トラヒックはコネクション設定時に決められた最小限のリソースの割当だけを

保証し、それ以上は“best effort”アプローチで割り当てる。ABRはTCP/IPのように輻輳制御・フロー制御機能を有するアプリケーションに適している。ABRを規定するトラフィックパラメータは、情報伝送速度の上限を定めるPCR、必要最小限のリソース量を定めるMCR、およびCDVTである。ここで、MCRは0に設定することも可能である。ネットワーク側では、できる限りCLRを低く抑えるような制御を行うが、それ以外のQoS保証の責任は負わない。

- **Unspecified Bit Rate(UBR)**

UBRは、リソースの予約的割当もなく、ネットワーク側から何のサービスの保証も受けることができない。サービスの保証は、エンド-エンドの上位層プロトコルによって行われることと想定する。UBRはトラフィックパラメータPCRとCDVTによって規定される。QoSパラメータは規定されていない。

- **Unspecified Bit Rate(UBR)+**

UBRクラスは、ATMフォーラムで最後に規定された仕様である。このUBRクラスをEPD(Early Packet Discard)や比例キューイング(Fair Queuing)といったメカニズムを組み合わせることで、UBR+と呼ばれる非常に効率的なサービスクラスが実現できる。EPDは、輻輳が発生した際にIPパケット内のすべてのセルを一度に廃棄する仕組みであり、一方、比例キューイングは、UBRクラスの各VCに対してその負荷に比例して帯域幅を分配し、負荷の高いVCが帯域幅全体を消費してしまう状況をなくす。UBR+は、比較的に近いうちに実現可能な輻輳メカニズムである。

| Parameter | Service Class | | | | | Attribute |
|------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| | CBR | RT-VBR | nRT-VBR | ABR | UBR | |
| CLR | specified | specified | specified | specified | unspecified | QoS |
| Max CTD | specified | specified | unspecified | unspecified | unspecified | |
| Mean CTD | unspecified | unspecified | specified | unspecified | unspecified | |
| CDV | specified | specified | unspecified | unspecified | unspecified | |
| PCR & CDVT | specified | specified | specified | specified | specified | Traffic |
| SCR & BT | N/A | specified | specified | N/A | N/A | |
| MCR | N/A | N/A | N/A | specified | N/A | |

表 2.2: ATM サービスクラスと対応する各パラメータ

2.1.3 トラフィック管理

ATMでは、音声や動画などのリアルタイムサービスに対して、通信品質を保証するため、コネクションの設定時にリンク帯域などの網内のリソースの割当を行い、ネットワーク内でサービスごとの

優先制御を行なう。品質保証ができない場合には、コネクションの設定を受け付けられない呼受け付け制御を行なう。このリソース割り当て制御は、コネクション設定時にあらかじめ帯域を割り当てておき、割り当て帯域以上に転送を行なわないことから Preventive 制御と呼ばれる。一方、データ通信の場合は、あらかじめ割り当てべき帯域を決めることはできない。したがって、ネットワーク容量以上にデータパケットトラヒックがネットワーク内に流入する可能性がある。そこで、このような場合には、ネットワークの容量以上にトラヒックが流入しないように、ネットワークの使用状況を監視し、輻輳度を送信元に通知することによる動的な入力規制の輻輳制御を行なう。以下のような ATM でのトラヒック管理について説明する [29][10]。

1. コネクション受付制御: CAC (Connection Admission Control)
2. UPC (Usage Parameter Control) / NPC (Network Parameter Control)
3. 優先度制御: PC (Priority Control)
4. トラヒックシェーピング: TS (Traffic Shaping)
5. ネットワーク資源管理: NRM (Network Resource Management)
6. フィードバック制御: FC (Feedback Control)

コネクション受付制御

コネクション受付制御とは、ATM コネクションを受け付けたり、拒否したりするために、呼設定段階でネットワークが行う一連の処理のことである。特定の呼に対するコネクション要求は、次の場合にのみ受け付けられる。

- 情報をその新しいコネクションが要求する QoS で運ぶことのできる資源が、ネットワーク内のすでに確立されているコネクションで合意済みの QoS を維持し、ネットワーク全体を通じて十分に利用できるときに限られる。

呼設定段階には、CAC がコネクション受付／拒否についての正確な判断を下せるように、ユーザとネットワークのあいだで次のような情報についての交渉が行われる。

- ネットワークが運べるトラヒック量の明確な限界。適切に運ばれたトラヒック記述子によって表される。
- 要求される QoS クラス、セル伝送遅延、遅延ジッタ、及びセル損失率によって表される。
- セル遅延変動に適応できる許容度。

利用パラメータ制御／ネットワークパラメータ制御

UPC/NPC 制御は、UNI(ユーザーネットワーク間インタフェース)と NNI(ネットワーク間)でそれぞれ行われる。これは、ATM コネクション上のトラヒックを、セルのトラヒック量やルーティングの妥当性の観点から、ネットワークが監視したり制御したりするために行う一連の処理を表して

いる。この機能の主要目的は、すべての ATM コネクションが交渉トラフィック契約に従うよう強制することである。UPC / NPC 機能がないと、例えば端末機器の障害や、過剰なセル遅延変動、さらにはトラフィックの乱用といったものが、すでに確立されている他のコネクションに対して約束されている QoS に、重大な影響を及ぼす可能性がある。

理想的な UPC / NPC アルゴリズムは、次に示す主要機能を持つべきである。

- どのような不正トラフィック状況をも検出できる能力
- パラメータ違反に対する迅速な反応時間
- 実装の簡易さ

優先度制御

優先度制御は、CLP (Cell Loss Priority=セル損失優先度) ビットを使って、ユーザが異なる優先度のトラフィックを生成するときに使われる。ネットワークは、必要であれば低優先度のセルを選択的に捨て、高優先度を持ったセルのネットワークパフォーマンスをできる限り保護する。

トラフィックシェーピング

トラフィックシェーピングは、CDV (Cell Delay Variation: セル遅延変動) が ATM コネクションの最高セルレートに与える影響を、部分的に補償するものである。トラフィックシェーピング機構としては、個々の ATM コネクションセルを、その最高セルレートや適切なサービス方式に応じて、間隔を空け直す手法がある。

トラフィックシェーピングが ATM 情報源の端末で使われる場合、これは、VCC (Virtual Channel Connection) や VPC (Virtual Path Connection) に送出されるセルのストリームが、望ましい特性を獲得するようにするための機構となる。トラフィックシェーピングが ATM 交換機で使われる場合ならば、これは、VCC や VPC 上のセルストリームのトラフィック特性を変えて、これらのトラフィックに必要とされる修正を加える機構となる。トラフィックシェーピングは、ATM コネクション上のセルの順序についての一貫性を維持しなければならない。トラフィックシェーピングは、セルの間隔を適当に空けてやることによって、最高セルレートを下げたり、バースト長を制限したり、CDV を減らしたりすることができる。トラフィックシェーピングは必須の機能ではなく、任意に選択することができる。例えば、ATM 端末では、CLP=0 セルと CLP=1 セルの両方を合わせたセルストリームを交渉最高レートにシェーピングする方法を選んでもよく、また、CLP=0 セルストリームを交渉最高セルレートにシェーピングしない代わりに、ネットワークに準拠していない CLP=0 のセルを CLP=1 に設定する方法を選んでも良い。

ネットワーク資源管理

仮想パスは、B-ISDN におけるトラフィック制御と資源管理の重要な構成要素である。この仮想パスは、次のような目的に使うことができる。

- CAC を簡素化する

- 異なる QoS を求めるトラフィックタイプを分離することにより優先度制御方式を実装する
- 特定のトラフィック制御方式の運用のためのメッセージを効率的に配布する
- UPC / NPC をトラフィック全体に適用できるように、ユーザ間サービスを統合する

VPC 上に容量を事前に準備しておくことにより、個々の VCC を確立するのに必要な処理を著しく減らすことができる。個々の VCC は、VPC が終端されるノードで簡単なコネクション受付の判断をすることによって確立できる。VPC に容量を準備しておく戦略は、容量に関するコスト増加と、制御に関するコスト低減との、得失の兼ね合いによって決められる。

CAC は、遅延の差が小さくて、異なったセル損失率を持つような VCC を必要とするいくつかのサービス (マルチメディアサービスなど) 用として、共通のルーティング制御と共通の優先度制御を組み合わせて使うことができる。

ネットワーク事業者が仮想チャネルリンクの統計多重を適用しているときには、トラフィックを分離して他のタイプのトラフィックとの統計多重を避けるために、仮想パスコネクションを使うことができる。この分離するという要件は、ネットワークの発信元 / 宛先の組のあいだであらゆる種類の QoS を運ぼうとすると、複数の仮想パスコネクションが必要になるかもしれない、ということを示している。

フィードバック制御

ATM コネクション上に送出されたトラフィックを、ネットワーク要素の状態に応じて規制するために、ネットワークあるいはユーザが行う一連の処理である。フィードバック制御は、主に ABR サービスクラスで行う制御で、後で詳細に述べる。

2.1.4 ルーティング (PNNI: Private Network to Network Interface)

ATM は電話に似て通信相手との間にコネクションを張ってからデータを送る通信方式で、コネクションを張ることをシグナリングと言う。そのためには、前もって相手がどの方向にいるのかが判るようにしておかなければならない。それがルーティング情報の交換である。このため、PNNI は ATM フォーラムが定める ATM スイッチと ATM スイッチ間のプロトコルで、プラグアンドプレイ指向を保つ。スイッチ間の接続状態を自動的・動的に反映する。PNNI は、ルーティング情報の交換を自動的に行うので、SVC (Switched Virtual Circuit) ネットワークの導入を簡易化でき、また、動的に行うことにより、迂回路の選択が出来、回線障害に強い。また、階層化にすれば、大規模 SVC ネットワークの構築に有効なプロトコルである。また、これからの PNNI は、要求された QoS (セル速度、セル転送遅延、セル遅延変動、セル損失など) に対応できるような通信アプリケーションを意識したルーティングが実現できる。

PNNI は次のように三つのステップで行う。

- 隣接する ATM スイッチ間での接続構造把握
- データベースの同期
- トポロジ情報の交換

PNNI のシグナリングプロトコルは次のようである。

- 階層ソースルーティング：グループ内のルーティングを入口のスイッチが実行する。
- QoS ルーティング：セル転送遅延、セル遅延変動、セル損失を基に、要求された QoS を満足させる 1 本のパスを提供する。
- クランクバック：入口のスイッチで OK でも、ルートの中で問題となった場合に引き返して迂回ルートを取る。

PNNI の QoS ルーティングとクランクバックの概念を図 2.5、図 2.6 に示す。

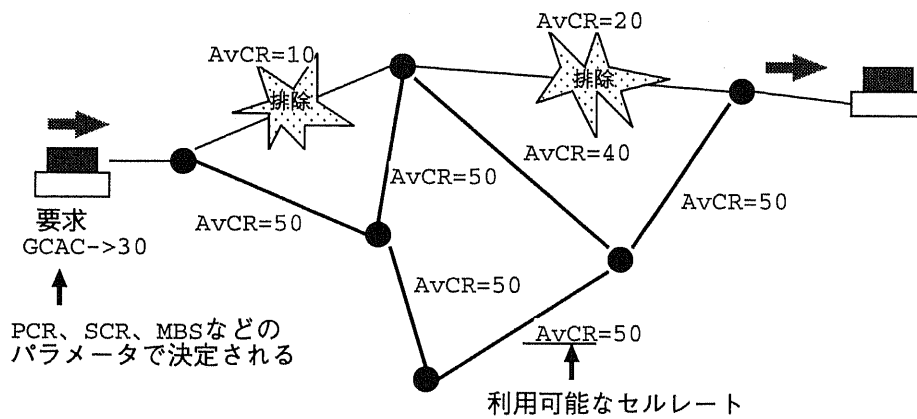
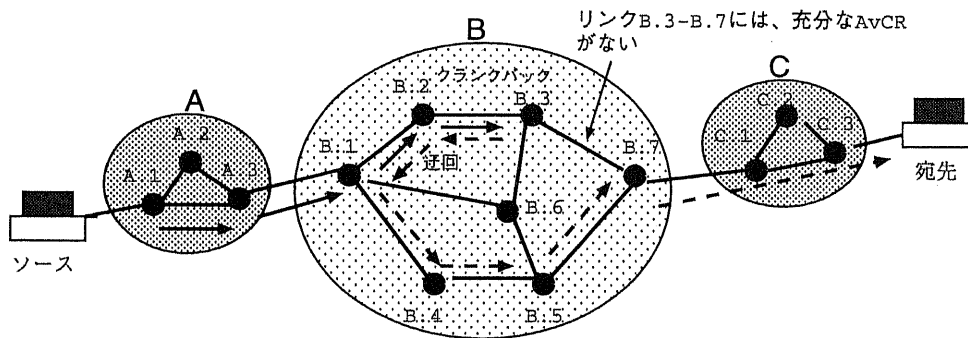


図 2.5: PNNI の QoS ルーティング



クランクバック—PNNIシグナリング時に先のリンクに十分な要求値がない場合、DTLを通してピア・グループ内のノードに当該呼を戻し、代替パスを探した上で迂回する発呼動作

図 2.6: PNNI のクランクバックの観念

2.2 無線 ATM ネットワーク

「無線 ATM」とは、有線 ATM ネットワークへの無線アクセスを実現することで、有線系の端末と“質的”に同様のサービスを無線リンクの移動端末に提供することを目指すものである。しかし、その実現に向けては解決すべき技術的問題が多く、世界中の研究機関で研究が進められている。本節では、無線 ATM の概念、無線 ATM ネットワークにおける技術的課題と、従来の研究について、マルチメディア無線アクセスとの関連性が深い無線リンクアクセス制御方式を中心にまとめる。

2.2.1 無線 ATM ネットワーク

無線 ATM ネットワークの目的は、光ファイバ上での ATM 転送能力を透過的、シームレス、また効率的に拡張し、有線・無線系にまたがる総合サービスネットワークを構築することである。サービスの側面から見ると、有線 ATM ネットワークで提供されているサービスタイプ、ビットレート、また QoS レベルを適切な範囲で無線アクセスリンクで収容することを意味する。表 2.3 に無線 ATM ネットワークにおける代表的アプリケーションとその要求条件を示す。

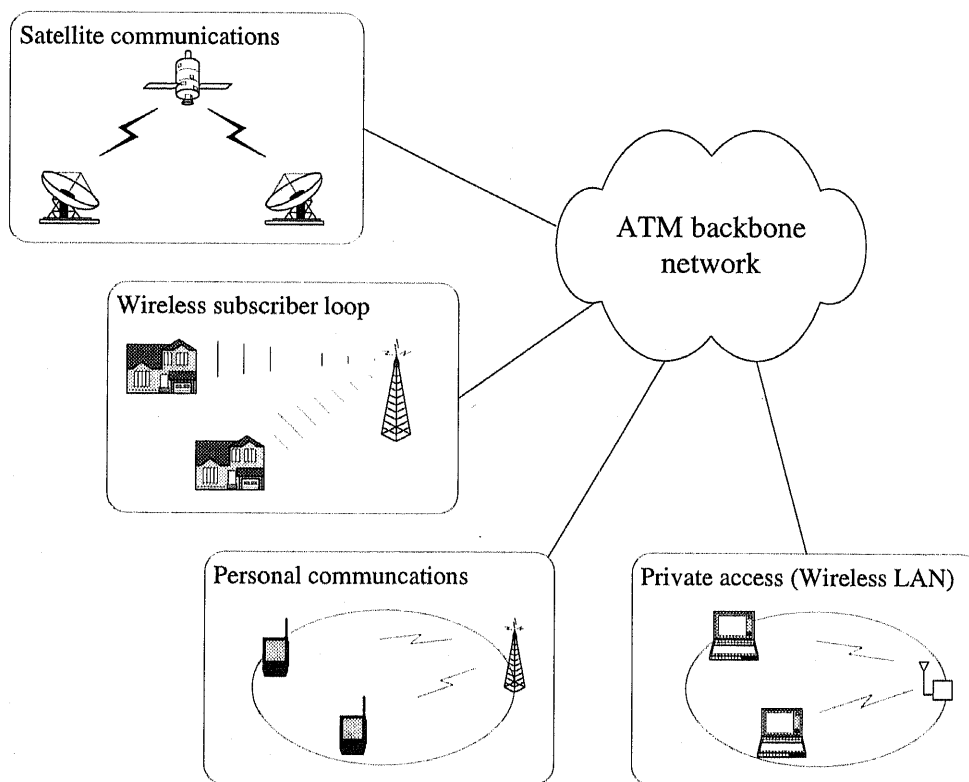


図 2.7: 無線 ATM ネットワーク

図 2.7 に示すように、無線 ATM の適用分野としては、加入者アクセスネットワーク・広帯域移動体通信ネットワークなどの公衆ネットワークとキャンパス・オフィス環境のプライベートネットワークなどがある。また、衛星間リンク (ISL: Inter-satellite Link) においても ATM に基づいたルーティングを行うことにより、空中での全地球規模の仮想的な交換ネットワークを構成することも試みられ

| Applications | Service Type | QoS | Bit-rate Range |
|---|--------------------------|--|---|
| Voice telephony | CO/CBR | Call blocking permitted. Low-med cell loss OK. Isochronous. | 2.4 ~ 32 kbps |
| Digital audio | CO/CBR | Call blocking permitted. Low cell loss required. Low delay jitter. | 2.4 ~ 32 kbps |
| Teleconference Multimedia comm. Digital video | CO/CBR or CO/VBR | Statistical mux (for VBR). Call blocking permitted. Low-med cell loss OK. Low delay jitter. | 64 ~ 384 kbps (Teleconference) 1 ~ 6 Mbps (TV/VCR quality) |
| Digital HDTV | CO/CBR | Call blocking permitted. Low-med cell loss OK. Low delay jitter. | 15 ~ 20 Mbps |
| General computer data | CL Best effort packet | No call blocking. Low cell loss required. Med delay & jitter OK. | 0.1 ~ 1 Mbps |
| E-mail | CL Best effort packet | Low transfer rate. No call blocking. Low cell loss OK. High delay OK. | 9.6 ~ 128 kbps |
| Hightspeed data (file transfer, multimedia) | CL Burst mode packet | Hight transfer rate. Very low cell loss reqd. Med delay & jitter OK. | 1 ~ 10 Mbps |

表 2.3: 代表的アプリケーションとその要求条件

ている [79]。普及の初期段階におけるニーズを考えると、最も注目されるのは、キャンパス・オフィス環境のプライベート系の LAN(Local Area Network) である。このような環境では、高速・広帯域サービスの提供が要求されており、ATM 技術の大容量性、優れた拡張性と管理・運用の容易性等から、最近、有線系における ATM LAN の導入が増えつつある。また、高機能 PDA(Personal Digital Assistant)・ノート型パソコン等のマルチメディア機能を持つ移動端末が多く、無線アクセスネットワークとしての無線 ATM の導入は適切である。

無線 ATM では、従来の有線系の ATM ネットワークの機能に加えて無線リンクの高品質化のための誤り制御・共有空中メディアへのアクセス制御機能が W-DLC(Wireless Data Link Control) 層と W-MAC(Media Access Control) 層に実装される。また、端末の移動性をサポートするための制御機能がシグナリングプロトコルに加わる。

2.2.2 無線 ATM ネットワークにおける技術的課題

無線 ATM における技術的課題は、大きく分けて、端末の移動性・可搬性を支援するための「コネクション管理・トラヒック制御」に関する課題と、無線リソースの有効利用・無線リンクの高品質化のための「無線リンクアクセス」に関する課題に分類することができる [63]。

そもそも ATM ネットワークでは、コネクションの設定時にエンド-ツ-エンドのすべてのリンクにおいて厳密な経路の選択と受付制御を行うことで、各サービスの品質を保証する。しかし、無線

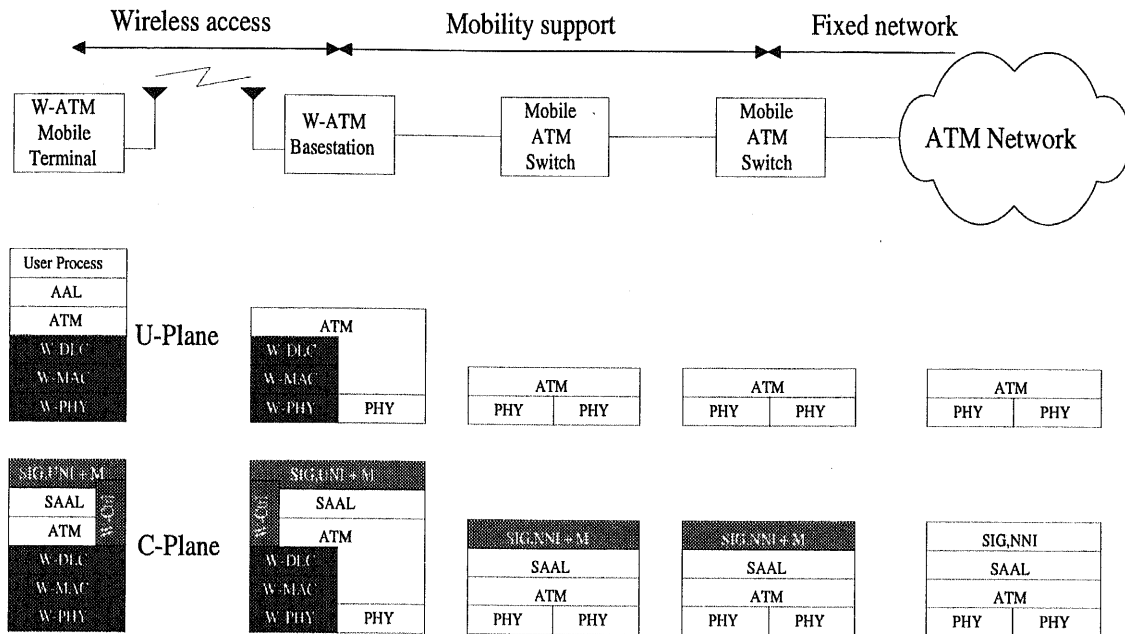


図 2.8: 無線 ATM ネットワークのプロトコル参照モデル

ATM 環境では端末が自由に移動できるので、エンド-ツ-エンドの ATM コネクションを保持するためには、端末のハンドオーバーに関わる経路切替のためのルーティング制御、ハンドオーバーすることによって生じるトラフィック変動に対応するためのコネクション受付制御、ハンドオーバー時の経路切替に伴うセル損失の軽減技術、端末の位置登録と追跡などの「コネクション管理・トラフィック制御」に関する技術の研究・開発が必要となる。

また、高品質で広帯域の容量を有する光ファイバを用いることが一般化されている有線系とは違って、電波を用いる無線リンクでは、周波数資源の制限によって容量が厳しく、伝送路の品質劣化が激しい。したがって、このような無線リンク上で広帯域のマルチメディアサービスを提供するためには、無線リンクの高品質化のための誤り制御、限られた周波数資源の有効利用のための効率的なリンクアクセス制御などについて技術の研究・開発が必要となる。また、これらの制御方式は無線リンク上の各コネクションのサービス品質要求条件に基づいて行うように検討される必要がある。無線伝送技術に関しては、構築するネットワークの環境に最適な技術の確立が必須である。これらの技術的課題は、「無線リンクアクセス」に関する課題として分類される。

「コネクション管理・トラフィック制御」に関する機能は、図 2.8 の無線 ATM ネットワークのプロトコル参照モデルに“M”として示す機能と無線制御層 (W-Ctrl: Wireless Control) 機能として制御プレーン (C-Plane) に実装される。“M”として示す機能は、有線系ネットワークとのインターフェース部までのネットワーク交換ノードのシグナリング機能であり、従来の ATM 制御方式の拡張または追加機能として実装される。また、無線制御層は、制御プレーンに属し、移動性関連機能をメータシグナリングによりサポートし、無線リンク上でのシグナリングやリソース管理制御トラフィックの流れを抑える役割を果たす。

「無線リンクアクセス」に関する機能は、移動端末の ATM 層と基地局の ATM 層間で以下のよ

うなプロトコル層として実装される。

- 無線物理層 (W-PHY: Wireless Physical)
- 無線メディアアクセス制御層 (W-MAC: Wireless Media Access Control)
- 無線データリンク制御層 (W-DLC: Wireless Data Link Control)

以下では、無線リンクアクセスに関する各層の技術的課題について述べる。

無線物理層 (W-PHY)

無線 ATM リンクにおいて想定されている周波数帯は、帯域幅が多く確保できる 20 ~ 60GHz の周波数帯、特に 60GHz 付近のミリ波帯である。

この周波数帯の特徴の一つは、大気中の酸素による吸収が激しく、従来の周波数帯 (例えば現在の携帯電話・PHS は 0.8 ~ 1.9GHz、無線 LAN は 2.4GHz 帯) に比べ、伝搬減衰が著しいことである。そのため、基地局のカバー範囲 (セルサイズ) を小さくしたいいわゆるマイクロセル・ピコセルを形成する必要がある。

また、この周波数帯では直進性が強いため、セル形状が部屋の形や周辺物体などの影響を受けて不規則になるとともに、基地局と端末との間を人が横切ることにより一時的に通信が不能 (シャドローイング) になる問題が生じる。シャドローイングに加えて、直接波と反射波が混合することに起因するマルチパス歪みも重要な問題である。

今後ミリ波帯における広帯域信号について、遅延特性・距離減衰特性・シャドローイング特性・変調方式と BER (Bit Error Rate) 特性などの研究・解明が必要である。また、構築するネットワークの環境に適した変復調方式・等化器・アンテナ・符号化方式に関する研究・開発が必要である。

メディアアクセス制御 (W-MAC)

制限された周波数帯域を有効に使いながらマルチメディアトラフィックに対して ATM ネットワークで保証する QoS を提供するためには多くの技術的な課題が残されている。

無線リンクにおけるアクセス制御機能は、メディアアクセス制御機能とリソース割当制御機能に分けることができ、その主な機能および要求条件を以下に示す。

1. メディアアクセス制御:

複数の端末の間で、衝突なく、空中メディアを共有するための機能である。また、リソース割当制御のため、各端末からバッファの状況を基地局にフィードバックさせる機能を提供する。フィードバックの基本的な方法としては、ランダムアクセス方法¹とポーリング方法²がある。帯域リソースが制限されているためにメディアアクセス制御によるオーバーヘッドは極力抑える必要がある。ここでオーバーヘッドというのは、制御のためにやりとりされる情報量と、端末に送信データが到着してからリソースを捕捉し送信を開始するまでにかかるアクセス遅延との両方を指すものである。

¹送信すべきデータがある各端末が自律的に任意の制御チャネルを用いてバッファの状況を基地局に送る方法。衝突の可能性があり、送信の成功は保証されない。

²基地局が周期的に収容している各端末を順番に呼び起こし、決められた制御チャネルを用いてバッファの状況をフィードバックさせる方法。衝突の可能性はないが、固定の制御チャネルが必要となる。

2. リソース割当制御：

各コネクションのサービス品質が保証できるように、複数の端末の間で、空中メディアへのアクセス権を公平に与えるための機能である。リソースの割当方法は、基本的に各コネクションに対して予め交渉された分のリソースを固定的に割り当てる方法と、要求に応じて動的に割り当てる方法がある。動的割当の場合は、各端末からバッファの状況を基地局にフィードバックさせる必要があり、そのフィードバック情報によるオーバーヘッドも極力抑える必要がある。

データリンク制御 (W-DLC)

有線系の ATM ネットワークでは、 10^{-9} 以下のビット誤り率を有する高品質な光ファイバ伝送路を想定して設計されたものである。しかし、無線リンクにおいては、電波伝播の特性上、その伝送路品質が時間と共に常に変動する。しかも、室内フェージング環境では、 10^{-3} までもビット誤り率特性が劣化すると考えられる。従って、低品質で常に変動する空中メディア上の誤りを吸収し、エンド-ツ-エンドのサービス品質を適切なレベルに維持するため、無線アクセスリンクでは、誤りの検出と回復を行う必要がある。誤りの検出は、一般的に、各送信 DLC SDU (Service Data Unit) ごとに付けられる複数ビットの誤り検出能力を持つ CRC (Cyclic Redundancy Check) 符号を用いて行う。誤りが検出された際の回復方法としては、

- **ARQ (Automatic Repeat reQuest)**: 誤りがある DLC PDU (Protocol Data Unit) を再送する方法である。誤りが有った DLC PDU から送信をやり直す Go-Back-N 方式と誤りが有った DLC PDU だけを選択的に再送する Selective Reject 方式がある。無線リンクにおける使用効率を考えると Selective Reject 方式が望ましい。
- **FEC (Forward Error Control)**: 冗長符号化により、誤り訂正能力を向上させる方法である。k ビットを n ビットで符号化し、t ビットの訂正能力を持たず (n,k,t) 巡回符号化方式が用いられる。
- **Hybrid ARQ**: 伝送路誤り率が低い場合は、ARQ 方法を、そして伝送路誤り率が高い場合は、FEC 方法を採用する方法である。
- **Interleaving**: 複数のパケットをバイト単位で交互に送信する方法である。バースト誤り環境において、FEC 冗長符号化の訂正能力を向上させる効果があるが、パケットの伝送時間は大きくなる。

などがあるが、各サービス特性に適合した方法を選択する必要がある。特に上位のレイヤーでのフロー制御が行われている場合は、誤った誤り回復方法の選択はグッドプットの低下の原因になるだけでなく、輻輳状態の深刻化にもつながる可能性がある。

ARQ 方法では、サービス品質を損なわない範囲で行う必要がある。実時間性に厳しい CBR と VBR コネクションがその例である。しかし、ある程度までは、ARQ が効率がよい。例えば、CDV が 2msec の場合、25Mbps のリンク速度では 100ATM セル時間であり、十分な再送の余地がある。FEC 方法の場合は、ある程度の誤りが発生する環境では、ARQ 方法より効率的である。しかし、室内フェージング環境においては、バースト的な誤りの発生が多く FEC 方法だけではその有効性が落ちる。ARQ

と FEC 方法を兼用する Hybrid 方法では、チャネルの状態を如何に素早く、そして正確に推定できるかによってその有効性が違って来る。常に FEC と ARQ 両方を用いる方法も考えられるが、そのオーバーヘッドは大きく、制御情報やヘッダに対してはより強力な FEC を、そしてペイロードに対しては効率的な FEC を適用することで、全体的な効率を維持し、誤り訂正能力を向上させるなどの工夫が必要である。

2.2.3 無線 ATM に関する研究動向

本節では、従来の研究におけるメディアアクセス制御方式、リソース割当方式、そしてハンドオーバー制御方式について述べ、世界各国の研究機関における無線 ATM に関する研究プロジェクトについて概説する。

メディアアクセス制御

無線チャネルにおける多元接続方式としては、TDMA(Time Division Multiple Access)、CDMA(Code Division Multiple Access)、FDMA(Frequency Division Multiple Access)方式などがある。FDMA方式は周波数資源の使用効率が悪く、しかも可変ビットレートのマルチメディア通信には適していないため、無線 ATM リンクのアクセス技術としては向いていない。CDMA方式は次世代の移動体通信の技術として有望な方式であり、Wideband CDMAでは2Mbpsまでのリンク速度を提供できる。しかし、それ以上の速度を提供するには、TDMA方式の方がより適している。したがって、高速性を要求する無線 ATM リンクにおいては、TDMA方式に基づいた方式が主流となっている。TDMA方式は、アップリンクとダウンリンクのトラフィックを扱う方法により、さらにFDD(Frequency Division Duplex)方式とTDD(Time Division Duplex)方式に分けることができる。FDD方式は、データ送信に対する確認通知などを逆方向のチャネルを用いて即時に送出することができるのでアクセス遅延を減らすことができる反面、非対称的なトラフィックの場合は帯域使用の効率が落ちる。TDD方式はアップリンクとダウンリンクのトラフィックを一つのチャネルに多重化するため、確認通知などを即時に送出することは難しいが、非対称的なトラフィックの場合でも効率的な帯域使用が可能である。

無線 ATM リンクにおけるメディアアクセス制御方式として提案されている既存の方式は、その制御・管理の基準となる単位によってフレームベース方式とスロットベース方式に分類することができる。

● フレームベース方式

フレームベース方式では、情報の転送単位であるスロットを幾つかまとめたフレームと呼ばれる構造を制御・管理の基準とする。フレームは周期的に発生され、フレーム内の各々のスロットは、リソース割当アルゴリズムによって適切な端末に割り振られる。フレーム化された制御の長所としては、

- － フレーム構造自体が同期信号となる。
- － リソース割当制御の基準となる時間区間を提供する。

などがあげられる。

フレームベース方式の代表的な方式としては、TDMA/DR(TDMA with Dynamic Reservation)方式がある [65]。以下では、TDMA/DR方式について概説する。

TDMA/DR方式では、TDMAフレームの中のタイムスロットをデータ転送の基本単位とし、アクセス制御はフレーム単位で行う。CBRトラヒックは、その無線セル内での最初のアクセスだけを Slotted ALOHA方式によるランダムアクセスし、成功したら、その無線セルに滞在する間(または、コネクションが持続する間)は固定的にスロットが割り当てられる。VBRトラヒックに対しては、後述する予約型割当方式により、ある程度の帯域を割り当て、それ以上の帯域が必要な場合は、動的に割当を行う。ABRトラヒックに対しては、基本的に動的に割当を行う。VBRおよびABRトラヒックで動的割当を必要とする場合は、パケット発生ごとに、リソース割当要求情報として、そのパケットの ToE(Time of Expiry)情報をランダムアクセスにより基地局にフィードバックする。基地局ではこの ToE 情報から、期限満了に近い順に次のフレームの中のタイムスロットを割り当てる。また、各移動端末では、期限が満了したデータは廃棄する。

この方式では、時間制限により優先度をつけることで、実時間性に厳しいデータの QoS を保証することができる。しかし、VBR、ABRトラヒック量(パケットの数)が増大すると、ランダムアクセス衝突により急激なスループットの低下が生じる可能性があることが、この方式の問題である。

この方式の拡張案としては以下のようなものが提案されている [18]。

- アップリンクとダウンリンクが分離されている TDMA方式を TDMA/TDD方式に拡張し、一つのキャリアで送受信を行う。
- VBRに対しては、申告した SCR 分のスロットは予約モードで与え、それ以上は、必要に応じてランダムアクセスで要求する。
- CBRの最初のランダムアクセスは高出力で送り、“Capture Effect”を期待する。

● スロットベース方式

スロットベース方式では、情報の転送単位であるスロットそのものを制御・管理の基準とする。この方式では、高速なアクセス制御が必要となるが、フレームベース方式では実現できない割り込み割当ができる。

スロットベース方式の代表的な方式としては、DQRUMA(Distributed Queueing Request Update Multiple Access)方式がある [36]。以下では、DQRUMA方式について概説する。

各スロットの先頭には、ランダムアクセスフィールドが設けられており、必要に応じてランダムアクセスにより、基地局にデータがあることを知らせる。基地局では、その要求したデータの優先度に基づき FCFS(First Come First Served)の順で、スロットの割当を行う。そして、データスロットには割当要求のピギバックフィールドが設けられており、データ送信時には、衝突のない割当要求を行うことができる。

この方式では、スロットごとにリソース割当を行うことで、フレーム化による遅延を減らすことができる。また、ランダムアクセス方法として、各端末がランダムアクセスに用いるスロットを基地局が均等に割り振る、“Binary Stack Algorithm”という方式を採用しており、アクセス成功の確率の向上が期待できる。さらに、割当要求のピギバック送信により、連続するデータストリームに対して、安定したネットワークアクセスを提供することができる。しかし、スロットごとに割当を行うためアクセス制御処理の高速性が要求されることと、Binary Stack Algorithm によるランダムアクセスでは基地局の介入が必要となることから、この方式の問題である。

リソース割当方式

リソース割当法の主な機能は、各接続のサービス品質が保証できるように、複数の端末の間で、空中メディアへのアクセス権を公平に与えることである。現在提案されている代表的な方式について以下に説明する。

- **固定割当方式**

最も簡単なリソース割当法であり、接続の設定時に交渉した分の帯域を接続が維持する間は固定的に割り当てる。PCR または SCR が定義されている接続型のトラヒックに対しては SCR ~ PCR の間の帯域を固定的に割り当て、接続レス型のデータトラヒックに対しては MCR 以上の帯域を割り当てる。しかし、MCR が定義されていない場合は、正確な割当は困難である。固定割当方式は、サービス品質の保証という面では優れているが、リソースの無駄使いが大きいのが欠点である。ハンドオーバーの際には、移動先の無線セルで改めて固定帯域を確保する必要がある。

- **予約型割当方式**

接続の設定時に交渉した SCR 分の帯域だけを固定的に割り当て、それ以上のリソースを必要とする場合は、動的に割り当てる方式である。リソース使用の面では固定割当方式より効率的であるが、サービス品質の保証の面では若干劣る。ハンドオーバーの際には、固定割当方式と同じく、移動先の無線セルで改めて SCR 分の帯域を確保する必要がある。

- **動的割当方式**

リソースの割当を要求に応じて動的に行う方式である。リソースを割り当てる優先順位を決める方式としては、以下のような方式が提案されている。

- **FCFS(First Come First Served) 方式**

一番基本的な動的割当法であり、フィードバック情報としては、送信データの有無または送信データの長さだけが用いられる。アクセス権はフィードバック情報が基地局に届く順に与えられる。簡単で効率的な方式ではあるが、マルチメディア環境におけるサービス品質の保証には向いていない。

- **ToE(Time of Expiry) 方式**

フィードバック情報として送信データの送信期限情報を送り、期限満了 (ToE) が近い順にアクセス権が与えられる。また、各移動端末では、期限が満了したデータは廃棄する。FCFS 法に比べ、フィードバック情報量は多くなるが、相対的緊急性に基づいて割当を行うのでサービス品質の保証が期待できる。しかし、輻輳状態では、相対的緊急性の意味が曖昧になり、サービス品質の保証ができなくなると共に、ネットワークの有効スループットが低下する可能性がある。

－ トークン発生方式

各コネクションごとに設定時に決められた間隔でトークンを発生させ、トークンが多く溜った順でリソースを割り当てる方式である。割り当てられたら、その分のトークンをトークンプールから引く。トークンプールに溜ったトークンは割当の量と待機時間を表す指標であり、連続ストリームのトラフィックに対しては、公平な割当が期待できる。しかし、バースト的なトラフィックに対しては、割当帯域が制限される可能性がある。

－ 優先クラス方式

単一の物理リンクにマルチメディアトラフィックを多重化する時に CBR、VBR、ABR などのサービスクラスごとに固定優先度を付け、高い優先クラスのトラフィックに対して優先的にリソースを割り当てる方式である。同一クラス内では、上述した他の割当方式を適用して割当順を決める。

無線 ATM プロジェクト

● ATM ワイヤレスアクセス – NTT

NTT では、次世代のマルチメディア移動アクセス (MMAC: Multimedia Mobile Access Communications) を実現するため、端末の移動性は最大歩行速度程度に限定しつつ、ユーザ当たりの情報伝送速度として最大 10Mbit/s 程度までサポートすることを目指して ATM 無線アクセス (AWA: ATM Wireless Access) を検討している。25GHz 帯の準ミリ波帯で、無線伝送速度として 80Mbps、情報伝送速度として 50Mbps の試作装置で研究を進めている [83][86][88]。現在の状況では、AWA では端末の移動によるハンドオーバーは考慮していない。多元接続方式としては TDMA/TDD 方式を採用し、リソースの割当制御には各コネクションに対して PCR 相当のタイムスロットを固定的に割り当てる固定割当方式を用いる。

● SWAN – AT&T

AT&T ベル研究所の SWAN (Seamless Wireless ATM Network) プロジェクトでは、室内系でピコセルを用いてマルチメディアネットワークコンピューティングに無線アクセスを組み合わせるための実験を行っている [5]。第一世代システムでは、トランスポート層プロトコルに TCP (Transmission Control Protocol) と UDP (User Datagram Protocol) を使用し、IP over ATM を通じて、ライブ・蓄積ビデオアプリケーションの無線 ATM 伝送実験に成功している。メディアアクセス制御方式はトークンバッシング方式に基づき、リソースの割当は固定的に行う。移動端末および基地局は FAWN (Flexible Adapter for Wireless Networking) というアダプターによって接続され、2.4GHz 帯の周波数を用いて、227Kbps 程度のスループットを実現

している。

● BAHAMA - AT&T

BAHAMA は、AT&T ベル研究所で提案した ATM LAN システムである。その基本的特徴はアドホックネットワークである。すなわち、ネットワークが自己組織化することである。これは、予め定められたトポロジーというものが存在せず、ネットワークの基本要素である PBS (Portable Base Station) がネットワークへ追加・削除された後にトポロジーを決定するためのコミュニケーションを取ることを指している。PBS は簡単な構成になっているので、ATM セルの分割・組み立ては移動端末で行う。最も実行可能な方法で移動性を確保するために、相手先アドレスに基づいたルーティングを行う新しい VPI/VCI の概念が導入されている。多元接続方式としては TDMA/FDD 方式を採用しているが、フレーム構造はなくスロットベースのメディアアクセス制御を行う。メディアアクセス制御方式としては、1ATM セルに相当するスロットをアクセスの単位とする DQRUMA 方式を開発している。割当制御は、優先度に基づき FCFS (First Come First Served) の順で、スロットごとに行う。現在、BAHAMA に基づいたプロジェクト「Mobile Information Infrastructure」がベル研と Sun Microsystems により進められている。

| プロジェクト | WATMnet | Magic WAND | BAHAMA | AWA |
|-----------|--|----------------------------|--------------------------|----------|
| 研究機関 | NEC | ACTS | AT&T | NTT |
| 周波数帯域 | 2.4GHz | 5GHz/17GHz | 2.4GHz | 25GHz |
| 伝送速度 | 8 Mbps | 20/50 Mbps | 10 Mbps | 50 Mbps |
| 多元接続方式 | TDMA/FDD | TDMA/TDD | TDMA/FDD | TDMA/TDD |
| アクセス制御 | フレームベース | フレームベース | スロットベース | フレームベース |
| リソース割当 | CBR: 固定割当、 VBR: 予約型割当、 ABR: 動的割当 (ToE) | 動的割当 (優先クラス、 トークン発生) | 動的割当 (優先クラス、 FCFS) | PCR 固定割当 |
| MAC プロトコル | TDMA/DR | MASCARA | DQRUMA | - |
| 端末の移動性 | 低速 | 低～中速 | 可搬性端末 | |
| ハンドオーバー制御 | パス拡張 + 部分再設定 | | - | |

表 2.4: 無線 ATM プロジェクト

● Magic WAND - ACTS プログラム

Magic WAND (Wireless ATM Network Demonstrator) は、ヨーロッパの ACTS (Advanced Communications Technologies and Services) プログラムによるジョイントプロジェクトで、Wireless ATM を用いることでマルチメディア情報アクセスを行う移動端末のデモンストレーションを開発するヨーロッパのプロジェクトである。5GHz 帯で 20Mbps を実現することを目指している。また、17GHz 帯の技術を研究している。多元接続方式としては、TDMA/TDD 方式を採用し、MASCARA (Mobile Access Scheme Based on Contention and Reservation

for ATM) と呼ばれるアクセス制御方式により動的スロットの割当を行う。スロットの割当順は、CBR>VBR>ABR>UBR 順で、基地局の内部的トークン生成により各クラス内での優先度を定める。低～中速の端末の移動性を考慮し、ハンドオーバ制御方式としては、パス拡張後に部分再設定を行う方式を採用している。

- **WATMnet – NEC**

NEC C&C 研究所では、無線 ATM に関する研究にいち早く取り組んだ Raychaudhuri 氏らによるテストベッドを開発している [64]。システムとしては、半径 100m のピコセル環境で 8Mbps を実現し、さらにアンテナと変調方式の改良により半径 500m のマイクロセル環境での実現を目指している。多元接続方式としては、TDMA/FDD 方式を採用し、メディアアクセス方式としては、予約型と動的割当の両方を取り入れた TDMA/DR 方式を開発した。低速の端末の移動性を考慮し、ハンドオーバ制御方式としては、パス拡張後に部分再設定を行う方式を採用している。

表 2.4 に以上で述べた各研究プロジェクトの比較を示す。

2.3 ATM ネットワークにおける ABR トラヒックの輻輳制御

本節では、ATM のサービスクラスの中で現在最も研究が盛んである ABR サービスクラスについて述べる。ABR トラヒックは CBR と VBR が優先的に帯域を使い、残った利用可能な帯域を ABR ソースが公平に使用することである。ABR サービスクラスの輻輳制御の必要性と ABR サービスの代表的な輻輳制御であるレートベース制御とクレジットベース制御について述べ、両方式の長所と短所について比較を述べる。

2.3.1 ABR サービスクラスの輻輳制御の必要性

ABR は、既存のデータアプリケーションを収容する場合、通常の LAN や Internet 同様、帯域予約を行なわないでデータ転送を行なう。帯域予約を行っていないため、高負荷時にはセルの損失による再転送が増大する恐れがある。スイッチにおいてバッファ量を増加させることで、かなりの高負荷まで対処可能であるが、ATM 網では 1 セルの損失がパケット全体の再送につながり、またセル損失が複数パケットに分散して起こるため、スループットが大きく低下する可能性がある。このように、ABR サービスで最も重要な通信品質はセル損失である。

そこで、重負荷状況下でもセル損失をできるだけ小さくできる制御を行ない、ネットワークスループットの劣化を防ぐ輻輳制御が重要である。

ABR 輻輳制御に対する要求条件は [14]、

1. 従来 LAN と同様に、ネットワークがすいている場合は、その帯域を使用する。
2. ネットワークが込んでいる場合は、セル損失を防止（パケット損失が無視できるくらい）するようにセルレートを下げる。
3. 複数の VC 間で公平に有効帯域を利用し、特定の VC がリンク帯域を占有しないようにする。

2.3.2 ABR サービスクラスのレートベース制御

94年9月の ATM Forum オタワ会議で、ABR サービス用の輻輳制御ではレートベース制御を用いることが合議された。ATM Forum でレートベース制御が選択されたのは、レートベース制御がビットレートを測定し、コネクション帯域を制御することで、ABR サービスの目標である直接的にコネクション帯域を制御することと合ったためである [81]。現在、ABR サービスを支援するため、開発中であるレートベース輻輳制御方式について説明する。

図 2.9 は、Closed-loop 制御方式の典型的な通信ネットワークの重要構成要素を表す。

レートベース制御の基本オペレーションは、送信端末がセルを転送する前に、ネットワークに接続を要求し、*PCR*(Peak Cell Rate)、*MCR*(Minimum Cell Rate)、*ICR*(Initial Cell Rate)、*AIR*(Additive increase to Rate)、*Nrm*(Number of cells/RM)、*RDF*(Rate Decrease Factor) などのパラメータを設定する。送信端末は、接続の許可を受信した後、セルの転送を始める。ネットワーク内のスイッチでは、バッファ内蓄積セル数などを監視することによりノード輻輳を検知する。輻輳が発生したと判断されると、輻輳地点を通過するデータセルのヘッダの *EFCI*(Explicit Forward Congestion Indication) に輻輳とセットし、このセルを受信端末方向へ送る。これに応じ受信端末は

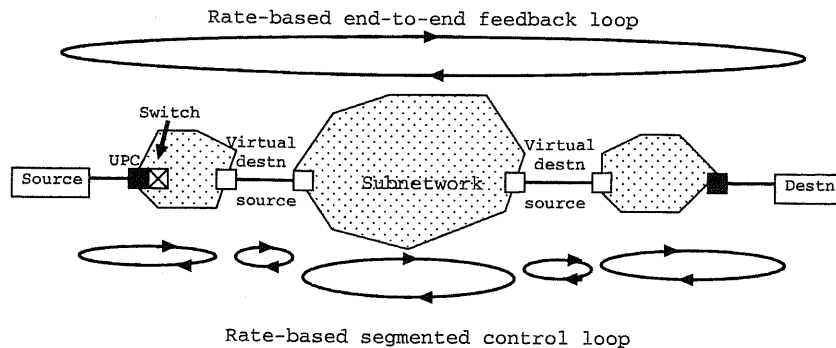


図 2.9: Closed-loop flow controlled communication network

制御セル (Resource Management Cell) により、送信端末へ輻轉しているかどうか及びレートをどこまで上げ/下げを知らせる。制御セルを受信した動的なシェーパを持つ送信端末は、動的にレートを変更する。このレートは、ネットワークの輻轉状況に応じて決定された *ACR* (Allowed Cell Rate) である [81]。

WAN におけるレート制御

長距離リンクの場合、伝搬遅延があるため Hop-by-Hop クレジットベース制御では、莫大なバッファが必要である。ユーザは、帯域に関して LAN では充分であるが、WAN ではより高いし、より共有度が必要だと思われる。WAN でバッファ量を減らすためには、動的バッファ割り当てのクレジットベース制御が必要であるが、まだ開発中である。公衆網では、多数ポートの高速スイッチが必要であり、この必要性をクレジットベースで果たすためには、各 VC にバッファを設けることで可能であるが、莫大な経費がかかる。将来、ポート速度が 2.4Gbps 以上の公衆網スイッチでは、レートベースの ECFI 表示方式以外は実現するには難しい。ATM Forum Version 3.0 仕様で明示された輻轉制御が EFCI 方式であるため、公衆網と WAN ベンダは EFCI 表示スイッチに注目している。また、公衆網でレートが変更された時、クレジットベースよりレートベースの方が料金を算定しやすい事情もある [40]。

2.3.3 ABR サービスクラスのクレジットベース制御

ネットワークトラヒックは、スムーズとバーストモデルに区分できる。スムーストラヒックは、音声、ビデオや WAN でのバーストソースなどである。このスムーストラヒックには、レートベース制御が適当である。一方、バーストトラヒックは、コンピュータ通信などのように予測できないトラヒックで、バッファの枯渇が発生し、スループットが低下することがあるため、直接にバッファ割当を制御するクレジットベース制御が適当である。

図 2.10 は、リンクバイリンクのクレジットベース制御を示す。

基本オペレーション

リンクごとに各 VC のセル単位のバッファを管理し、セル損失が全く起きないように転送しようとする方式である。クレジットとは、利用できるバッファ容量に関する制御情報であり、バッファが利用可能になると、送信側へ送られるものである。このクレジットを各スイッチ/端末が VC ごと、リンクごとに管理しながら、バッファあふれが生じないようにセルの転送を行う。

各スイッチは、VC ごとにキューを持ち、送信側はその VC が利用可能なバッファ容量を示すクレジットバランスを保持している。送信側は、セルを送信するたびにこのバランスを減らしていき、バランスが 0 になったら送信を中断する。ここで、このクレジットバランスは VC ごとに管理されているために、バランスが 0 でない他の VC ではセルの送信が可能である。受信側は、セルを次のスイッチに送信し、バッファに空きが生じると送信側へクレジットを送信する。

クレジット方式には、受信側で各 VC 当りバッファ *Buf_alloc* を割り当てる段階と、送信側で割り当てたクレジット *Crd_Bal* をマイナスにならないように制御する段階がある [27]。

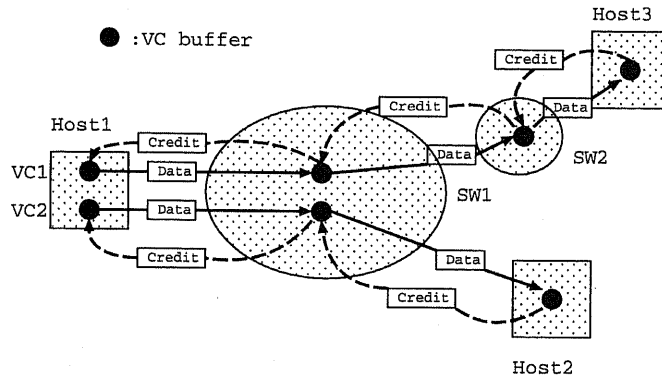


図 2.10: リンクバイリンクのクレジットベース制御

LAN におけるクレジット制御

ATM が高速 LAN のアプリケーションを支援するためには、現在のパケット損失率を維持し、利用可能な帯域を割り当てる必要がある。小さいセル損失率が大きなパケット損失率の原因になるため、損失率を維持するのは重要な課題である。

ATM Forum で提案された固定バッファ割当の Hop-by-Hop クレジットベース制御は、輻輳時パケット損失率がゼロだという報告がある。

典型的 LAN では、各 VC は 10 から 12 セル程度のバッファを持つことができ、スイッチは 1k の VC を持てる。スイッチが 1 KVC をサポートするためには 10K セルバッファ、0.5MB 程度のメモリが必要であり、スイッチのポート当りの量として実現できる範囲である。

エンド-ツ-エンドレートベース制御より Hop-by-Hop クレジットベース制御の方がバースト的データトラヒックに対しての制御の性能が優れている。エンド-ツ-エンド方式は、round-trip time より長いバーストトラヒックに対しては制御可能である。瞬間的バーストトラヒックに対しては充分バッファが必要である。固定 Hop-by-Hop クレジット方式は大量のファイル転送や瞬間的バースト

ラヒックに至るまで制御可能である [27]。

2.3.4 ABR サービスクラスのレートベース制御とクレジットベース制御の比較

ABR サービスの輻輳制御方式のクレジットとレートの長短所は表 2.5 である [42]。

| | 長所 | 短所 |
|--------------|--|--|
| レート ベース | エンド-ツ-エンド制御 スイッチが単純 少バッファ VC 当たりバッファ不必要 | 過負荷時セル損失 低応答性 制御が複雑 エンドシステムの誤動作に回答が遅い |
| クレジット ベース | セル損失ゼロ 高応答性 制御が簡単 エンドシステムの誤動作に無関係 | リンクバイリンク スイッチが複雑 多バッファ VC 当たりバッファ必要 |

表 2.5: クレジットとレートの長短所

ATM Forum が ABR サービスクラスの輻輳制御方式としてレートベース制御を選択した理由は次のようである。

1. VC 当たりのキュー : クレジットベース制御では、動作中でない VC を含めて各 VC 当たりキューを持ち、VC の数に比例してスイッチが複雑になる。
2. セル損失率 : クレジットベース制御方式では、高負荷時にも与えられたクレジットを越えないことで、ゼロセル損失率を保証する。
3. 収束時間 : クレジットベース制御では、すべての VC が空いてるバッファがあれば、すみやかにフルレートへ接近する。レートベース制御では、フルレートへ接近するのに伝搬遅延時間が掛かる。
4. 誤ユーザに対する保証 : VC 当たりのキューによって誤ユーザからトラヒックパラメータを守るユーザは保証される。
5. バッファ要求量 : クレジットベース制御では、近距離の場合、少ないバッファで制御できるが、遠距離の場合は伝搬遅延による莫大なバッファが要求される。
6. スイッチ設計の柔軟性 : レートベース方式では、スイッチが資源を割り当てるとき、様々な柔軟性を提供できる。同一のネットワークでも、スイッチによってスイッチバッファ量を節約し、スループットを最適にするなどの制御メカニズムの選択が可能である。

2.3.5 ABR トラヒックの VSVD (Virtual Source Virtual Destination) 制御

ABR エンド-ツ-エンド制御の新しい方式が VSVD である。VSVD 方式はエンド-ツ-エンドの距離による遅延の問題で制御セルのフィードバックが遅れ、エンド-ツ-エンド間の輻輳制御が良く聞かない。この問題を解決するため、ABR コネクションを区間を分け、ABR 輻輳制御を行う。ABR コネクション区間を分けた時、あるスイッチは仮想受信端末の機能を持つ。即ち、データセルを受信し、レートフィードバックするための制御セル (RM) を送信端末へ送信する。もう一つの機能は、仮想の送信端末の機能を持つ。即ち、全ての VC のレート制御し、データセルと RM セルの送信のスケジューリングを行う。図 2.11 はエンド-ツ-エンドと VSVD 制御の構成図である。

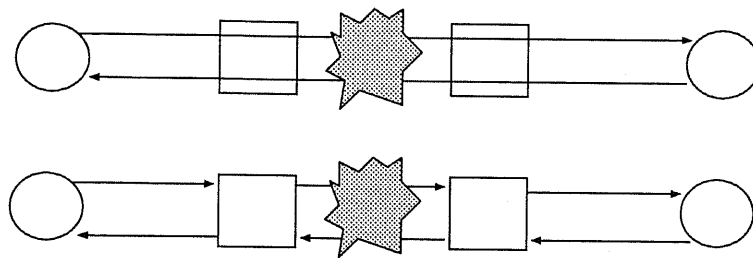


図 2.11: エンド-ツ-エンド制御と VSVD 制御

VSVD 方式の利点は次のようである。

1. 各々の違うネットワークに分離制御できる。例えば、二つの ABR セグメントの中にフレームリレーや別のネットワークが存在してもエンド-ツ-エンド制御ができる。もう一つ例は、衛星ネットワークと LAN 間のインタフェースポイントとして利用できる。
2. 新しいバストラヒックが発生した時、セグメントのループが短いので、フィードバックの時間が速くなり、性能の向上が期待できる。
3. 制御セルの損失により、エンド-ツ-エンド間の制御に影響を与えることを部分的に防ぐ事ができる。制御セルの損失を早く検知し、新しい制御セルを生成できる。

しかし、VSVD スイッチでの各 VC 当りキューイングとスケジューリングの機能が必要である。以下では、ERICA レート制御方式を用いてスイッチの構造について概説する。

スイッチキュー構造

VSVD スイッチは、一般的なスイッチの機能に送信端末と受信端末の機能追加を持つ。送受信端末のように、個別のレートを制御するための VC 当りキューを持つ。一方向 VSVD スイッチのキューの構造を図 2.12 に示す。

VSVD スイッチは、二つの部分に分けられる。仮想受信端末の部分は、前ループから受信したデータセルを次のループの仮想送信端末の VC キューへフォワードする。仮想送信端末は、データセルを送信し、また、送信端末の規則により FRM (Forward RM) セルを生成し、送信する。VSVD スイッチは輻輳制御アルゴリズムと VC 当り帯域割当計算を行う。

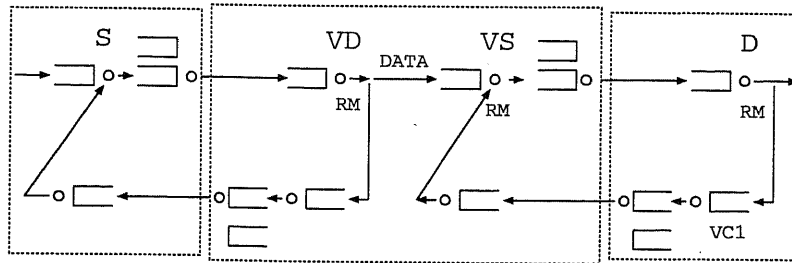


図 2.12: 一方向 VSVD スイッチのキュー構造

一方向 VSVD スイッチのデータフロー

前ループ VD スイッチは受信した FRM セルを受信端末の規則により BRM セルを作り、同ループの VS へ送信する。この時、次のループでの輻輳を避けるために、レートを調整して ER フィールドへ書き込んで BRM(Backward RM) セルを送信する。VS スイッチは、次のループから受信した BRM セルの ER フィールドを用いて VC 当り ACR を修正する。また、前ループの VD へ現ループの ER 値を知らせる。図 2.13 に一方向 VSVD 方式のデータフローを示す。

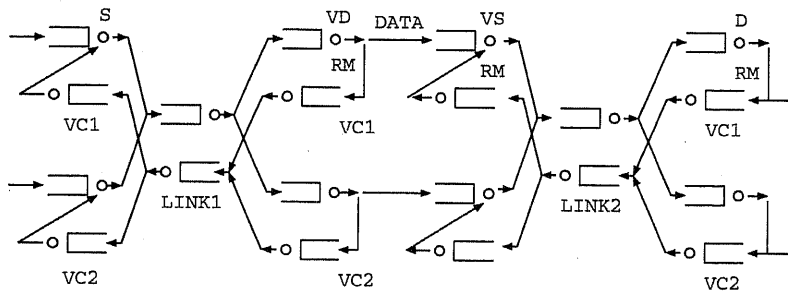


図 2.13: 一方向 VSVD 方式のデータフロー

2.4 まとめ

本章では、マルチメディアトラヒックの収容という側面から見た ATM ネットワークについて概説し、無線 ATM における諸問題について述べ、従来の研究について無線アクセス方式を中心にまとめた。

現在の ATM は、標準化が進み、仕様が決まった状態で、実用が進んでいる。また、無線 ATM に関する研究は、まだ初歩段階にあり、準ミリ波帯における伝播特性など、物理的な広帯域無線アクセスの妥当性に関する研究と、端末の移動に起因するトラヒック制御・コネクション管理のためのシグナリングに関する研究が多い。

メディアアクセスに関しては、高速通信への対応性から、TDMA 方式に基づいた方式に関する研究が多い。しかし、それらの方式では、可変速度が特徴であるマルチメディアトラヒックに対して、TDMA タイムスロットを固定的にまたは予約により半固定的に割り当てる場合が多く、周波数資源の無駄な使用が多い。動的に割り当てる方式もいくつか考案されているが、それらの方式では、輻輳状態には十分に対応できないという問題が残されている。

マルチメディア移動環境を考えると、限られた周波数資源を有効に活用することは無論のことで、従来の単一メディアトラヒックの移動とは違って、コネクションの品質とハンドオーバーのブロック率とのトレードオフ関係を考慮する必要がある。この時、一時的な輻輳状態は避けられなく、このような状況にも対応できる制御方式が必要である。しかし、前述したように、従来の方式では、このような要求には十分に答えられないのが現状である。したがって、このような要求に柔軟に答えられる新たな無線リンクアクセス方式の研究が必要となる。

また、ATM サービスクラスの中で、最も注目を浴びている ABR に対して輻輳制御の必要性、レートベース制御とクレジットベース制御の基本動作について概説し、両方式の比較、最近 ABR 輻輳制御として研究が進んでいる VSVD 制御について概説した。

その中で、現在も研究が盛んに行っているのが、ABR トラヒックに対して帯域を有効に利用し、QoS を保証できるようなトラヒック制御の研究である。しかし、今まで提案された ABR トラヒックに対するトラヒック制御は、レートベース制御とクレジットベース制御であり、その両方式は様々な長所と短所を持ち、ネットワークの規模によって適用しにくい点もある。ネットワーク規模に関係せず、適用できる ABR トラヒック制御の方式が必要となる。

また、有線区間と無線区間のような異なるネットワーク環境下で、エンド-ツ-エンド間の輻輳制御ができるような VSVD 方式も検討すべきである。

第 3 章

有無線 ATM における ABR トラフィック制御方式の設計

ATM ネットワークでは、ABR コネクションに対して基本的に”Best-Effort”であり、CBR、VBR、コネクションを先に帯域を割り当て、残った帯域を ABR コネクションに割り当てる。ABR サービスクラスに対して輻輳制御を行う事は、複数の ABR コネクションが公平に有効帯域を利用し、特定のコネクションがリンクの帯域を占有しないように制御し、従来の LAN と同様にネットワークがすいている場合、その帯域を使用し、ネットワークが混んでいる場合、セル損失を防止するようにセルレートを下げないように制御を行う。無線の場合、制限された帯域を有効に利用するためには帯域を動的に割り当てる必要がある。有線と無線が統合した ATM ネットワークでは、有無線の状況をフィードバックさせ、エンド-ツ-エンド間のトラフィック制御をすることが望ましい。

3.1 有線区間と無線区間の課題

ATM での ABR トラフィックに対する様々な制御方式が提案され、実用化が進んでいるが、そのまま無線区間を含めたエンド-ツ-エンド間でレート制御を適応する事は難しい事である。次の様な問題点を解決するためには有線区間と無線区間を分けて制御するのが望ましい。

- 周波数資源の制限
- 無線区間でのセル損失率が大きい事により、制御セル (RM Cell) の損失により、エンド-ツ-エンドのレート制御が正確に出来ない。
- 有線区間と無線区間のリンクの速度が違う。
- 帯域の割り当て方式も違う。
- 端末の移動性の問題

3.2 有線区間での RCFC 方式

本節では、現在の ABR サービスクラスの輻輳制御であるレートベース制御とクレジットベース制御の問題点を解決することにより通信品質とネットワークの特性を向上させる新しい方式であるレート制御とクレジット制御を融合した方式 (RCFC:Rate and Credit Flow Control) について述べる。

3.2.1 レートとクレジットに一つの制御セル利用：RCFC

この方法では、RM 制御セル中に VC の収容可能なレート情報とともにクレジットフィールドを用いる。このクレジットフィールドは後段スイッチのバッファのクレジット量を表す。このクレジットフィールドを用いてスイッチではクレジットバランスを計算し、クレジットバランスがゼロ以上の場合、セルを送信する。

エンド-ツ-エンド制御方式では、送信端末が RM セルに決定したレートを表示して端末側へ送信する。受信端末の NIC(Network Interface Card) は逆方向の表示を RM セルにセットする。スイッチは、逆 RM セルにレートを下げることがを明示する。RM セルが送信側に到着すると、最小値になり新しい RM セルを受信するまで、送信側はこのレートで送信する。

この方法は、LAN と WAN を区分せず、使用可能である。

3.2.2 RCFC 方式の目標

レートベース制御は、エンド-ツ-エンド制御ループでユーザがネットワークから明示されたレートで送信する制御である。レートベース制御では、高負荷の時、セル損失率をゼロに保証できず、そのセル損失率を防ぐためには、膨大なバッファが必要される。セル損失時にセルを再伝送する際には、スループットの低下が予想される。クレジットベース制御は、リンクバイリンク制御ループで各リンクの有用なバッファの情報を利用して送信制御する。クレジットベース制御では、近距離 (LAN) の場合、伝搬遅延が小さいためにバッファ量が少ないが、遠距離の場合は伝搬遅延が長いために受信スイッチからクレジットを受信するのに時間が掛かる。そのとき、セル損失を防ぐためにバッファ量も大きくなり、遅延も長くなる。

この2つの制御を基本として、両制御方式の弱点を補い合い、通信品質を実現する方式として RCFC 制御を提案する。RCFC の目指すことは、

1. レートベース制御の問題であるセル損失率を最小化
2. クレジットベース制御よりエンド-ツ-エンド遅延を減少
3. 遠距離でクレジットベース制御よりもバッファ量を節約
4. VBR、CBR トラヒックによる帯域の同時使用時、余った帯域を効果的、公平に利用

3.2.3 RCFC 方式の基本構成

ABR サービスクラスのトラヒック特性は、稼働中の送信端末間で利用可能な帯域を効果的に使用することである。

ABR サービスクラスの制御アルゴリズムとしては、送信端末はネットワークから許容された送信レートでデータセルの伝送速度を制限する。

スイッチでは、送信端末の伝送速度を制御するため、現在の負荷の情報を利用して、許容レートを計算し、送信端末へ知らせる。送ったデータセルの数をクレジット情報として前段スイッチへ知らせる。この許容レートとクレジット情報を制御セルである *RM* セルを用い、送信端末や前段スイッチへフィードバックする。

送信端末によって生成された *RM* セルはデータセルと同じ VC を通って受信端末へ転送される。受信端末は単純に受信した *RM* セルを送信端末へフィードバックする。

RCFC 方式の概念を図 3.1 に示す。

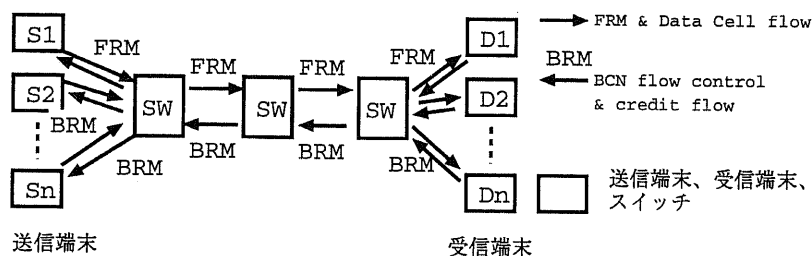


図 3.1: レートとクレジットの融合方式：RCFC

RM セルが順方向と逆方向へ順調に送信される場合、送信端末はネットワークから安定にレートを受信でき、ネットワークからフィードバックされた許容レートでセルを送信することで正常なレート制御が可能になる。また、スイッチもクレジット情報を受信でき、正常なクレジット制御が可能になる。

バッファの割り当て

N 個の VC が同一出力リンクで競合した場合、VC 当りの最大平均帯域 BW は、

$$BW = Buf_alloc / (RTT + N2 * N)$$

になる。

RTT : Round-Trip Time(送信側と受信側間の送信時間)

$N2$: 受信側が制御セルを転送する時間

N : VC 数

また、 Buf_alloc を決める方法には固定クレジット制御と Adaptive クレジット制御がある。固定クレジット制御は、VC が動作する時 Buf_alloc を固定値とする。Adaptive クレジット制御は、現在使用している BW 量により、VC の Buf_alloc を更新して用いる。

出力リンク当たり 1 個 VC の場合、各 VC の Buf_alloc 、 $N3$ 、 $N4$ は次のようである。

$$N3, N4 = RTT / 2 * BW$$

$$Buf_alloc = N3 + N4 + N2$$

スイッチのバッファ構成を図 3.2 に示す。

スイッチのバッファに溜るセルの量が $N4$ 以下の場合にはネットワークは安定している。しかし、バッファに溜るセルの量が $N4 + N2$ 以上で $N3$ 領域を越えるとネットワークが輻輳状態であることを示す。

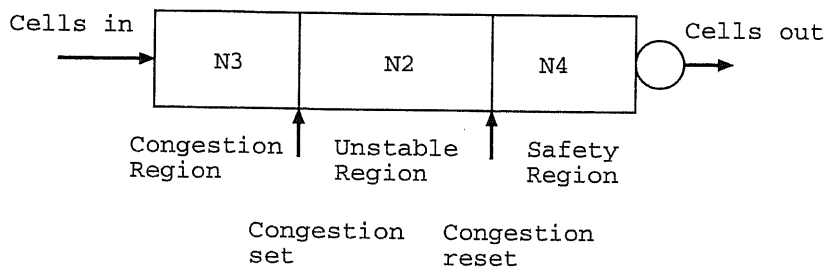


図 3.2: スイッチのバッファ構造

CUP(Credit Update Protocol)

図 3.3 はクレジットを更新する CUP(Credit Update Protocol) を示す [40]。スイッチでクレジットバランスを計算するためには、後段のスイッチから RM セルに書き込んで送られたクレジット情報を受信し、CUP 処理を行い、クレジットバランスを維持する。

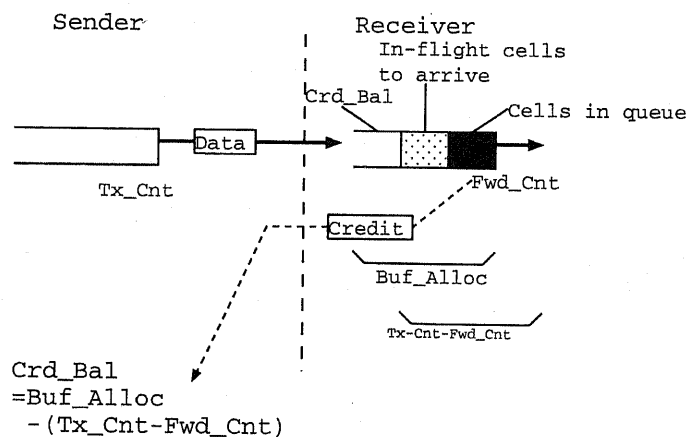


図 3.3: CUP(Credit update protocol)

- Tx_Cnt : 送信側の送信セル数
- Fwd_Cnt : 受信側が次のスイッチへの送信セル数

- *Buf_alloc*: 受信側が割り当てたバッファ量
- *Crd_Bal*: クレジットバランス量

$$Crd_Bal = Buf_alloc - (Tx_Cnt - Fwd_Cnt)$$

である。

各スイッチは、クレジットバランス量 *Crd_Bal* を計算し、クレジットバランスがゼロ以上の場合、後段スイッチへセルを送信する。後段スイッチは、自分の後段スイッチへ転送したデータセルの数 *Fwd_Cnt* を *RM* セルに書き込み、前段スイッチへクレジット量を転送する。

3.2.4 RCFC トラヒックパラメータ

ABR トラヒックの送信端末は、コネクションを設定し、ネットワークと様々なパラメータの交渉をする。交渉するパラメータとしては、表 3.1 に示すものが挙げられる。

| パラメータ名 | フル名 | 基準値 |
|-------------|--|-------------|
| <i>PCR</i> | Peak Cell Rate | - |
| <i>MCR</i> | Minimum Cell Rate | 0 |
| <i>ACR</i> | Allowed Cell Rate | - |
| <i>ICR</i> | Initial Cell Rate | <i>PCR</i> |
| <i>TCR</i> | Tagged Cell Rate | 10 cells/s |
| <i>Nrm</i> | Number of cells between FRM cells | 32 |
| <i>Mrm</i> | Control Bandwidth allocation between FRM, BRM and data cells | 2 |
| <i>Trm</i> | Upper Bound on Inter-FRM Time | 100ms |
| <i>RIF</i> | Rate Increase Factor | 1/16 |
| <i>RDF</i> | Rate Decrease Factor | 1/16 |
| <i>ADTF</i> | <i>ACR</i> Decrease Time Factor | 0.5s |
| <i>TBE</i> | Transient Buffer Exposure | - |
| <i>CRM</i> | Missing RM cell Count | $[TBE/Nrm]$ |
| <i>CDF</i> | Cutoff Decrease Factor | 1/16 |
| <i>FRTT</i> | Fixed Round-Trip Time | - |
| <i>NBUF</i> | Number of Buffer allocation | - |

表 3.1: ABR トラヒックパラメータ

- *PCR*: 送信端末が VC を通して転送する最大伝送速度である。
- *MCR*: ネットワークが保証できる最小伝送速度である。
- *ACR*: データセルの許容伝送速度である。

- *ICR* : BRM セルが受信するまでの初期伝送速度である。
- *TCR* : 送信端末が仮 RM セルを生成する許容レートである。
- *Nrm* : 送信端末が RM セルを生成する周期 (データセルを $Nrm-1$ 個送信した後 RM セルを送信) である。
- *Mrm* : 送信端末が RM セルを生成する周期 (データセルを少なくとも Mrm 個送信した後 RM セルを送信) である。
- *Trm* : 送信端末が RM セルを送信する最小限周期である。
- *RIF* : 送信端末が送信レートを増加する加算増加ファクタである。
- *RDF* : 送信端末が送信レートを減少する乗算減少ファクタである。
- *ADTF* : 送信端末が RM セルを送信できない場合、*ACR* を減少する制限時間である。
- *TBE* : ネットワークが制御ループを構成する前に、初めの *RTT* 期間中にスイッチを通るセルの最大数である。
- *CRM* : 送信端末が順方向 RM セルを CRM 個送信するまで逆方向 RM セルを受信する周期である。
- *CDF* : 送信端末がネットワークを輻輳状態と判断し、送信レートを減少する減少ファクタである。
- *FRTT* : 固定 *RTT* である。
- *NBUF* : スイッチに割り当てたバッファ量である。

3.2.5 制御セル：RM(Resource Management) Cell

RCFC 方式では、送信端末が RM セルを生成し、ネットワークへ転送する。RM セルを受信した受信端末は逆方向に RM セルを送信端末へ転送する。スイッチは逆方向の RM セルにバッファの情報を記入し、前段スイッチへ転送する。

順方向 RM セルは、送信端末が生成し、受信端末へ転送する RM セルである。受信端末は順方向 RM セルを受信し、方向ビットを "0" から "1" に書換え、逆方向 RM セルとして送信端末へ転送する。

正規 RM セルと非正規 RM セル

送信端末によって生成された RM セルは *ACR* を越えないレートで転送される。この RM セルは正規 RM セルである。

特定な環境ではスイッチ、送信端末、受信端末も余分の RM セルを生成できる。この RM セルは非正規 RM セルであり、*ACR* レートにカウントされず、CLP(Cell Loss Priority) ビットを "1" にセットし、ネットワークの輻輳時には優先的に損失される。送信端末とスイッチで生成される非正規 RM セルは VC 当たり *TCR* を越えない。

スイッチでの非正規 RM セルの生成は、クレジットの転送と BECN (Backward Explicit Congestion Notification) のためであり、受信端末での非正規 RM セルの生成は、受信した順方向 RM セルだけで不十分なときと逆方向 RM セルの ACR をゼロにセットするためである。

正規 RM セルと非正規 RM セルの区分は CLP ビットのセットによってできる。すべてのデータセルの CLP ビットは "0" にセットされる。

RM セルの構成

表 3.2 に制御セルである RM セルのフィールド構成を示す。

| フィールド名 | オクテット | ビット位置 | 説明 |
|--------|---------|---------|---------------------|
| Header | 1 - 5 | all | ATM Header |
| ID | 6 | all | プロトコル ID |
| DIR | 7 | 8 | RM セルの方向 |
| BN | 7 | 7 | BECN セル |
| CI | 7 | 6 | 輻輳表示 |
| NI | 7 | 5 | No Increase |
| RA | 7 | 4 | Request/Acknowledge |
| ER | 8 - 9 | all | 明示的レート |
| CCR | 10 - 11 | all | 現在セルレート |
| MCR | 12 - 13 | all | 最小セルレート |
| QL | 14 - 17 | all | キュー長 |
| SN | 18 - 21 | all | シーケンス番号 |
| CRD | 22 - 23 | all | クレジット量 |
| 予約 1 | 24 - 51 | all | 予約 1 |
| 予約 2 | 52 | 16 - 11 | 予約 2 |
| CRC-10 | 52 | 10 - 1 | エラー検出 |

表 3.2: RM セルのフィールド構成

- Header : RM セルの最初の 5 バイトは VCC には PTI = 1 1 0、VPC にはさらに VCI = 6 を有した標準的な ATM ヘッダーである。
- ID(protocol ID) プロトコル ID : ABR サービスクラス時に 1 を設定するために割り当てられたフィールドである。
- DIR(direction) : 順方向/逆方向 = 0 / 1 DIR フィールドは相関のあるデータフローに関し RM セルの方向を表示する。送信端末で 0 を設定し受信端末で 1 を設定する。ネットワークは RM セルが折り返される場合を除き方向指示ビットを変更すべきでない。
- BN(BECN RM Cell) : ネットワークによって RM セルが生成される。その場合、スイッチで生成されたセルであることを表示するために BN = 1、および逆方向フローであることを示

す $DIR = 1$ を設定する。送信端末で生成する RM セルでは $BN = 0$ を設定する。

- CI(Congestion Indication) : 輻輳表示は送信端末の ACR を低減させるために使用される。送信端末で RM セルの送信時に $CI = 0$ を設定する。 $CI = 1$ の設定は受信端末で直前のデータセルが EFCI を表示した表示である。スイッチでは CI ビットを 1 から 0 に変更しない。
- NI(No Increase) : NI ビットは送信端末の ACR の増加を妨ぐために使用される。 $CI = 1$ に比べ $NI = 1$ はどんな低減も要求しない。スイッチが切迫した輻輳状態に陥った時に使用される。スイッチは NI ビットを 1 から 0 に変更しない。
- RA(Request/Acknowledge) : RCFC では使用されない。
- ER(Explicit Rate) : 明示的なレートは送信端末からの ACR を特定な値に制限するために使用される。初めは送信端末によって PCR のような要求されたレートが設定される。そのレートは徐々にネットワークが維持できるレートに低減される。
- CCR(Current Cell Rate) : 現在セルレートフィールドは順方向 RM セルが生成される時に送信端末によって現 ACR が設定される。このフィールドは ER の算出を容易にするために使用され、ネットワークによって変更されない。
- MCR(Minimum Cell Rate) : MCR フィールドはコネクション設定時に交渉された値に送信端末によって設定される。このフィールドは帯域割当を容易にするためにスイッチによって設定される場合もある。
- QL(Queue Length) : RCFC では使用されない。
- SN(Sequence Number) : RCFC では使用されない。
- CRD(Credit) : クレジット数は送信端末が $CRD = 0$ を設定する。後段スイッチが転送したデータセルの数を逆方向 RM セルに設定し、前段スイッチへクレジット量として転送する値である。

3.2.6 RCFC 方式の基本動作原理

基本オペレーション

RCFC 方式の送信端末、受信端末、スイッチの動作原理を以下に説明する。

送信端末の動作原理

レートを制御するためもっとも重要な役割を果たすのが送信端末である。

送信端末の動作ルールは次のようである。

- 送信端末：動作ルール 1

送信端末は算出された ACR によってデータセルの伝送速度を決める。その ACR と送信端末のレートは次のようである。

$$MCR \leq ACR \leq PCR$$

$$\text{伝送レート} \leq ACR$$

- 送信端末：動作ルール 2

コネクションが開始されると送信端末は初め ICR で転送し、できるだけ早くネットワークからフィードバック情報を得るため最初のセルは RM セルで転送する。

- 送信端末：動作ルール 3

送信端末は送信するためある時データセル、順方向 RM セル、逆方向 RM セル (例：両方向コネクション) を同時に持つ。この場合、各セルの優先順位は

1. 送信端末は $Nrm - 1$ のデータセルの後、順方向 RM セルを送信する。

ネットワークが輻輳状態が続くと伝送レートが低下され、RM セル間の間隔が大きくなり、ネットワークからのフィードバック情報の遅延が発生する。この問題の解決方法として送信端末は直前に転送した順方向 RM セルとの間隔が Trm 以上である場合、転送したデータセルが $Nrm - 1$ より少なくとも順方向 RM セルを生成し、転送する。

転送速度が超低速の場合、 Trm の間隔が過ぎても順方向 RM セルを転送できない時、順方向 RM セルを転送する必要がある。この場合は一つのデータセルも転送されていないことになる。この問題の解決方法として順方向 RM セル間隔に関係せず、順方向 RM セル間に少なくとも Mrm データセルを転送した後、順方向 RM セルを生成し、転送する。

図 3.4 に順方向 RM セルの転送例を示す。

図 3.4 では、一方向を仮定し、三つの場合を表す。

各パラメータの条件としては $Nrm = 32$ と $Trm = 100ms$ である。

図 3.4 の (a) では、送信端末の伝送レートが $500cells/s$ で 32 番毎のセルは順方向 RM セルとして転送される。32 セルの転送時間は $100ms$ より少ない。

図 3.4 の (b) では、送信端末の伝送レートが $50cells/s$ で 32 個セルを転送するのに $640ms$ かかる。順方向 RM セルは強制的に周期 $100ms$ で転送される。

図 3.4 の (c) では、送信端末の伝送レートが $5cells/s$ でセルの間隔が $200ms$ になり、順方向 RM セルの間隔は $600ms$ になる。 (Mrm が 2 の場合)

2. 逆方向 RM セルはデータセルより高優先度を与えられる。データセルが全然転送されなくとも待ち逆方向 RM セルは転送される。
3. 残ったスロット時間にデータセルは転送される。

- 送信端末：動作ルール 4

送信端末：動作ルール 1 から送信端末：動作ルール 3 までで生成された RM セルは正規 RM セルで、CLP ビットに 0 をセットする。追加の非正規 RM セルは CLP ビットを 1 にセットする。例えば、図 3.4 の (c) の場合、 ACR が $5cells/s$ で周期 $600ms$ 当たり一個の正規 RM セルが転

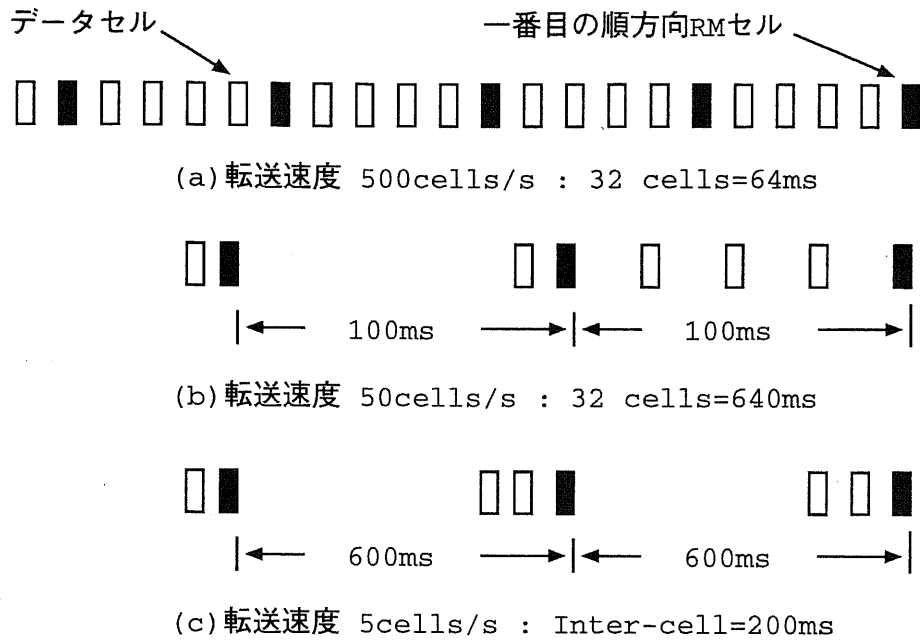


図 3.4: 順方向 RM セルの転送例

送される。もし必要であれば制限された数の非正規 RM セルを生成し、CLP ビットを 1 にセットして転送できる。

順方向 RM セルの生成周期は N_{rm} 、 T_{rm} 、 M_{rm} 等のパラメータによって決まる。 N_{rm} を 32 に設定した場合、制御セルのオーバーヘッドは順方向 RM セルで 3%、逆方向 RM セルで 3% 合わせて 6% になり、既存のクレジット制御の制御のオーバーヘッドと同じくらいである。

N_{rm} の選択は送信端末、受信端末、スイッチの計算オーバーヘッドや制御の応答性に影響を与える。

● 送信端末：動作ルール 5

送信端末が 500ms の間一つの RM セルをも転送していない場合、以前に算出された ACR が高いとその ACR は使わない。送信端末はネットワークの状態をチェックするため非正規 RM セルを生成し、 ACR をコネクション時に交渉された ICR 値まで減少し、転送する

$$ACR \leftarrow \text{Min}\{ICR, ACR\}$$

送信端末が ACR を無効にする周期はコネクション設定時に交渉された $ADTF$ (ACR Decrease Time Factor) によってセットする。

送信端末が低負荷の時順方向 RM セルを転送すると、高レートでの ACR が得られ、高伝送レートでデータセルを送信する。送信端末が高負荷の時にもその転送レートでデータセルを送信することでネットワークの輻輳をより激しくて、セルの損失が起こることを防ぐためにこのルールは必要である。

- 送信端末：動作ルール 6

ネットワークに故障や重い輻輳が生じている場合、RM セルはスイッチのキューにブロックされ、送信端末がネットワークからフィードバックを受信できない状態になる。

異常な環境下でネットワークのトラヒックの溢れを防ぐためには、決まった期間内に送信端末が逆方向 RM セルを受信できないと伝送レートを減少する。

ネットワークが安定的な状態では、送信端末が一つの順方向 RM セルを転送すると逆方向 RM セルを受信できる。送信端末が CRM 個の順方向 RM セルを転送する間逆方向 RM セルを受信できなかった場合、送信端末はネットワークが輻輳状態と判断し、伝送レートを CDF パラメータによって減少する。

$$ACR \leftarrow \text{Max}\{MCR, ACR - (ACR * CDF)\}$$

非稼働中の送信端末は CDF を 0 にセットする。

CRM (missing RM cell count) と CDF (cutoff decrease factor) パラメータはコネクション設定時に交渉されて決まる。

このルールは一つの逆 RM セルを受信されるまですべての順方向 RM セルに適用される。逆方向 RM セルを受信されるとクリアし再カウントを行う。

CRM パラメータはコネクション設定時 TBE パラメータによって計算される。

TBE パラメータはネットワークが制御ループを構成する前に初めの RTT 期間中にスイッチを通るセルの最大数である。この期間中に送信端末は TBE/N_{rm} 個の順方向 RM セルを転送する。

$$CRM = \lceil \frac{TBE}{N_{rm}} \rceil$$

ICR 、 $FRTT$ 、 TBE パラメータの関係は次のようである。

$$ICR \times FRTT \leq TBE$$

送信端末の ICR は次のようで決まる。

$$\text{送信端末}ICR \leftarrow \text{Min}\{\text{ネットワーク交渉値}ICR, TBE/FRTT\}$$

TBE パラメータの選定はスイッチのバッファ量を考慮すべきである。

- 送信端末：動作ルール 7

送信端末は順方向 RM セルの CCR フィールドへ現在の ACR 値を書き込み、転送する。

| NI ビット | CI ビット | 算出式 |
|--------|--------|--|
| 0 | 0 | $ACR \leftarrow \text{Min}\{ER, ACR + RIF \times PCR, PCR\}$ |
| 0 | 1 | $ACR \leftarrow \text{Min}\{ER, ACR - ACR \times RDF\}$ |
| 1 | 0 | $ACR \leftarrow \text{Min}\{ER, ACR\}$ |
| 1 | 1 | $ACR \leftarrow \text{Min}\{ER, ACR - ACR \times RDF\}$ |

$$ACR \leftarrow \text{Max}\{ACR, MCR\}$$

表 3.3: ACR の変更方法

- 送信端末：動作ルール 8

ネットワークからフィードバックされる情報では、明示的レート (ER)、輻輳表示ビット (CI)、No Increase ビット (NI)、クレジット量 (CRD) がある。通常的に送信端末は新しい ER 値で ACR を変更する。

送信端末での ACR の変更方法について表 3.3 に示す。

送信端末が逆方向 RM セルを受信した後の、伝送レートやクレジットの更新は次のようである。

- 新しい ER と現 ACR を比較して新しい ER が高すぎると送信端末が ACR を新 ER へ変更してセルを送信するとネットワークのキューが溢れる恐れがある。送信端末が ACR を増加するためには RIF を用い、一回当たり $RIF \times PCR$ 以下の値で増加させる。
- ネットワークのパスの中に EFCI スイッチがある場合、そのスイッチでは ER フィールドを変更できない。代わりに、スイッチが輻輳を検出し、データセルのヘッダの EFCI ビットをセットする。受信端末では、データセルの EFCI ビットを監視し、順方向 RM セルの直前のデータセルの状態を逆方向 RM セルの CI フィールドへセットする。送信端末では、逆方向 RM セルの CI フィールドをチェックし CI ビットが 1 の場合、ネットワークが輻輳状態であると認識し、伝送レートを減少させる。送信 端末が ACR を減少するためには RDF を用い、一回当たり以下のように減少させる。

$$ACR \leftarrow \text{Max}\{MCR, ACR - (ACR * RDF)\}$$

- 送信端末では、後段スイッチのクレジット量である CRD フィールドを用い、CUP (Credit Update Protocal) を行う。クレジットバランスが 0 以上の場合だけ、セルを送信する。

送信端末は一回 ACR を更新すると、新しい ACR でクレジットバランスを減らしながらセルを転送する。

- 送信端末：動作ルール 9

送信端末は、順方向 RM セルフィールドを設定する。送信端末は、以下のように順方向 RM セルフィールドを設定する。

- VPCs の VCI(virtual circuit id)=6
- VCCs の VCI(virtual circuit id) はコネクションが使用
- ATM セルヘッダーの PTI(protocol type id)=6(110B)
- RM セルのペイロードの DIR(RM セルの方向)=0
- RM セルのペイロードの CI(輻輳表示)=0
- RM セルのペイロードの BN(BECN セル)=0
- RM セルのペイロードの NI(No Increase)=0
- RM セルのペイロードの ER(明示的レート)=PCR
- RM セルのペイロードの CCR(現在セルレート)=ACR
- RM セルのペイロードの MCR(最小セルレート)=MCR
- RM セルのペイロードの QL(キュー長)=0
- RM セルのペイロードの SN(シーケンス番号)=0
- RM セルのペイロードの CRD(クレジット量)=0
- RM セルのペイロードの予約 1=01101000
- RM セルのペイロードの予約 2=0

- 送信端末：動作ルール 10

送信端末は余分の順方向 RM セルを生成する時レートは、TCR 以下である。

- 送信端末：動作ルール 11

送信端末はすべてのデータセルを送信する時 EFCI ビットをリセットする。

受信端末の動作原理

受信端末の動作ルールは次のようである。

- 受信端末：動作ルール 1

受信端末は入って来るデータセルの EFCI ビットを監視し、順方向 RM セルの直前のデータセルの EFCI ビットをセーブする。

- 受信端末：動作ルール 2

受信端末は順方向 RM セルを受信し、送信端末に返送する。

RM セルフィールドは以下を除いて変更しない。

- 方向指示ビット DIR を 0 から 1、順方向から逆方向に変更する

- セーブされた EFCI = 1 なら受信端末は RM セルに CI = 1 を設定し、セーブされた EFCI 値を初期設定する。
- 受信端末が内部輻輳を有する場合、受信端末は CI または NI を 1 に設定またはそのどちらにも 1 に設定できるようサポートするいかなるレートに対しても ER を低減する。
- BN フィールドはスイッチによって生成された RM セルと区分するため 0 をセットする。
- CRC フィールドは再計算される。

RM フィールドの CCR と MCR は変更できない。

● 受信端末：動作ルール 3

受信端末はできるだけ早い周期で RM セルを返送する。受信端末が同一 VC で折り返される後続の順方向 RM セルを受信する前に待機中の逆方向 RM セルを転送できない場合、最も新しい旧 RM セルの情報で上書きして転送する。

● 受信端末：動作ルール 4

受信端末で受信した RM セルを折り返す時、もし先の RM セルが折り返されたあとで EFCI = 1 を有した最後のデータセルを受信したなら受信端末は CI = 1 を設定することによってその結果を逆方向 RM セルにセットする。

● 受信端末：動作ルール 5

受信端末は順方向 RM セルを受信しなくとも逆方向 RM セルを生成できる。もし受信端末が重い輻輳の場合、後続順方向 RM セルの受信を待たずに受信端末はスイッチのように BECN RM セルを生成し、送信端末へレートの減少を要求できる。これら非正規逆方向 RM セルの生成レートは TCR 以下に制限する。この場合、CLP ビットは 1 をセットする。

● 受信端末：動作ルール 6

非正規順方向 RM セルが受信された場合、正規 RM セル (CLP = 0) や非正規 RM セル (CLP = 1) をセットし折り返す。

スイッチの動作原理

スイッチの動作ルールは次のようである。

● スイッチ：動作ルール 1

スイッチはキューの位置で輻輳を制御する次の手法のうち少なくとも一つの手法を盛り込む。

- スイッチはデータセルヘッダの EFCI フラグを設定する。
- スイッチは順方向 RM セルか逆方向 RM セルあるいは双方の RM セルで CI = 1 または NI = 1 を設定する。
- スイッチは順方向 RM セルか逆方向 RM セルあるいはその双方の RM セルで ER フィールドを低減する。

- スイッチ：動作ルール 2

スイッチは逆方向 RM セルを生成する。スイッチが生成した逆方向 RM セルレートは VC につき TCR を越えない。スイッチが RM セルを生成する時 $CLP = 1$ または $NI = 1$ を設定し、 $BN = 1$ を設定し、クレジット情報を CRD フィールドに設定する。それから $DIR = 1$ の逆方向設定をする。

- スイッチ：動作ルール 3

スイッチは逆方向 RM セルの CRD フィールドのクレジット情報を読み、クレジットバランスを再計算する。その時 CUP アルゴリズムを用いる。

- スイッチ：動作ルール 4

スイッチは逆方向 RM セルの CRD フィールドにスイッチが後段スイッチへ送ったセルの数を前段スイッチのクレジット情報として上書きし、逆方向 RM セルを転送する。

- スイッチ：動作ルール 5

スイッチはクレジットバランスがゼロになったら順方向セルの送信を中止する。逆方向 RM セルはクレジットバランスに関係なく転送される。

スイッチの負荷検出方法

スイッチでの負荷検出方法として輻輳状態の検出と、輻輳状態によって明示的なレートを算出する方法を取り上げる。

- スイッチの輻輳検出

スイッチでの輻輳判定は、スイッチのバッファ内の蓄積セルの数が割当られたバッファのあるしきい値を超過したかどうかで行う。

スイッチに割当られたバッファ構成は図 3.2 で、輻輳判定は次のようである

- スイッチは初期の EFCI ビット 0 である。
- スイッチは蓄積されたセル数が $Buf_alloc - N3$ 以上の場合、輻輳情報をセーブしデータセルの EFCI ビットを 1 に設定する。

$$EFCI = 1 \leftarrow \text{蓄積セル数} \geq (Buf_alloc - N3)$$

- スイッチは $EFCI=1$ の情報を維持しながら順方向セルを送信する。
- スイッチは蓄積されたセル数が $Buf_alloc - N3 - N2$ 以下になると輻輳情報をクリアしデータセルの EFCI ビットを 0 に設定する。

$$EFCI = 0 \leftarrow \text{蓄積セル数} \leq (Buf_alloc - N3 - N2) = N4$$

- スイッチは $EFCI=1$ の情報を維持しながら順方向セルを送信する。

● スイッチの ER の計算方法

スイッチは次のように明示的レートである ER を計算する。

- 送信端末から送信される順方向 RM セルの CCR(現在セルレート)を VC 毎に平均し、平均許容セルレート $MACR$ (Mean Allowed Cell Rate) を求める。

$$MACR = MACR + (ACR - MACR) * AVF$$

AVF は指数平均ファクタで定数として与えられる。

- スイッチは重い輻輳が発生した時に、 $MACR$ に一定の圧縮率 MRF を掛けることで ER を求める。

$$ER = \text{Min}\{MACR * MRF, ER\}$$

MRF は主減少ファクタで定数として与えられる。

- スイッチは通常の輻輳が発生した時に、 $MACR$ に一定の圧縮率 ERF を掛けることで ER を求める。

$$ER = \text{Min}\{MACR * ERF, ER\}$$

ERF は明示レート少ファクタで定数として与えられる。

3.3 無線区間での動的チャンネル割当方式

3.3.1 動的リソース割当制御の問題提起

マルチメディア環境におけるリソース割当手法

無線リンクにおけるマルチメディアの収容は、多様なビットレートや品質要求条件を有するトラヒックを同一のリンク上で伝送することを意味する。最も単純な方法は、各トラヒックに対してピークレートを固定的に割り当てる方法である。しかし、このようなアプローチでは次のような問題がある。

- 限られた無線リソースの非効率的な使用
- 予測不可能なバーストトラヒックへの対応性

したがって、より効率的な無線リンクの運用のためには要求に応じてリソースを動的に割り当てるのが望ましい。

動的割当を行う場合には、データトラヒックに対しては、アクセスの公平性を保つように割当を行うことが重要であり、既存の方法でも実現できる。しかし、マルチメディア環境においては、要求条件が異なるトラヒックを多重化する必要があり、各トラヒックの QoS を保証し最悪の場合でも品質の劣化が全トラヒックに平等¹に分散されるように割当を行う必要がある。

理論的には、すべてのトラヒックの再生タイミングや要求帯域が既知であれば、次に述べる方法により最適な割当を行うことができる [80]。

まず、各メディアの特性や再生タイミングの制約を表す情報はコネクション設定時に基地局に送られ、基地局では、各メディアオブジェクト O_i に対して、メディアタイプ、サイズ、再生持続時間、要求スループット γ_i 、要求品質 ω_i などの属性が予め分かるとする。ここで、 ω_i は $(1 - \text{損失率})$ である。リソースの割当は、次の式を最小化するように、以下の手順で行う。

$$\sum_{i < j} (\theta_i - \theta_j)^2, \quad \sum \theta_i |O_i| = \sum \gamma_i - C_a(T) \quad (3.1)$$

ここで、 θ_i はオブジェクト O_i の損失率である。また、 $|O_i|$ は、オブジェクト O_i の正規化されたサイズであり、 $C_a(T)$ は、時間 T におけるチャンネルの空き容量である。

Step 1: 時間 T から再生をはじめるオブジェクト $\rightarrow O_1, \dots, O_n$

Step 2: $\sum \gamma_i < C_a(T)$ なら、各オブジェクト O_i に γ_i の帯域を割り当てて、step 5 へ。そうでなければ、step 3 へ。

Step 3: $0 \leq \theta_i \leq 1 - \omega_i$ の制約のもとで、式 3.1 を最小化する。成功したら、各オブジェクト O_i に $(1 - \theta_i)\gamma_i$ の帯域を割り当てて、step 5 へ。失敗したら、step 4 へ。

Step 4: $0 \leq \theta_i \leq 1 - \rho_i \omega$ の制約のもとで、式 3.1 を最小化する。ここで、 $\omega \in [0, \max\{\omega_1, \dots, \omega_n\}]$ であり、 $\rho_i = \frac{\omega_i}{\max\{\omega_1, \dots, \omega_n\}}$ である。各オブジェクト O_i に $(1 - \theta_i)\gamma_i$ の帯域を割り当てて、step 5 へ。

¹ここで言う「平等」の意味は、定量的ではなく定性的な意味である

Step 5: 終了。

このような最適化手法では、各トラフィックの要求品質に基づき、損失率を厳密に分散させることで、トラフィック間の公平性を保証することができる。しかし、蓄積メディアの再生でない場合は、予めトラフィックの特性や制約情報を得ることは困難であり、現実的ではない。また、非線形式を解く必要があるため、ハードウェア的に複雑になる。

したがって、実際の場合では、連続的にトラフィックの状況を基地局に通知し、基地局でその情報に基づいて動的にリソースの割当を行うのがより現実的なアプローチである。この場合に、動的リソース割当のためには、まず端末のバッファ状態を基地局に通知する機能と、それらの状態情報に基づいて割当をスケジュールする機能が必要である。

3.3.2 TDMA 方式のスロット構造

図 3.5 に提案する方式のデータスロット形式を示す。データスロットは情報伝送用の TDMA タイムスロットの形式である。データスロット内の各フィールドについては以下に説明する。

- **Type:** コネクションのサービスクラス・ペイロード情報の種別を表す。先頭に Type フィールドを設けるのはプロトコル処理の高速化を図るためである。
- **Flags:** DLC エンティティ間の制御信号のやりとりに使われ、以下のようなフラグビットが設けられる。
 - **Update CSN:** 受信 CSN を強制的に現在の Control Info フィールドの値に更新することを要求する。内部的にパケット廃棄などが起こった時またはハンドオーバー時にセル損失が起こって DLC エンティティ間の整合が取れていない場合に用いる。
 - **Immediate ACK:** 選択的再送型の誤り制御において、伝送誤りによって一定時間内に ACK 信号が受信されなかった場合、強制的な ACK 情報の送信要求に用いる。
 - **CSlot REQ:** アップリンク制御スロットの割当要求に用いる。メータシグナリンクなど、制御情報のやりとりが多い時にランダムアクセスの衝突を避けるために用いる。
 - **Feedback Info:** Control Info フィールドの値がバッファ状態の情報であることを示す。
- **CSN(Cell Sequence Number):** 現在のデータスロットのシーケンス番号である。データスロットを識別し、誤り制御における再送の際に用いる。
- **Control Info:** DLC エンティティ間の制御情報である。Update CSN の新しい CSN 値、CSlot REQ の要求理由コード、バッファ状態情報のピギバック送信などに用いる。
- **VCN(Virtual Connection Number):** 無線リンクにおいてコネクションを識別するラベルであり、基地局で ATM セルを組み立てる時には、NNI(Network-Network Interface) における 28 ビットの VPI/VCI ラベルに変換される。
- **PT/CLP:** ATM セルヘッダ部の PT/CLP フィールドである。
- **HEC(Header Error Control):** データスロットのヘッダ部における誤り検出に用いる。

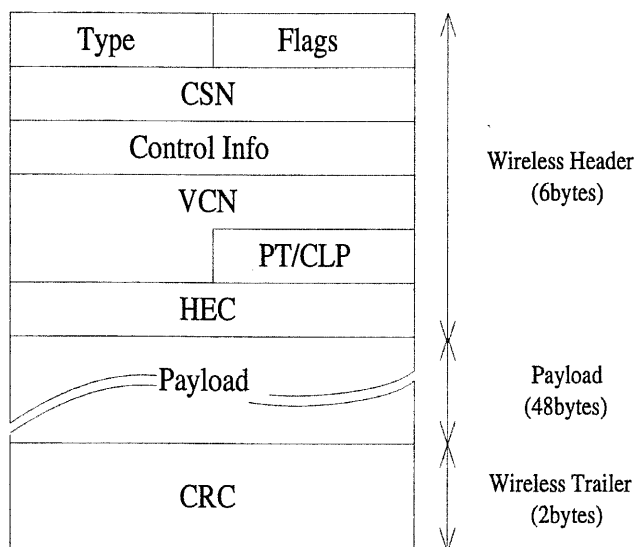


図 3.5: データスロット及び制御スロットの形式

- **Payload:** ATM セルのペイロードを運ぶための情報部である。前述したように、データスロットのペイロード長は ATM セルのペイロード長と等しい。
- **CRC(Cyclic Redundancy Check):** ペイロードの誤り検出に用いる。

制御スロット形式

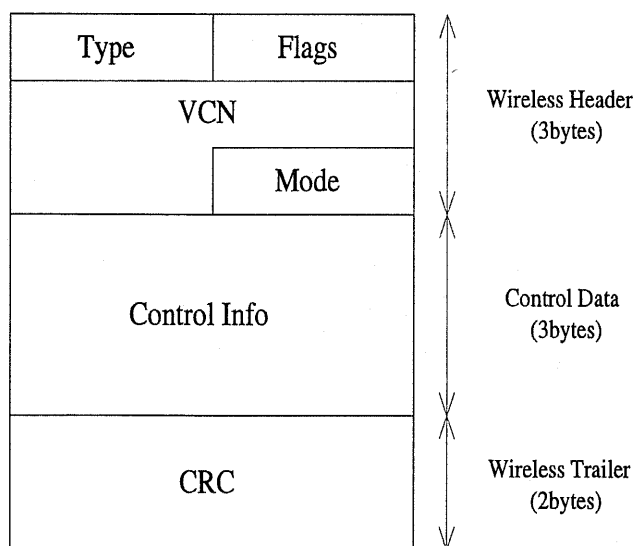


図 3.6: 制御スロットの形式

図 3.6に提案する方式の制御スロット形式を示す。制御スロットは制御情報のやりとりに用いられる。データスロットより短いため、一つの TDMA タイムスロットを幾つかの制御ミニスロットに変

換して使う。制御スロット内の各フィールドについては以下に説明する。

- **Type:** ブロードキャスト情報・ACK・スロットの割当情報・バッファ状態情報・メータシグナルなどの制御情報の種別を表す。
- **Flags:** DLC エンティティ間の制御信号のやりとりに使われ、データスロットにおける Flags フィールドと同様なフラグビットが設けられる。
- **VCN(Virtual Connection Number):** データスロットと同じく、無線リンクにおいてコネクションを識別するラベルである。
- **Mode:** 制御情報の種類および符号化方式を表す。
- **Control Info:** 制御スロットの情報部である。圧縮した制御情報の場合は、Mode フィールドの符号化方式が示されている。フレームの構造に関する情報などのブロードキャスト情報、アップリンク送信に対する ACK、各スロットの割当通知、バッファ状態のフィードバック、メータシグナリング、トークン発生レート、クレジット情報などに用いられる。
- **CRC(Cyclic Redundancy Check):** 制御スロット全体に対する誤り検出符号である。

3.3.3 メディアアクセス制御機能

共有伝送メディアにおけるマルチメディアトラフィックに対するリソースの割当は、3.3.1節で述べたように、理論的には、すべてのトラフィックの再生タイミングや要求帯域が既知であれば、最適化手法により動的に行うことができる。しかし、蓄積メディアでない一般的な通信トラフィックからは、予めこのような情報を得ることは困難である。したがって、無線 ATM リンクにおいて基地局を中心とする動的割当制御を行うためには、各コネクションのコネクションパラメータとバッファ状態情報を用いて行う必要がある。ダウンリンクの場合は、コネクション設定時に交渉されたコネクションパラメータと基地局におけるダウンリンクのバッファ状態情報から割当を行うことができる。しかし、アップリンクに関しては、コネクションパラメータは保持しているとしても現在のバッファ状態は基地局にとっては未知であり、各コネクションのバッファ状態情報を基地局にフィードバックさせる必要がある。

本節では、バッファ状態情報のフィードバック方法として、ランダムアクセス、ポーリング、そしてデータスロットへのピギバックの三つの方法を適切に使うことで無線リンクにおける制御情報のやりとりによるオーバヘッドを抑えるメディアアクセス制御方式を提案する。以下では、提案する方式について述べる。

バッファ状態情報

バッファ状態情報とは、DLC バッファに溜っているデータパケットの数・長さ・セグメント長²・待ち遅延時間・送信期限などの情報である。このような情報をすべてフィードバックさせるのは、無線リンク上の大きなオーバヘッドとなり、実際には動的割当制御に用いる情報だけをフィードバックさせる。また、状態情報のフィードバックは、バッファの状態に変動が生じた時だけに行う。バッファ状態の変動は以下のようなイベントにより起こる。

²セグメント長とは、送信中であるパケットの残りの長さを示すものである。

1. 新しいパケットの到着：端末側の DLC バッファに上位層からのパケットが到着した時
2. パケット送信の完了：現在送信中であったパケットの送信が完了し、さらに送信バッファの状態が空きではない時
3. バッファ状態情報の不一致：伝送誤りなどにより両側のバッファ状態情報の一貫性が失われたと判断される時
4. 送信待ち中のパケットの廃棄：送信期限満了により今まで送信待ちであったパケットを送信側で廃棄処分した時

バッファ状態情報のフィードバック方法

まず、CBR などの予約モードのコネクションは、コネクション設定の要請またはハンドオーバー時の最初のアクセスはランダムアクセスで行う。そして、受け入れられたら、その無線セルにいる間（または、コネクションが持続する間）は周期的に固定のスロットが割り当てられる。ただし、割当スロットのフレーム内での位置は固定ではなく、ダウンリンクの制御スロットを用いてその位置を通知する。また、輻輳の際は、輻輳の影響を全トラヒックの間に分散させるために、一時的に割当がキャンセルされることもある。

VBR、ABR、UBR サービスクラスのコネクションでは、端末または基地局側の DLC におけるバッファ状態に変動が生じると、以下の方法を用いて改めてバッファ状態情報の整合をとる。

1. **ポーリング (Polling)**: ポーリングは、基地局から強制的にバッファ状態のフィードバックを要求する方法である。ポーリングはダウンリンク制御スロットを用いて行い、ポーリングしたコネクションにはそのフレームのアップリンク制御スロットを割り当て、フィードバックの衝突を避ける。ポーリングを行う条件については後述する。
2. **ランダムアクセス (Random Access)**: ランダムアクセスは、ダウンリンクブロードキャスト情報でアップリンクにおけるランダムアクセス用として指定された制御スロットを用いて行う。ランダムアクセスに対する ACK は、次のフレームのダウンリンク制御スロットを用いて返される。次のフレームで ACK が受信されなかった場合は、ランダムアクセスの衝突または伝送誤りが起こったと想定し、ランダムアクセスバックオフ時間が経ってから再びランダムアクセスを試みる。ランダムアクセスバックオフについては後述する。ランダムアクセスは、主に、発生が不規則なトラヒックまたはバーストトラヒックにおけるバースト開始初期アクセスに用いられるフィードバック手段である。
3. **ピギバック (Piggyback)**: ピギバック送信は、現在のフレームでアップリンクのデータスロットが割り当てられた場合に、データスロットの Control Info フィールドを用いてバッファ状態のフィードバックを行う方法である。ピギバック送信は、衝突が起こらないため、アップリンクデータスロットが割り当てられている場合は、ランダムアクセスより優先的に行う。ピギバック送信は、発生のパターンに周期性があるトラヒックまたは連続的なストリームデータトラヒックなどに特に有効な方法である。また、高負荷時にも安定的なフィードバック手段である。

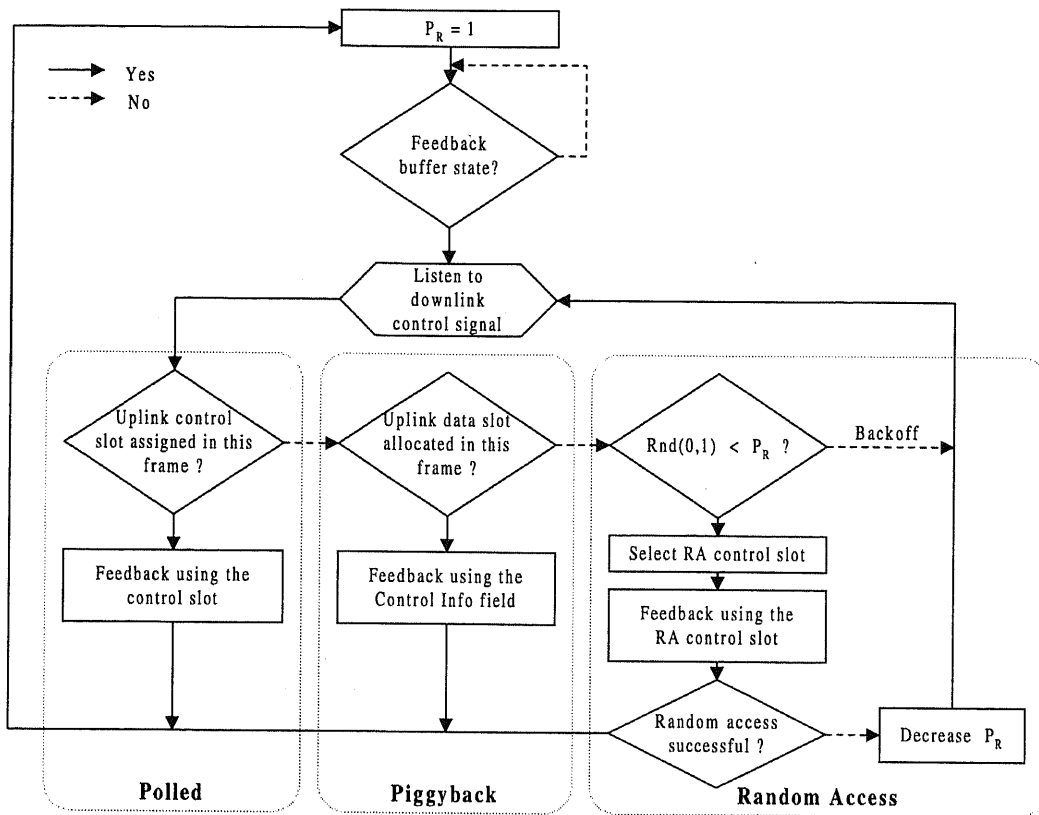


図 3.7: バッファ状態のフィードバック方法

図 3.7に以上で説明した三つの方法によるフィードバックアクセスの流れを示す。基地局からのポーリングがある場合は、アップリンクの制御スロットが割り当てられ、衝突のない送信ができる。したがって、ポーリングがある場合は、割り当てられた制御スロットを用いてフィードバック情報を送信することを優先的に選択する。続いて、ポーリングがない場合は、もしアップリンクのデータスロットが割り当てられていると、そのデータスロットにピギバックして送信する。最後に、ポーリングもアップリンクデータ送信もない場合には、ランダムアクセスを試みる。ここで、 P_R はランダムアクセスの確率であり、 P_R を調整することで、ランダムアクセスをバックオフさせ、連続する衝突を避けることができる。

ここでは、ランダムアクセス用の制御スロットの選択および P_R の調整アルゴリズムなど、具体的なランダムアクセス制御方法は想定しない。ランダムアクセス制御方法については、接続の種類・端末の数・衝突の状況・トラヒックの分布などを考慮する必要がある、今後の検討が必要である。

ポーリングの条件

ポーリングは基地局でアップリンクの制御スロットを割り当てて与えるため、衝突のない制御情報の送信ができる。しかし、各ポーリングフェーズには二つの制御スロットが必要であるため、そのオーバーヘッドは大きい。したがって、ポーリングは迅速かつ信頼性のある制御情報のやりとりが必要

な時だけに行う。ポーリングの条件としては、以下のような条件が考えられる。

- 送信期限満了による廃棄：割当スケジューラにおける割当遅延により、パケットの送信期限を過ぎてしまい、端末側で廃棄処分したと判断される時はポーリングによりバッファ状態情報を更新する。
- 伝送誤りによる状態情報の狂い：基地局側では、あるコネクシオンに割り当てたアップリンクデータスロットに正しい CSN(Cell Sequence Number) を持つデータスロットが受信されないと、データスロットの伝送誤りまたはダウンリンクの ACK・Allocation 制御スロットに誤りが発生したと判断し、ポーリングによりバッファ状態情報の整合をとる。伝送誤り時のポーリングは、伝送路の品質を監視する機能にもなり、ポーリングに対する応答があるまで周期的に行うことで伝送路の品質状態を推測することができる。
- シグナルのやりとり：コネクシオン設定時などのネットワーク側との制御情報のやりとりは、最初だけ移動端末からランダムアクセスにより制御情報を送信し、続く送信に対しては基地局でポーリングにより制御スロットを確保して与える。
- 周期的ポーリング：移動端末からのデータ送信が一定時間ない場合に、基地局で周期的ポーリングによりバッファ状態情報をフィードバックさせる。長い間反応がない場合は、コネクシオンを解除する。
- 付加的情報の要請：バッファ状態に関する付加的な情報が必要な場合はポーリングを行う。

ランダムアクセス制御

ランダムアクセス (RA: Random Access) の衝突を完全に避けることは原理的にできない。しかし、以下のような方法でその確率を下げることはできる。

1. 一つのフレーム内に複数の RA 用の制御スロットが存在する場合は、各端末で選択する RA 制御スロットを分配する。
2. RA に失敗した場合は、次回の RA 確率を下げる RA バックオフ (Backoff) により、連続した衝突を避ける。

RA 制御スロットを選択する方法としては、コネクシオンの種類・トラフィックの分布・衝突の状況などによって基地局が介入して特定の RA 制御スロットを指定する方法と、各端末で自律的に選択する方法が考えられる [60][67]。基地局が介入する方法では、RA 制御のオーバーヘッドが大きくなり、しかもその有効性については今後の検討が必要である。RA バックオフの方法としては、

したがって、本論文では、RA 用の制御スロットは各端末でランダムに選ぶことにする。また、ランダムアクセスのバックオフは、失敗の場合は、ランダムアクセス確率 P_R を、 $P_R = \frac{1}{1+P_R}$ に設定し、ハーモニックバックオフする。成功した場合は、 P_R を 1 にリセットする。

フィードバック情報は基本的にランダムアクセス (RA: Random Access) により送信を試みる。ランダムアクセスの衝突が起こった場合は、次のフレームでの RA 確率を下げ、連続的な衝突を避ける。これを RA バックオフ (Backoff) という。ランダムアクセス状態は送信を成功するか RA タイムアウトが起こるとリセットされる。

フレームアクセスの例

図 3.8 にフレームアクセスの例を示す。

まず、各フレームの先頭にそのフレームに関する情報をダウンリンク制御スロットを用いてブロードキャストする。ブロードキャスト情報はすべての端末 (MT) で受信する。2 番目の制御スロットは、MT#1 が前フレームで送信したアップリンクデータスロットに関する ACK である。3 番目の制御スロットは、MT#2 宛のダウンリンクデータスロットがあることを通知する。4 番目の制御スロットは MT#3 に二つのアップリンクデータスロットが割り当てられたことを通知する。また、MT#3 はこのアップリンクデータスロットの Control Info フィールドにバッファ状態情報のピギバック送信を行う。5 番目の制御スロットは MT#4 に 1 番目のアップリンク制御スロットを用いてバッファ状態情報をフィードバックするようにポーリングする。MT#5 は、ランダムアクセス用として指定された 2 ~ 5 番目のアップリンク制御スロットの内 4 番目を選択し、ランダムアクセスによるバッファ状態情報のフィードバックを試みる。

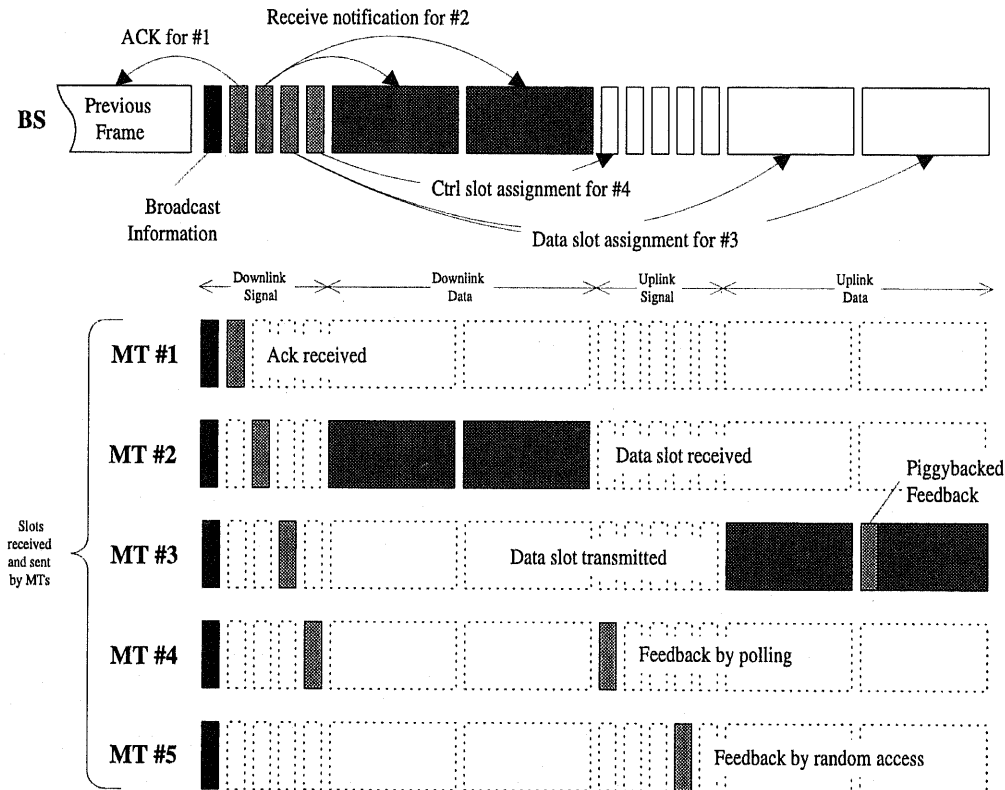


図 3.8: フレームアクセス例

3.3.4 無線での ABR トラフィック動的割当

各 ABR コネクションに割り当てるスロットの数を制限する方式としては、以下の方式が考えられる。

1. トークン発生方式：各 ABR コネクション VC_i に対して、周期的にレート R_i でトークンを発生させ、トークンカウンタ $TC_i (TC_i \leq TB_i)$ に加える。ここで、 TB_i は、最大トークンバケツサイズである。TDMA フレーム時間を t_{frm} とすると、 VC_i は、次のフレームで使用可能なスロットが $ABR_{wnd,i} = TC_i + t_{frm} \cdot R_i$ に制限される。送信を行う際は、送信スロット数分のトークンを TC_i から引く。図 3.9 にトークン発生方式の概念を示す。トークン発生方式では、1 フレームに転送可能な最大スロット数は、 $TB_i + t_{frm} \cdot R_i$ となる。ただし、長期平均転送レートは R_i で制限される。

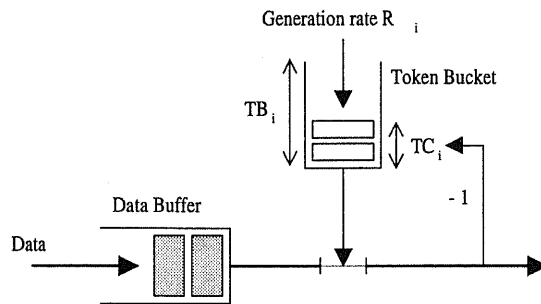


図 3.9: トークン発生方式による ABR フロー制御

2. 周期的リセット方式：各 ABR コネクション VC_i には WS_i のウィンドウサイズが与えられ、次のフレームで使用可能なスロット数が $ABR_{wnd,i} = WS_i - tx_cnt_i$ に制限される。ここで、 tx_cnt_i は今回の周期ですでに転送したスロット数である。送信を行う際は、送信スロット数分を tx_cnt_i に加える。 $tx_cnt_i = WS_i$ になった VC_i は送信を中止 (Pause) し、 tx_cnt_i がリセットされるまで待つ。すべて VC_i が休止 (Idle) または中止状態になると、MAC スケジューラでは、各 VC_i の tx_cnt_i をリセットし再び中止された各コネクションを活動 (Active) 状態に戻す。図 3.10 に周期的リセット方式の各状態を示す。周期的リセット方式では、各 VC_i に $R_i = WS_i / \sum_j WS_j$ の帯域を保証する。

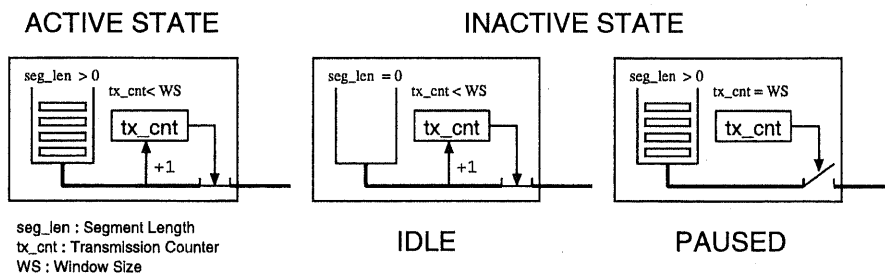


図 3.10: 周期的リセット方式による ABR フロー制御

トークン発生方式では、各コネクションの転送レートを制限するので、短期的にも厳密なアクセスの公平性を保証することができる。ただし、他のコネクションが休止状態にある時にもレートが制限される問題がある。また、バースト性が大きいトラフィックに対しては、効率的な割当てが難しい。周

期的リセット方式では、各コネクションが休止状態にある時には、リセットの周期が短くなるので、割り当てられる帯域はネットワーク状態に応じて変動する。ただし、ウィンドウサイズが大きくなると、短期的なアクセスの不公平が生じる可能性があるのが問題である。各方式の性能特性については 4.2.2 節で述べる。

3.3.5 フィードバック方式

最初は、公平にアクティブ VC 当りに帯域を割り当てる。アップリンクの場合、有線区間のネットワーク状況をフィードバックさせ、そのネットワーク状況により、送信スロット数を調整する。無線端末は、周期的に制御セルを生成し、有線区間へ送信する。フィードバックされた逆方向の制御セルを基地局が受信し、無線端末に対する帯域割当を動的に行う。ダウンリンクの場合、有線区間から来た順方向制御セルを無線チャンネルの制御セルに変え、無線端末へ転送する。無線端末は自分のバッファの状況を基地局へ知らせ、基地局はその状況に応じて逆方向制御セルのレート調整の情報を入れて、有線端末へ送る。また、基地局は、無線端末の状況に合わせたダウンリンクのチャンネルを動的に割り当てる。次の 3.4 節で詳細な設計を行う。

3.4 有無線区間での VSVD 方式の適用

ABR 輻輳制御の VSVD(Virtual Source and Virtual Destination) 方式の適用を図 3.11 に示す。図 3.11 のように有線区間と無線区間を分けて制御セルや制御スロットを運用する。基地局で VSVD 方式を適用することにより、セル損失率を下げ、スイッチでのバッファ量の節減、各コネクション間の公平性の確保、スループットの向上、遅延の減少などを旨とする。しかし、基地局で、制御が複雑になり、処理のオーバーヘッドが大きくなることが予想される。

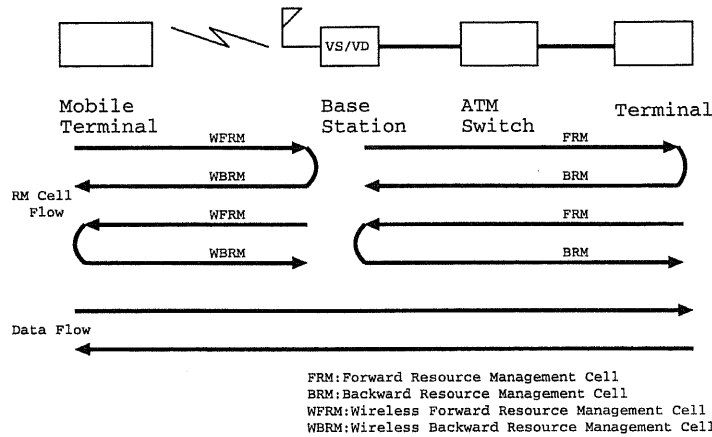


図 3.11: ABR 輻輳制御の VSVD 方式の適用

有線区間での制御セルは RM セルを用い、無線区間での制御セルは制御スロットとピギバック方式によりデータスロットを使う。

3.4.1 ERICA(Explicit Rate Indication for Congestion Avoidance Schemes) でレートの計算

一般的な VSVD 方式での ERICA レートアルゴリズムを用いてレートを計算する。

ERICA の Target Rate TR は

$$TR = TU * Link_Rate - VBR_Rate, CBR_Rate$$

但、VBR、CBR は高優先のサービスクラスであり、TU は Target Utilization で 0.9 ~ 0.95 である。

公平性のために

$$VA_f = TR / No.Active_VCs$$

効率性のために

$$VA_e = VCs_CCR / Overload$$

但：

$$Overload = InputRate / TargetRate$$

である。

リンクに割り当てる帯域は

$$VAL = Max\{VA_e, VA_f\}$$

$$VAL = Min\{VAL, TR\}$$

である。

非 VSVD スイッチでのレート計算

非 VSVD スイッチでは BRM(Backward Resource Management Cell) を受信した時、

$$ER.in_BRM = Min\{ER.in_BRM, VAL\}$$

をセットする。送信端末での ACR(Allowed Cell Rate) の計算は、

$$ACR = fn\{ER, VCs_current_ACR\}$$

である。

VSVD スイッチでのレート計算

VSVD でのレートの計算を図 3.12 に示す。

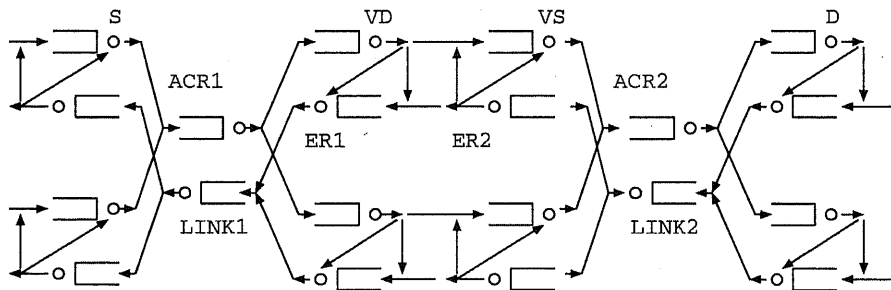


図 3.12: VSVD スイッチでのレート計算

LINK1 を前ループで、LINK2 を後ループであり、LINK2 での VAL_2 は

$$VAL_2 = fn\{Input_Rate, VCs_Current_Rate\}$$

である。

- 前ループのための VD でのレート計算は

$$ER_1 = Min\{ER_1, VAL_2, ACR_2\}$$

である。

- 後ループのための VS でのレート計算は

$$ER_2 = \text{Min}\{ER_2, VAL_2\}$$

$$ACR_2 = \text{fn}\{ER_2, ACR_2\}$$

である。

3.4.2 無線区間での割当方式の提案

融合方式：本方式は、トークン発生方式と周期的リセット方式を統合した方式で、有線区間の状況により、トラヒックを送信できる。本方式は、基地局スイッチのバッファの状況や有線区間での輻輳状況をフィードバックさせ、無線端末での送信レートを制御することにより、輻輳によるセル損失率を防ぐ事ができる。各 ABR コネクション VC_i には WS_i のウィンドウサイズが与えられ、次のフレームで使用可能なスロット数が $ABR_{wnd,i} = WS_i - tx_cnt_i$ に制限される。ここで、 tx_cnt_i は今回の周期ですでに転送したスロット数である。送信を行う際は、送信スロット数分を tx_cnt_i に加える。 Crd_bal がゼロになった VC_i は送信を中止 (Pause) し、クレジット Crd が受信されるまで待つ。 Crd を受信すると、クレジット更新計算を行い、クレジットバランス Crd_bal がゼロ以上になると活動 (Active) 状態になり、スロットを送信する。また、基地局から受信したレート R_i により、トークンを発生レートを制御する。図 3.13 に融合方式のフロー制御を示す。

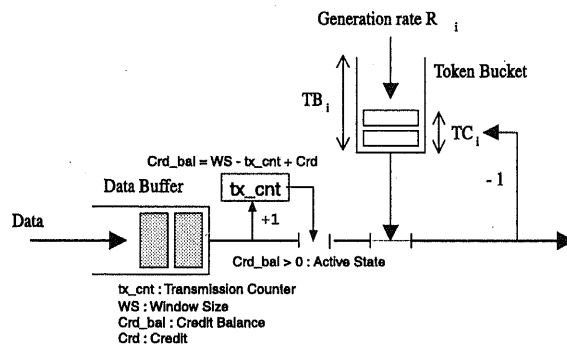


図 3.13: 融合方式による ABR フロー制御

3.4.3 基地局でのレート計算

基地局で、ダウンリンクとアップリンクは異なるレートやクレジットの計算を行い、RCFCの有線区間と動的割当の無線区間に適用する。

ダウンリンク処理

ダウンリンクのため、VSVD スイッチである基地局は、次のように動作を行う。

- 最初、無線端末のバッファの状況を制御スロットのポーリング方式を通して把握し、無線端末のクレジット情報として持つ。

- 有線区間から受信したデータセルを無線区間へ送信し、制御セルの ER フィールドやクレジットフィールドを更新を行い、送信端末へ BRM セルとして返す。ER の計算方法は RCFC 方式と同様に行う。
- 基地局は無線端末のバッファの状況をピギバック方式で定期的にフィードバックさせ、その情報により、クレジット情報を更新し、節 3.2.3 に述べたクレジットアップデートを行いながらデータセルを送信する。
- 基地局はクレジットバランスがゼロ以上の場合、データセルを送信し、クレジットバランスがゼロになると無線端末への送信を中断する。

アップリンク処理

本論文の提案では、RCFC 方式と相応しい融合方式をアップリンクに適用する。VSVD スイッチである基地局は、次のように動作を行う。

- 最初、RCFC 方式の送信端末の動作原理に基づいてスロットやウィンドウサイズを無線端末へ割当てて。
- 基地局は、無線端末から受信したデータセルを有線区間へ送信しながら、定期的に FRM セルを生成し、有線区間へ送信する。また、クレジットを更新する CUP (Credit Update Protocol) 処理を行い、クレジットバランスを維持する。
- 基地局は、フィードバックされた BRM の ER、EFICI、クレジット情報で有線区間へ送信するレートやクレジット制御する。
- 基地局は、有線区間のトラヒック状況である、BRM の ER、EFICI、クレジット情報で、無線端末のトークン発生レートやクレジットバランスを調整できるように制御スロットを通して無線区間へ知らせる。

3.5 まとめ

有線 ATM での ABR トラヒック制御は、今までレートベース制御とクレジットベース制御が提案され、ATM Forum でレートベース制御が採択され、実用化が進んでいるが、ABR トラヒックの大事なトラヒックパラメータであるセル損失率を防ぐことができない問題点が残っていた。また、クレジットベースの問題点である長距離ネットワークの場合、膨大なバッファが要求され、スイッチが複雑になる問題点があった。この問題点を解決し、ネットワーク規模に関係せず、適用できる RCFC 方式を提案し、設計を行った。

無線 ATM でマルチメディアトラヒックを収容し、CBR、VBR トラヒックが使用した後、残った帯域を ABR データトラヒックが使用する時、各送信端末が公平に帯域を共有し、効率的に利用するためには、今までの帯域割当方式では実現できない。本論文で、提案する動的割当方式を適用することにより、効率良く公平に各端末が帯域を使用することを目指す。

有無線統合 ATM では、有線と無線の状況が異なることで、有線で適用していた ABR トラヒック制御方式をそのまま無線区間で適用することは難しいことである。主な問題点は、周波数資源の余裕とメディアの問題で生ずるセル損失率である。その問題を解決し、エンド-ツ-エンド間でフィードバック制御を適用するためには、有線区間と無線区間を区切って制御をしなければならない。有線区間と無線区間を継ぎ目なくトラヒック制御をするためには、基地局を仮想送信端末と仮想受信端末にする VSVD 方式を適用し、有線区間と無線区間のレートをマッピングするようなスイッチ構造を設ける。また、有線区間で使用している制御セルを無線区間に使用することは、制御セルのオーバーヘッドが大きいことで、無線区間では別の制御スロットを設ける。本論文で、基地局を VSVD スイッチとして提案し、設計を行った。また、無線区間での割当方式として RCFC 方式に相応しい周期的リセット方式とトークン方式を融合した方式を提案し、設計を行った。

第 4 章

有無線 ATM における ABR トラヒック制御方式の性能評価

4.1 有線区間での RCFC 方式に関する性能評価

本節では新しい方式である、レートとクレジットを融合した RCFC 制御方式と固定クレジット制御方式である VCFC(Virtual Channel Flow Control)、ATM Forum が規定したレート方式である EPRCA(Enhanced Proportional Rate Control Algorithm) に対してシミュレーションモデルを設け、様々な評価項目に対してシミュレーションを行った結果について述べる。

4.1.1 シミュレーションモデル

図 4.1 にシミュレーションモデルを示す。

送信端末としては ABR データトラヒックが 6 つ、バックグラウンド送信端末として CBR である音声のトラヒックが 1 つある。スイッチの数は 5 個で、リンクの速度は 155.52Mbps に設定する。ABR のトラヒックソースの場合、ソース 1 と 2 はスイッチ 1 に繋がり、ソース 3 から 6 まではスイッチ 3 に繋がる。デステイネーションはすべてスイッチ 5 に繋がる。CBR の音声トラヒックはスイッチ 2 へ入力され、スイッチ 4 から出力される。

4.1.2 シミュレーションパラメータ

シミュレーションの諸条件は表 4.1 である。評価項目として割当帯域やリンク間の距離に対して三つの方式を用い、次のような項目で評価を行う。

- スループット
- セルの損失率
- 平均セル転送遅延時間
- セル遅延変動
- 各方式でのソースのスループット (公平性)
- バックグラウンドトラヒックである音声のスループット
- スイッチでの総バッファ要求量

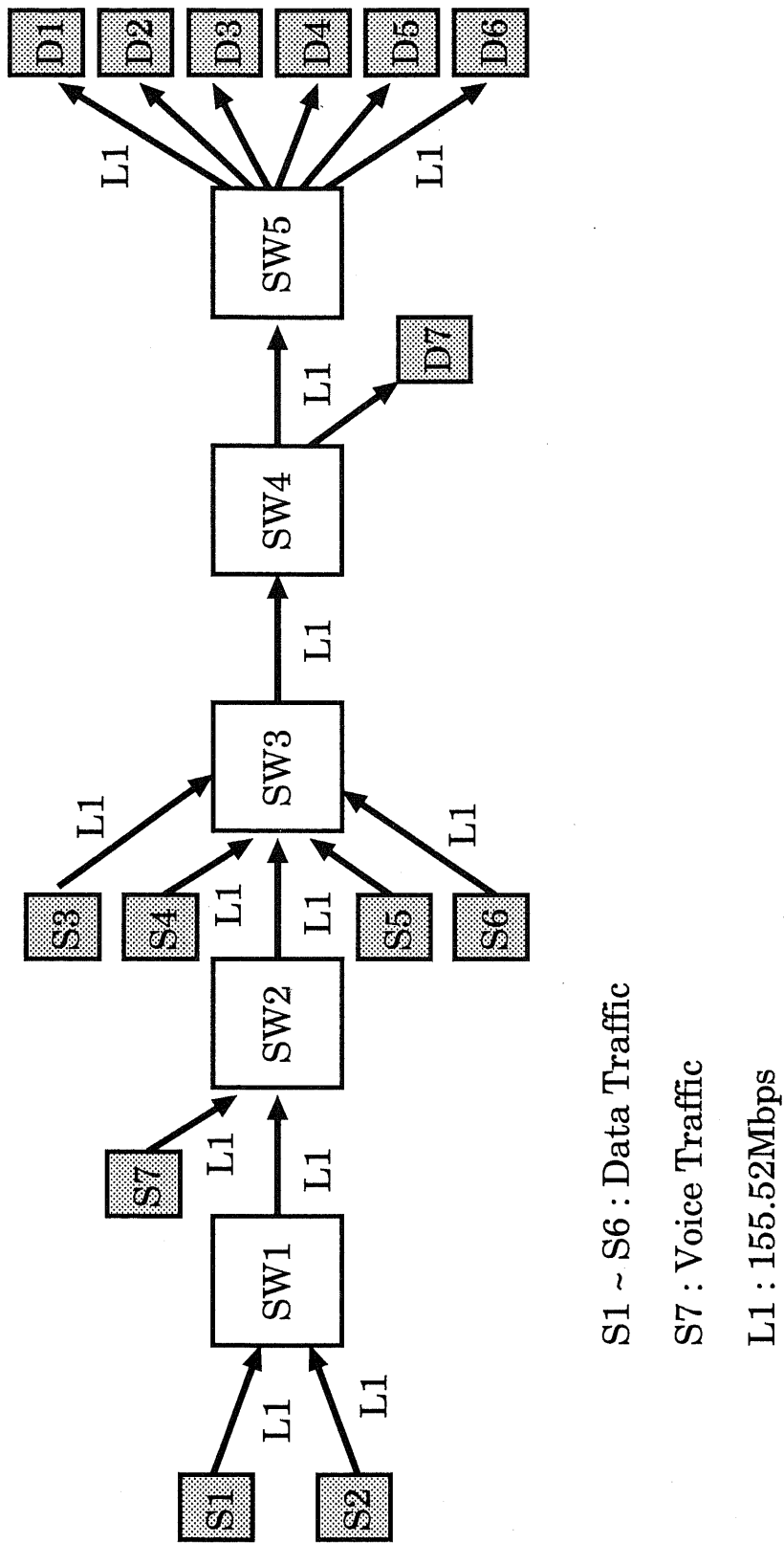


図 4.1: シミュレーションモデル

各スイッチでのバッファの割当量は、

$$Buf_alloc = N3 + N4 + Nrm$$

である。

$N3$ 、 $N4$ は次のようである。

$$N3, N4 = RTT/2 * BW$$

| 項目 | 内容 |
|-------------------|------------|
| シミュレーション時間 | 10000ms |
| スイッチ数 | 5 |
| クレジット更新周期 | 32 セル |
| RM セルの送信周期 | 32 セル |
| ABR データレート | 100Mbps |
| リンクレート | 155.52Mbps |
| Interactive データ | 100Bytes |
| Bulk データ | 20kB |
| 音声チャネルの spurt 時間 | 352ms |
| 音声チャネルの silent 時間 | 650ms |

表 4.1: シミュレーションの諸条件

4.1.3 リンク間距離に対する評価

シミュレーションのパラメータとして、距離を選んだ理由はクレジットベース制御方式が近距離の場合、通信品質を保証できるが、遠距離になるとバッファの要求量が大きくなるし、セル転送遅延も長くなるからである。また、レートベース制御方式が近距離の場合、セル損失が起きることで再転送によるスループットの劣化が発生する。両方式の問題点を解決する方法として新しい方式が距離に関係せず、通信品質が保証できるかをシミュレーションによって評価する。リンク間の距離を近距離から遠距離まで変化させながら、評価項目を用い、シミュレーションを行う。第2章と第3章で述べた近距離の場合はクレジットが、遠距離の場合はレート制御が有利であることの証明と、融合方式の RCFC との比較評価を行う。

距離により各スイッチに割り当てられたバッファの量は表 4.2 である。

| 距離 [km] | 1 | 5 | 10 | 50 | 100 | 500 |
|---------------|----|----|----|-----|-----|------|
| バッファ量 [cells] | 40 | 56 | 76 | 218 | 404 | 1872 |

表 4.2: リンク間距離とバッファの割り当て量

このシミュレーションの条件としては、バックグラウンドに音声トラフィックを 300 チャンネル転送し、帯域は 100% を用いる。

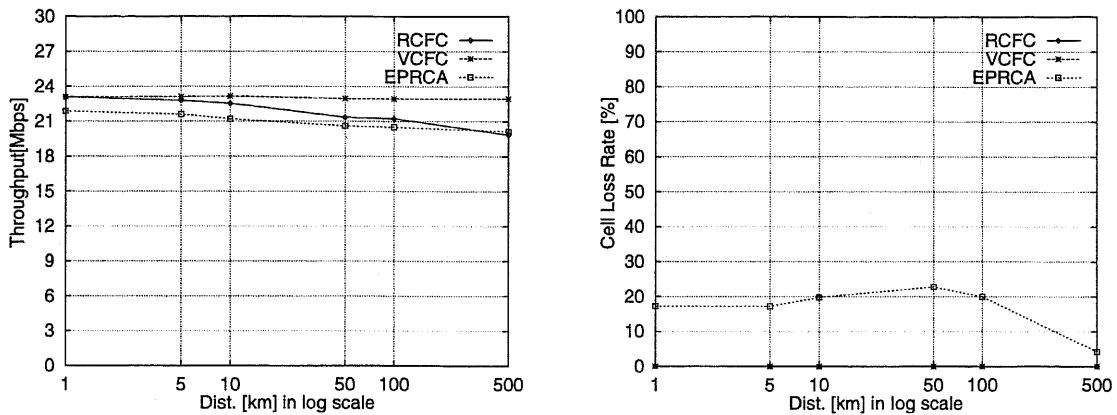


図 4.2: リンク間距離とスループット及びセル損失率

図 4.2にリンク間距離を 1km から 500km まで変化させた時の Source1 での三つの制御方式のスループット及びセル損失率を示す。

三つの方式の中で、VCFC 方式が少しスループットが良いことである。VCFC 方式では、スイッチに十分なバッファを設け、スループットを上げたためである。RCFC 方式と EPRCA 方式の場合、距離が長くなるほどスループットが少し落ちるのは、伝搬遅延によりネットワークの輻輳情報が遅れて送信端末へ知らせることで、レート制御の遅延によるものである。EPRCA 方式の場合、近距離でスループットが落ちるのは、セル損失が発生したからである。近距離と遠距離に関係せず、ATM 網を支援する制御方式であるため、スループットは三つの方式ともにほぼ一定である。

近距離と遠距離に関係せず、EPRCA 方式はセル損失が発生する。RCFC 方式と VCFC 方式は距離に関係せず、セル損失率がゼロである。EPRCA 方式でのセル損失率は ABR トラフィックのバースト的な発生によるものである。通信網が高速になる場合、損失されたセルを再転送するのはスループットの低下を招く。EPRCA 方式は遠距離 (500km) になるとセル損失が少なくなる。

この図 4.2から得られた結果としては、レート制御ではセル損失を避けるのは難しい。

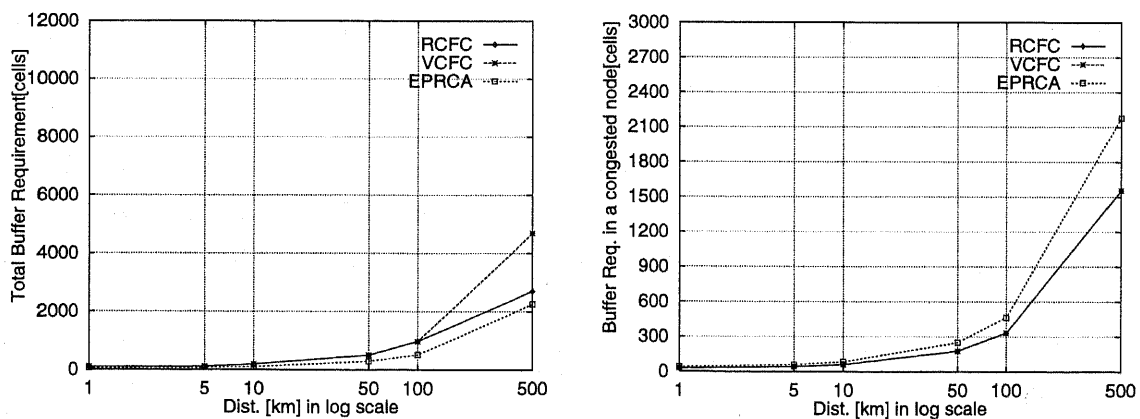


図 4.3: リンク間距離とバッファ要求量及び輻輳リンクのバッファ要求量

図 4.3にリンク間距離を 1km から 500km まで変化させた時の Source1 に対する三つの制御方式

のスイッチでの総バッファ要求量及び輻輳リンクのバッファ要求量を示す。

近距離の場合は三つの方式のバッファの要求量がほぼ同じくらいであるが、遠距離になると VCFC 方式の場合、輻輳が発生した時に輻輳が起きたリンクの前段スイッチに分散してバッファにセルが溜ることで要求バッファの総量が大きくなる。EPRCA 方式はセル損失率を防ぐためには他の方式より輻輳が起きたリンクの直前のスイッチに大きいバッファが要求される。RCFC 方式と VCFC の場合はリンク間の距離が約 100km までは同じくらいであった。距離が 100km 以上の遠距離になると VCFC 方式では、莫大なバッファが必要になる。

EPRCA 方式はセル損失率を防ぐためには他の方式より輻輳が起きたリンクの直前のスイッチに大きいバッファが要求される。

RCFC 方式と VCFC の場合はリンク間の距離に関係せず、同じくらいである。

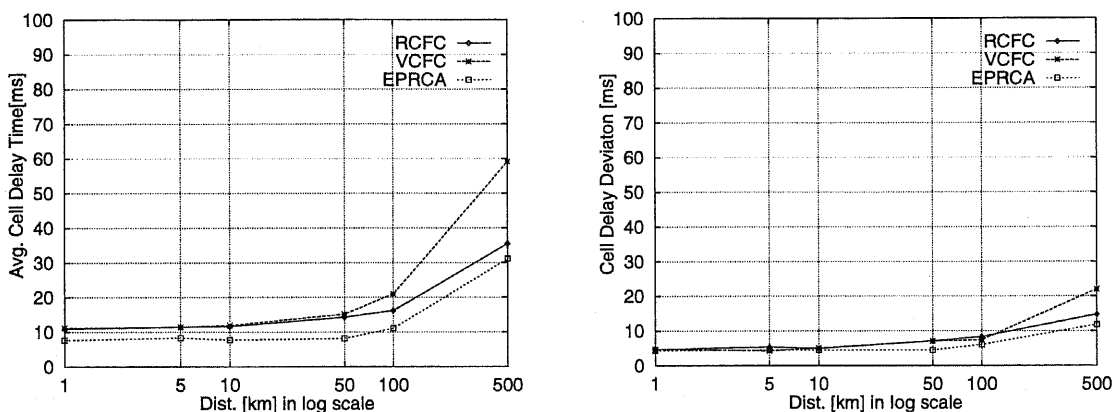


図 4.4: リンク間距離と平均セル転送遅延時間及びセル遅延変動

図 4.4 にリンク間距離を 1km から 500km まで変化させた時の三つの制御方式の平均セル転送遅延時間及びセル遅延変動を示す。

近距離と遠距離に関係せず、EPRCA 方式は VCFC 方式と RCFC 方式よりセル転送時間は短いですが、図 4.2 のようにセル損失が発生する。RCFC 方式と VCFC 方式は近距離では平均セル転送遅延時間の差はほとんどないが、遠距離では RCFC 方式の方が VCFC 方式よりセル転送時間が短いことである。

VCFC 方式は遠距離の場合、セル損失を防ぐためにバッファを大きめに設けることで、平均セル転送遅延時間が長くなる。RCFC と EPRCA 方式は輻輳が起きると送信端末のレートを下げることでバッファに溜るセルの数を減らし、キューの待ち時間を短くすることで平均セル転送遅延時間も短くなる。

EPRCA 方式では、セル損失が起きてもセルを廃棄しながら、転送することで平均セル転送遅延時間は短くなる。

近距離では、三つの方式のセル遅延変動はほとんど差がないが、遠距離の場合、EPRCA と RCFC 方式が VCFC 方式よりセル遅延変動が少ないが、EPRCA の場合は図 4.2 のようにセル損失が発生しながら、セルを送信したことで遅延変動が少なくなる。

VCFC 方式の場合、距離が長くなるとバッファに溜るセルの数が増え、最初に送信されたセルの転

送遅延時間との差が大きくなる。RCFC 方式はレートの調節でバッファに溜るセルの数を減らし、バッファの待ち時間を少なくすることで遅延変動も短くなる。

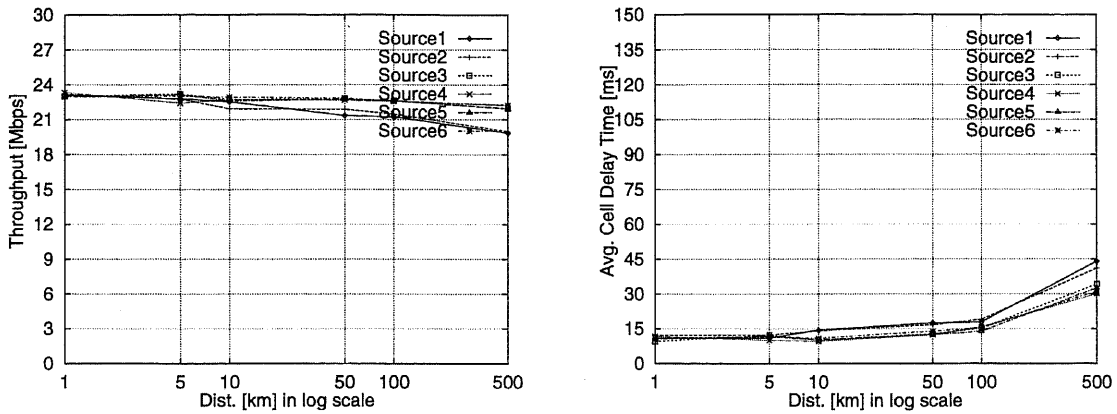


図 4.5: リンク間距離と RCFC 方式の各送信端末のスループット及び平均セル転送遅延時間

図 4.5 にリンク間距離を 1km から 500km まで変化させた時の各方式の ABR ソース間のスループット及び平均セル転送遅延時間を示す。

このシミュレーションの条件としては Source1 と Source2 はスイッチ 1 に繋がり、Source3 から Source6 はスイッチ 3 に繋がる。デスティネーションはすべてスイッチ 5 に繋がる。

同一の条件下では Source1 と Source2 のスループット及び平均セル転送遅延時間の差がほとんどないことと、Source3 から Source6 ともスループット及び平均セル転送遅延時間の差がないことで、資源を公平に割り当てられて転送を行った方式といえる。

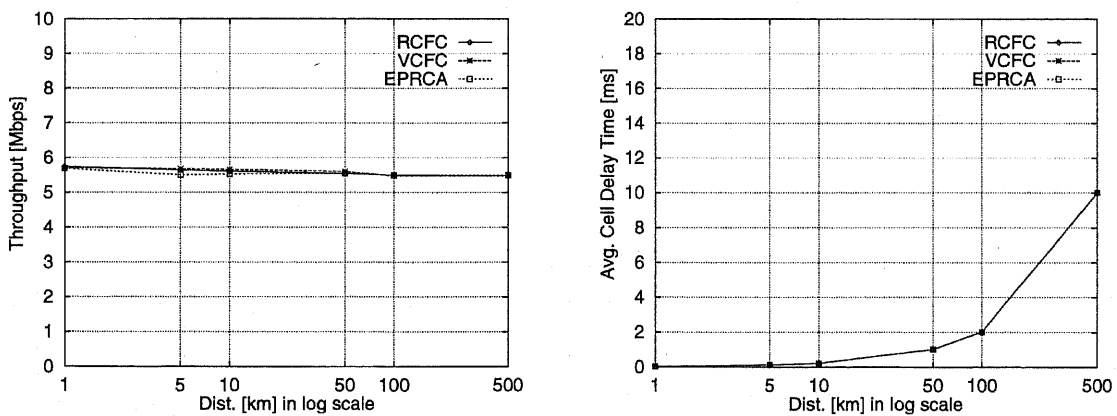


図 4.6: リンク間距離と音声端末のスループット及び平均セル転送遅延時間

図 4.6 にリンク間距離を 1km から 500km まで変化させた時の三つの方式での音声トラフィックのスループット及び平均セル転送遅延時間を示す。

三つの方式ともに音声端末のスループット及び平均セル転送遅延時間の差がほとんどないことで、CBR サービスクラスである音声トラフィックは三つの方式ともに優先的にサービスされたことが証明されている。

4.1.4 割当帯域に対する評価

割当帯域を全体帯域の 50% から 100% まで変化させながら、評価項目を用い、シミュレーションを行う。割当帯域によってクレジット制御やレート制御と融合方式の RCFC との比較評価を行う。

シミュレーションパラメータとして、割当帯域を選んだのは帯域が狭いところから広いところまでの変化させることで輻輳度を変化させるためである。輻輳度に応じて三つの方式の特性を比較する。

このシミュレーションの条件としては、バックグラウンドに音声トラフィックを 300 チャンネル転送し、リンク間の距離を 500km の遠距離に設定する。

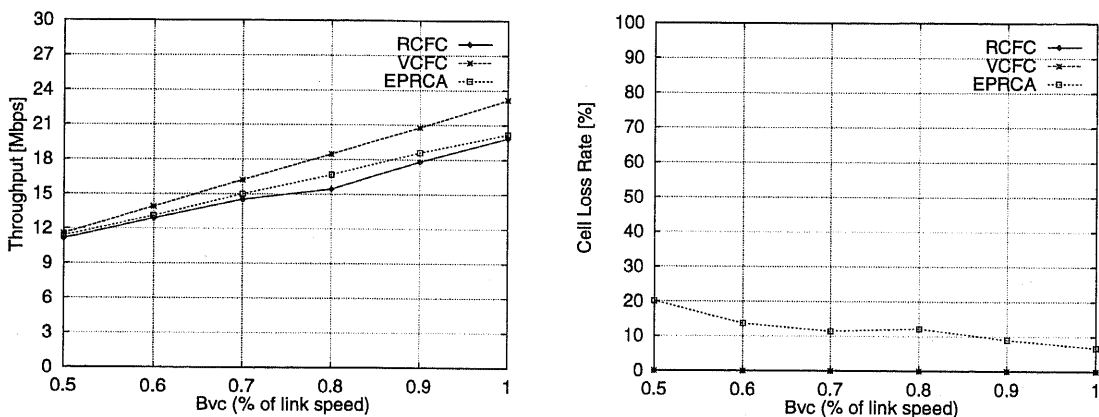


図 4.7: 割当帯域とスループット及びセル損失率

図 4.7 に割当帯域を全体帯域の 50% から 100% まで変化させた時の Source1 での三つの制御方式のスループット及びセル損失率を示す。

三つの方式ともに割当帯域が上がるとリニアにスループットも上がる。割当帯域が厳しい時は三つの方式で同じくらいスループットが出たが、帯域をフルに割当ると VCFC 方式が RCFC、EPRCA 方式よりスループットが出る。

割当帯域に関係せず、EPRCA 方式はセル損失が発生する。RCFC 方式と VCFC 方式は割当帯域に関係せず、セル損失率がゼロである。EPRCA 方式でのセル損失率は ABR トラフィックのバースト的な発生によるものである。通信網が高速になる場合、損失されたセルを再転送することはスループットの低下を招く。

割当帯域が厳しいほど輻輳が著しくなって EPRCA のセル損失率は大きくなる。

この図 4.7 から得られた結果としては、レート制御ではセル損失を避けるのは難しい。

図 4.8 に割当帯域を全体帯域の 50% から 100% まで変化させた時の Source1 に対する三つの制御方式のスイッチでの総バッファの要求量及び平均セル転送遅延時間を示す。

距離を 500km を設けたことで基本的に VCFC 方式が要求バッファの総量が大きくなっている。

VCFC 方式と RCFC 方式では割当帯域が激しいほど、クレジット情報を受け取るのに時間が掛かり、バッファに溜るセルの数が多くなる。EPRCA 方式は割当帯域に関係せず、バッファの要求量がほぼ同じくらいである。EPRCA 方式はセル損失率を防ぐためには他の方式より輻輳が起きたリンクの直前のスイッチに大きいバッファが要求される。

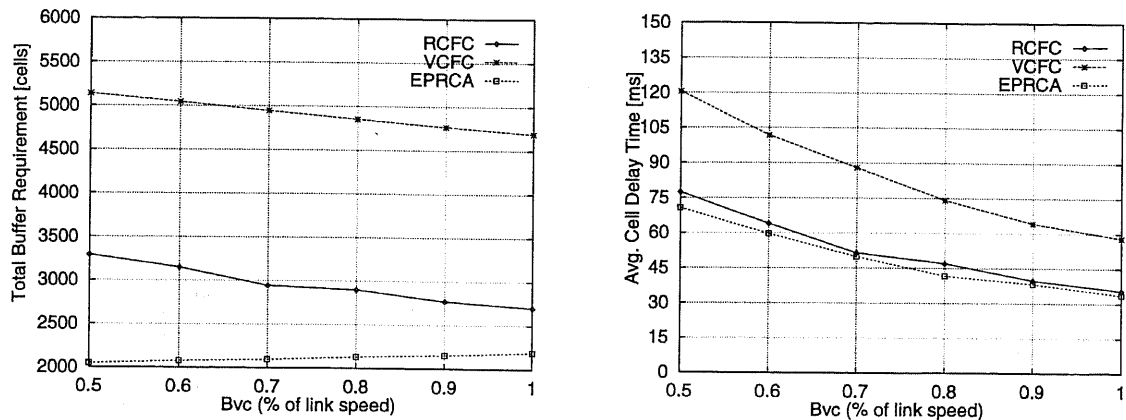


図 4.8: 割当帯域とバッファ要求量及び平均セル転送遅延時間

三つの方式とも割当帯域が厳しくなるとスループットが低下し、平均セル転送時間も長くなる。EPRCA 方式は VCFC 方式よりセル転送遅延時間は短い、図 4.7 のようにセル損失が発生する。

RCFC 方式と EPRCA 方式はリンク間距離を 500km の遠距離の場合、割当帯域に関係せず、平均セル転送遅延時間の差がほとんどないことが分かる。

VCFC 方式はリンク間距離が 50km の遠距離の場合、セル損失を防ぐためにバッファを大きく設けることで、平均セル転送遅延時間が長くなる。RCFC と EPRCA 方式は輻輳が起きると送信端末のレートを下げることによってバッファに溜るセルの数を減らし、キューの待ち時間を短くすることで平均セル転送遅延時間も短くなる。

EPRCA 方式では、セル損失が起きてもセルを廃棄しながら、転送することで平均セル転送遅延時間は短くなる。

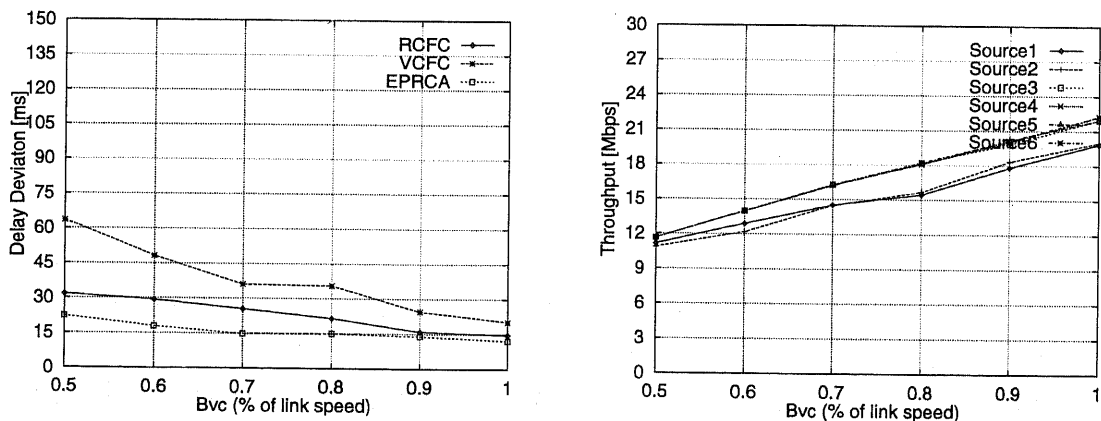


図 4.9: 割当帯域とセル遅延変動及び RCFC 方式の各送信端末のスループット

図 4.9 に割当帯域を全体帯域の 50% から 100% まで変化させた時の Source1 に対する三つの制御方式のセル遅延変動及び RCFC 方式の各送信端末のスループットを示す。

三つの方式ともに割当帯域が厳しくなるとセル遅延変動は大きくなる。VCFC 方式の場合、割当帯域が厳しいほど輻輳が著しくなってバッファに溜るセルの数が増え、最初に転送されたセルの転送

遅延時間との差が大きくなる。EPRCA と RCFC 方式が VCFC 方式よりセル遅延変動が少なくなっているが、EPRCA の場合は図 4.7 のようにセル損失が発生しながら、セルを送信したことで遅延変動が少なくなっている。RCFC 方式はレート調節でバッファに溜るセルの数を減らし、バッファの待ち時間を少なくすることで遅延変動も短くなる。

このシミュレーションの条件としては Source1 と Source2 はスイッチ 1 に繋がり、Source3 から Source6 はスイッチ 3 に繋がる。デスティネーションはすべてスイッチ 5 に繋がる。三つの方式ともに同一の条件下では Source1 と Source2 のスループットの差がほとんどないことと、Source3 から Source6 ともスループットの差がないことから、資源を公平に割り当てられて転送を行った方式といえる。

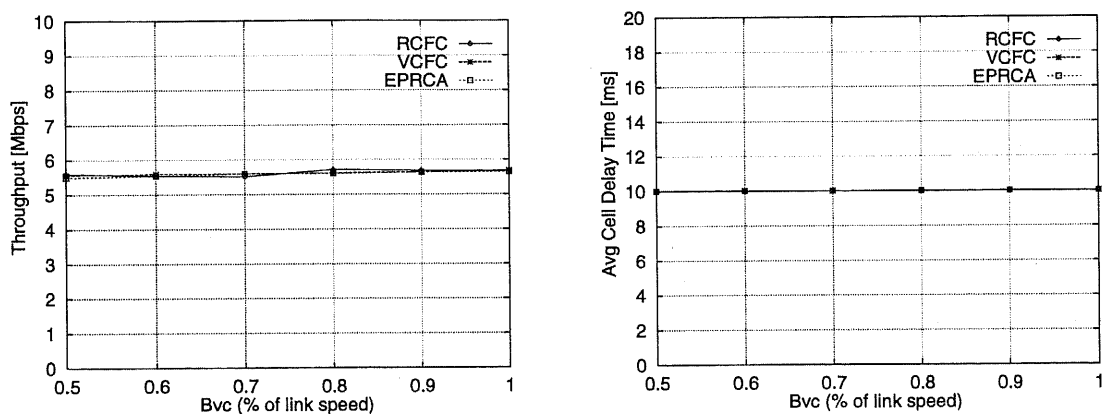


図 4.10: 割当帯域と音声端末のスループット及び平均セル転送遅延時間

図 4.10 に割当帯域を全体帯域の 50% から 100% まで変化させた時の三つの方式での音声トラフィックのスループット及び平均セル転送遅延時間を示す。

三つの方式ともに音声端末のスループット及び平均セル転送遅延時間の差がほとんどないことで、CBR サービスクラスである音声トラフィックは三つの方式ともに優先的にサービスされたことが証明されている。

4.1.5 まとめ

本シミュレーションでは、適切なモデルと ABR トラフィック、シミュレーションパラメータを選び、レート制御である EPRCA 方式、クレジット制御である VCFC 方式、新しい方式である RCFC 方式に対して様々な評価項目での比較評価を行った。現在、レート制御の問題点として提起されている輻輳が激しいときのセル損失率は近距離の場合、起きやすいことと、クレジット制御の問題点として提起されている遠距離での伝搬遅延により、制御情報の遅れがセル損失を防ぐためにスイッチでの莫大なバッファを要求することで、リンク間距離を変化させながら三つの方式でのスループット特性、平均セル転送遅延時間、セル損失率、スイッチでのバッファの総要求量、ABR トラフィックソース間公平性、バックグラウンドトラフィックである CBR の音声トラフィックのスループット特性と遅延などを求めた。同じように割当帯域を変化させながら、輻輳度に対しての様々な特性を求めた。

シミュレーションを行った結果、近距離の場合、EPRCA 方式ではセル損失の発生を防ぐことが

難しいことと、RCFC方式とVCFC方式ともに距離に関係せず、セル損失率をゼロに保証できることが明らかになった。三つの方式は平均セル遅延時間と、バッファの要求量は同じくらいであった。各 ABR ソース間のスループットと遅延の場合も三つの方式が同じ条件でソース間の差がなかったのので、公平に資源を使ったことが明らかになった。遠距離の場合、EPRCA方式はセル損失の発生が落ちることと、VCFC方式よりバッファの要求量も少なくなり、平均セル遅延時間も短くなったことでクレジットベース制御より優れた方式であることが証明された。VCFC方式はスループットが近距離に比べ落ちないが、遠距離ためクレジットを受け取る時間が掛かり、バッファにセルが溜ることによって総バッファの量が大きく要求される。また、バッファでの待ち時間が長くなり、平均セル転送遅延時間が長くなることで遠距離では他の方式よりスイッチ製作値段とスイッチの複雑性で問題になることが明らかになった。RCFC方式は輻輳が起きた場合、ネットワークの輻輳情報を送信端末へ知らせ、転送レートを下げることで、スイッチでのバッファに溜るセルの数を減らし、バッファ内の待ち時間を短くするため、VCFC方式よりスイッチでの総バッファ量も減らすことと平均セル遅延時間も短くすることで遠距離で EPRCA方式と同じくらいスループット、バッファ量、平均セル遅延時間であることが明らかになった。また、三つの方式ともにバックグラウンドの音声トラフィックを優先的に送ったことが明らかになった。

割当帯域の変化による RCFC、VCFC、EPRCA方式の特性としては割当帯域が厳しい時は、VCFC方式はスループットの落ち率も他の方式より大きいことと、平均セル転送遅延時間とセル遅延変動も急激に長くなることが明らかになった。また、EPRCA方式は割当帯域が厳しくなるとセル損失率が大きくなることが明らかになった。

スイッチでのバッファの要求量として、バーストの幅が短くて激しい変動がある時は EPRCA方式での輻輳が起きたリンクの直前スイッチのバッファ量はセル損失率を防ぐためには RCFC、VCFC方式より大きく要求される。VCFC、RCFC方式は輻輳の影響を輻輳が起きたリンクの前段スイッチに分散させるため総バッファ量は大きくなるが直前のスイッチのバッファ量は EPRCAより少なくともできる。

4.2 無線区間での動的チャンネル割当方式に関する性能評価

4.2.1 性能評価のモデル

評価の指数

以下に評価の指数を示す。ここで、「チャンネル速度」とは、チャンネルの物理的なビットレートであり、周波数帯・符号化方式などの特定の物理層に依存するものである。「有効チャンネル速度」とは、TDMA タイムスロットのペイロード情報に対する伝送容量である。したがって、物理層の選択に対する依存性を排除するために、負荷・スループット・チャンネル使用率は有効チャンネル速度に対して正規化して表す。また、平均パケット転送遅延は TDMA フレーム時間に対して正規化して表す。

$$\text{有効チャンネル速度} = \frac{\text{フレーム当たりタイムスロット数} \times \text{ペイロード長}}{\text{フレーム時間}}$$

$$\text{チャンネル使用効率[Channel Efficiency]} = \frac{\text{有効チャンネル速度}}{\text{チャンネル速度}}$$

$$\text{チャンネル使用率[Channel Utilization]} = \frac{\text{フレーム当たり平均使用タイムスロット数}}{\text{フレーム当たりタイムスロット数}}$$

$$\text{負荷[Offered Load]} = \frac{\text{総到着セル数} \times \text{ペイロード長}}{\text{有効チャンネル速度} \times \text{観測時間}}$$

$$\text{スループット[Throughput]} = \frac{\text{総転送セル数} \times \text{ペイロード長}}{\text{有効チャンネル速度} \times \text{観測時間}}$$

$$\text{スループット比率[Throughput Ratio]} = \frac{\text{スループット}}{\text{負荷}}$$

$$\text{セル損失率[CLR]} = \frac{\text{総廃棄セル数}}{\text{総転送セル数} + \text{総廃棄セル数}}$$

$$\text{セル誤り率[CER]} = \frac{\text{総誤りセル数}}{\text{総転送セル数} + \text{総誤りセル数}}$$

$$\text{平均パケット転送遅延[PTD]} = \frac{\sum(\text{パケット転送終了時間} - \text{パケット到着時間})}{\text{総転送パケット数} \times \text{フレーム時間}}$$

$$\text{遅延変動[PDV]} = \text{パケット転送遅延の標準偏差}$$

$$\text{パケット損失率[PLR]} = \frac{\text{総廃棄パケット数}}{\text{総転送パケット数} + \text{総廃棄パケット数}}$$

チャンネル使用率には、制御スロット・データスロット・再送データスロットおよび割当制御スロットの損失による無効割当スロット数が含まれるので、実際のスループットはチャンネル使用率より小さくなる。PTDは、AAL-SDUではなく、ARU(Allocation Request Unit)に対する転送遅延を表す。同じく、PLRもARUに対する損失率を表す。

トラフィック発生モデル

本論文では、多様なサービス環境における性能を検討するため、より現実的な ABR トラフィックモデルを用いてシミュレーションを行うことを評価の方針とする。

ABR トラフィック

ABR トラフィックとしては、データ通信トラフィックを想定し、一般的なデータトラフィック (General Data) と対話型データ (Interactive Data) トラフィックの2種類のトラフィックを考慮する [26]。

- 一般データ
 - 指数分布発生
 - 平均パケット長：4.8 [Kbyte]
 - パケット送信期限 (ToE)：1 [sec]
 - AAL type：AAL5
- 対話型データ
 - 2 状態指数分布発生
 - 平均パケット長：50 [byte] (発生情報量の 20%)、1000 [byte] (80%)
 - パケット送信期限 (ToE)：1 [sec]
 - AAL type：AAL5

図 4.11 に評価に用いる ABR データトラフィックの発生パターンの例を示す。

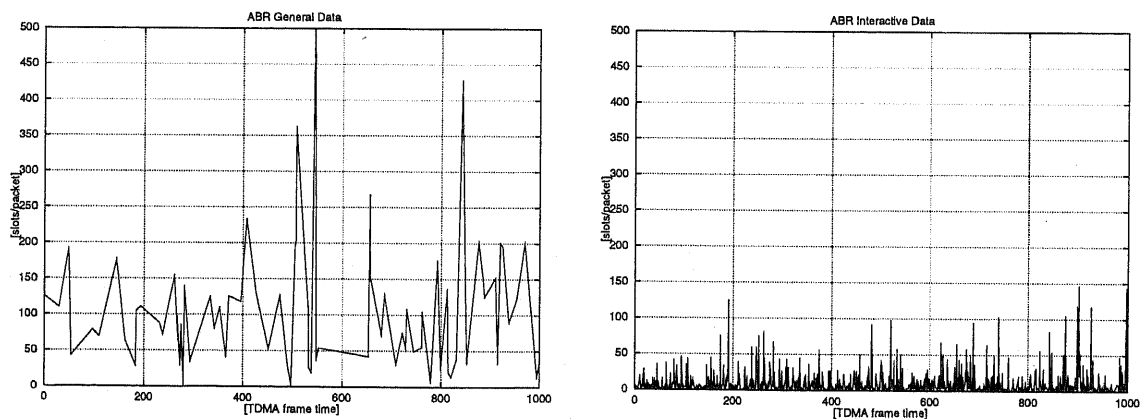


図 4.11: ABR データトラフィックの発生パターン

シミュレーションモデル

広帯域マルチメディア通信を行うことを想定すると、既存の 2Mbps 程度が主流となっている無線 LAN より高速である必要があり、20Mbps のチャンネル速度を想定する。周波数帯域は 20 ~ 60GHz を前提し、マイクロ・ピコセルラー環境を想定する。表 4.3 に評価に用いる共通パラメータを示す。

| | |
|------------------|--------------|
| 無線セル当り周波数チャンネル数 | 1 |
| 多元接続方式 | TDMA/TDD |
| フレーム長 | 2.0 [msec] |
| チャンネル速度 | 20.0 [Mbps] |
| 有効チャンネル速度 | 15.94 [Mbps] |
| チャンネル使用効率 | 0.7968 |
| フレーム当りタイムスロット数 | 83 |
| タイムスロットサイズ | 60 [Byte] |
| タイムスロットペイロードサイズ | 48 [Byte] |
| タイムスロット当り制御スロット数 | 5 |
| 無線セル当り平均滞在時間 | 30 [Sec] |

表 4.3: 評価に用いる共通パラメータ

シミュレーションの実行は、PTD 推定値の $\pm 2\%$ 以内の範囲に 98% 信頼区間が収束するまで行う。また、PLR に対しては、“Rare event simulation” モデルに基づいてパケットの損失が 6.64×10^2 起こるたびにサンプリングして、推定値の $\pm 5\%$ 以内の範囲に 95% 信頼区間が収束するまでシミュレーションを実行する。ただし、 10^8 以上のパケットを転送してもパケット損失がない場合は、PLR は 0 であると推定する。

無線チャンネル状態のモデル

無線チャンネルの時変特性は、有限状態離散マルコフチェーンでモデル化することができる。図 4.12 に Gilbert 氏により提示されたチャンネル状態のモデル化を示す。

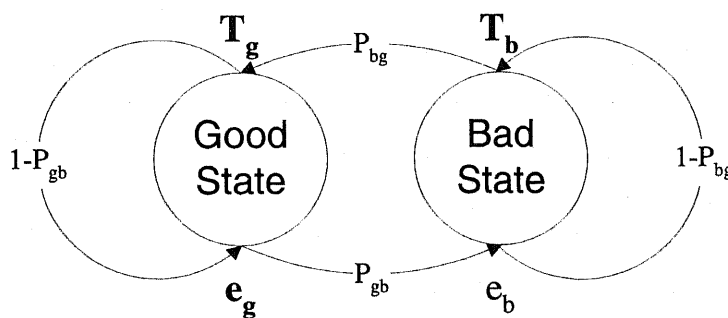


図 4.12: チャンネル状態のモデル化

ここで、 T_g はチャンネルが Good 状態にある平均時間、 e_g は Good 状態における誤り率であり、 T_b はチャンネルが Bad 状態にある平均時間、 e_b は Bad 状態における誤り率である。Good から Bad、Bad から Good への遷移確率をそれぞれ P_{gb} 、 P_{bg} とすると、各パラメータは以下のように定義される。

$$T_b = \frac{1}{P_{bg}} \quad (4.1)$$

$$E_{avg} = \frac{e_g P_{bg} + e_b P_{gb}}{P_{bg} + P_{gb}} \quad (4.2)$$

$$P_b = \frac{P_{gb}}{P_{gb} + P_{bg}} \quad (4.3)$$

チャンネルの状態は端末の位置に依存するので、各端末では別々のチャンネル状態をモデル化する。また、誤り率はスロットのペイロード部と制御スロットおよびスロットのヘッダ部を別々に扱う。通常の状態では表 4.4 に示すパラメータでシミュレーションを行う。

| | | |
|-------------------------------------|-------|-----------|
| 平均 Good State 滞在時間 | T_g | 5.0 sec |
| 平均 Bad State 滞在時間 | T_b | 50 msec |
| Good State におけるスロットペイロード部誤り率 | e_g | 10^{-4} |
| Bad State におけるスロットペイロード部誤り率 | e_b | 10^{-2} |
| Good State における制御スロットおよびスロットヘッダ部誤り率 | e_g | 10^{-5} |
| Bad state における制御スロットおよびスロットヘッダ部誤り率 | e_b | 10^{-3} |

表 4.4: チャンネル誤りパラメータ

ここでは、データスロットのペイロード部における平均誤り率がおよそ 2×10^{-4} である。また、制御スロットやスロットのヘッダ部における誤り率は、その大きさにより 1 桁の改善効果があると前提する。その平均誤り率は、 2×10^{-5} である。

4.2.2 ABR フロー制御方式の性能特性

ABR コネクションに対しては、CBR、VBR コネクションの品質が保証できる範囲で余分の帯域を複数の ABR コネクションに対して効率的に、しかも公平に割り当てる必要がある。

ここでは、3.3.4 節で検討したトークン発生方式と周期的リセット方式について評価を行った。コネクション数は 20 にし、発生トラフィックとしては、75% の一般データと 25% の対話型データトラフィックを用いた。トークン発生方式のバケツサイズは $TB = MBS - t_{MBS} \cdot R$ にした。ここで、MBS(Maximum Burst Size) は AAL5 の最大 CS-SDU サイズである 64Kbyte に設定した。 t_{MBS} は MBS パケットの転送にかかる最小時間である。周期的リセットのウィンドウサイズは、 $\sum WS_i = ToE/4, ToE, 4ToE$ の三つの場合について検討した。

図 4.13~図 4.15 に各方式におけるスループットおよび遅延時間特性を示す。制御を行わない場合、(w/o control) には、パケット長が短い対話型データトラフィックの方が有利である。また、トークン発生方式では、全体的にスループットが制限されてしまうことが分かる。また、バースト性が大きい一般データトラフィックに比べ、連続的に発生する対話型トラフィックの方が有利に働き、トラフィックパターンによるアクセス公平性の問題解決には向いてないことが分かる。周期的リセット方式では、一般データトラフィックと対話型データトラフィック間に公平に割当を行うことが分かる。周期的リセット

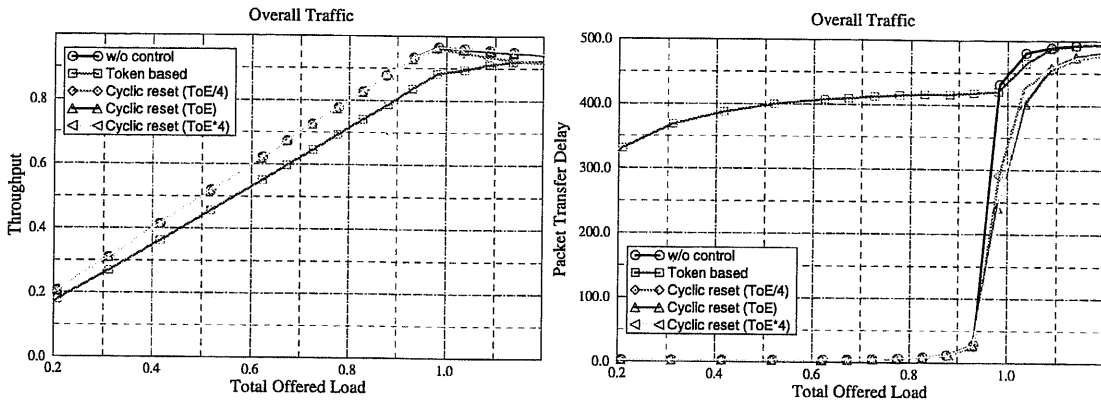


図 4.13: ABR フロー制御方式のスループットおよび遅延時間特性 [総合トラフィック]

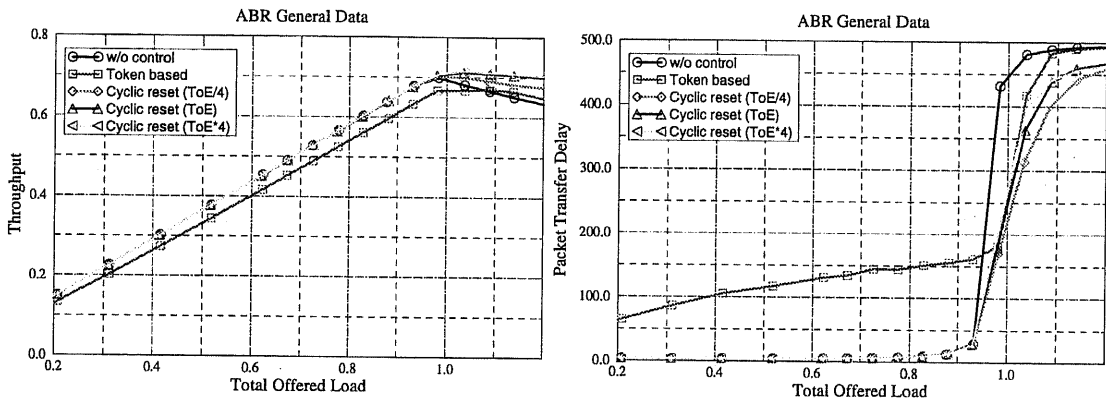


図 4.14: ABR フロー制御方式のスループットおよび遅延時間特性 [一般データ]

におけるウィンドウサイズは小さすぎると効率が落ちるが、ある程度以上 (ここでは、 $\sum WS_i = ToE$) に設定する必要はないことも分かる。

4.2.3 まとめ

本シミュレーションでは、無線リンクにおける ABR フロー制御方式として 3.3.4 節で検討してトークン発生方式と周期的リセット方式について評価を行った。評価の結果、周期的リセット方式の方が、割当帯域を制限するトークン発生方式より、効率的な帯域の割当ができることが分かった。さらに、本論文で想定した ARU 形成方法では、異なるトラフィックパターンを持つ ABR コネクション間では割当の不公平が生じる問題があったが、周期的リセット方式ではその割当公平性の問題も解決できることを確認した。

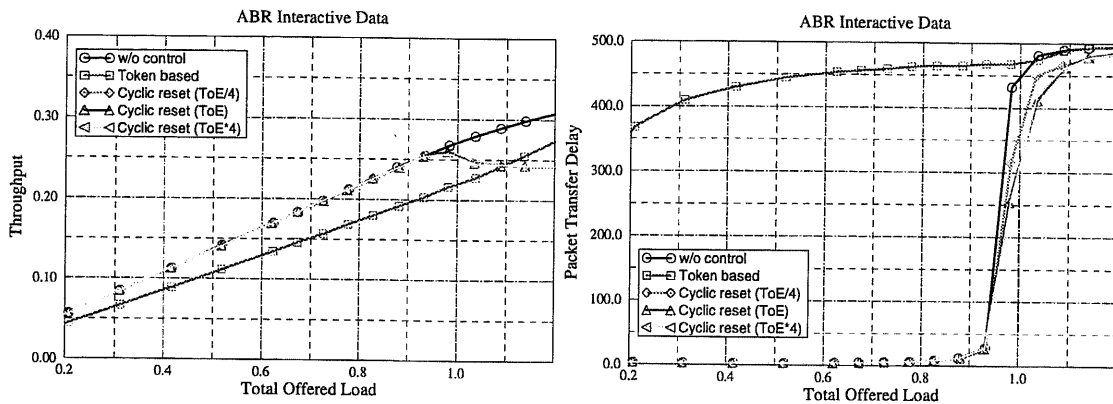


図 4.15: ABR フロー制御方式のスループットおよび遅延時間特性 [対話型データ]

4.3 有無線区間での VSVD 方式に関する性能評価

本節では、有無線統合 ATM ネットワークで、有線区間の ABR トラフィック制御であるクレジットベース制御、レートベース制御及び RCFC 方式を用い、基地局を VSVD スイッチとして設け、無線区間での動的割当方式に対して比較シミュレーションを行う。シミュレーションモデルとパラメータ、評価結果について述べる。

4.3.1 シミュレーションモデル

図 4.16 にシミュレーションモデルを示す。

送信端末としては ABR データトラフィックが 6 つ、バックグラウンド送信端末として CBR である音声のトラフィックが 1 つある。スイッチの数は 5 個で、リンクの速度は 20Mbps に設定する。ABR データトラフィック 6 つの中、無線移動端末を 2 つもうける。ABR のトラフィックソースの場合、無線ソース 1 と 2 はスイッチ 1 に繋がり、ソース 3 から 6 まではスイッチ 3 に繋がる。デスティネーションはすべてスイッチ 5 に繋がる。CBR の音声トラフィックはスイッチ 2 へ入力され、スイッチ 4 から出力される。

4.3.2 シミュレーションパラメータ

シミュレーションの諸条件は表 4.5 である。評価項目として割当帯域やリンク間の距離対して三つの方式を用い、次のような項目で評価を行う。

- スループット
- セルの損失率
- 平均セル転送遅延時間
- スイッチでの総バッファ要求量

各スイッチでのバッファの割当量は、

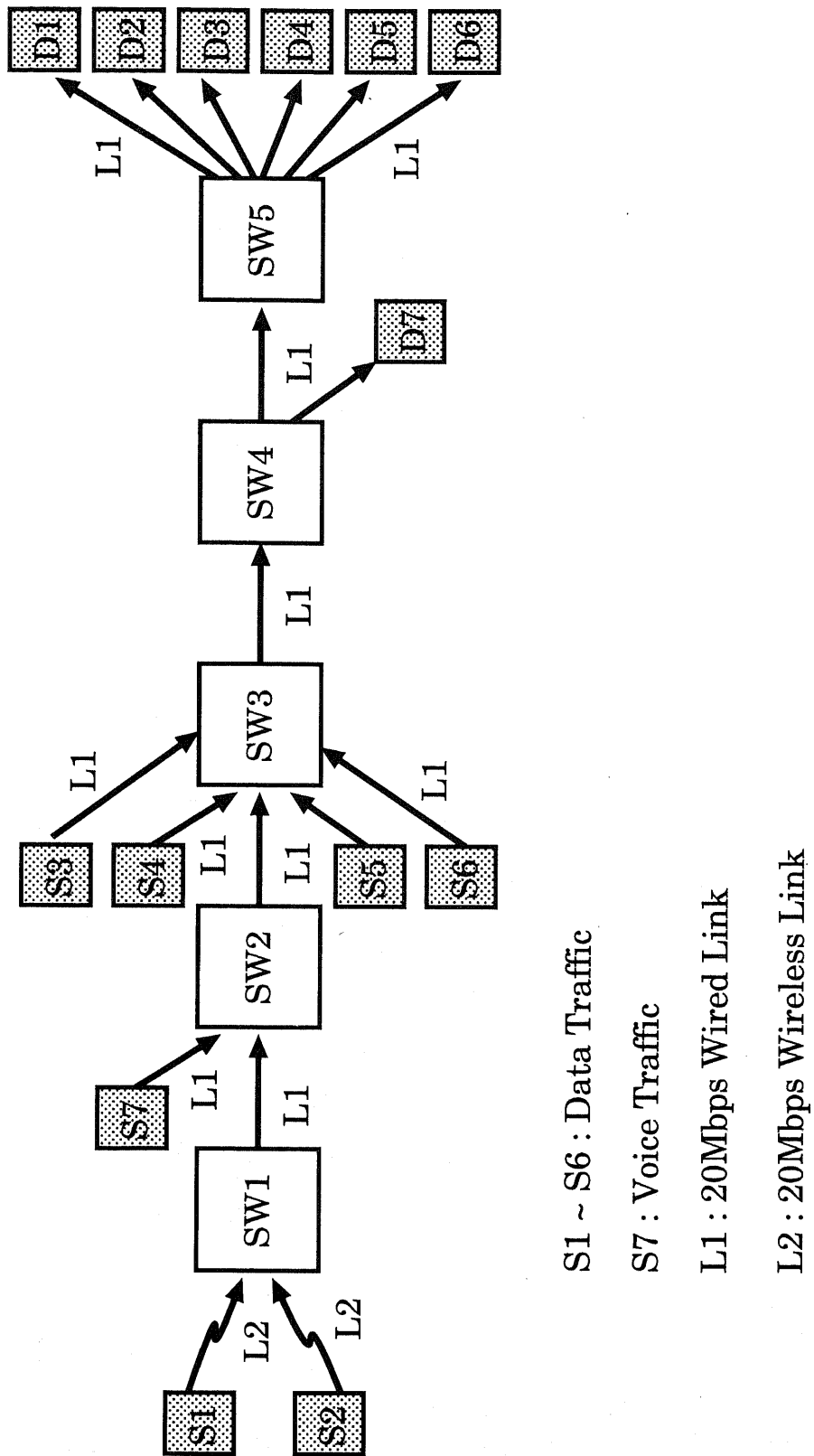


図 4.16: シミュレーションモデル

$$Buf_alloc = N3 + N4 + Nrm$$

である。

$N3$ 、 $N4$ は次のようである。

$$N3, N4 = RTT/2 * BW$$

| 項目 | 内容 |
|--------------------|--------------|
| スイッチ数 | 5 |
| クレジット更新周期 | 32 セル |
| RM セルの送信周期 | 32 セル |
| ABR データレート | 20Mbps |
| リンクレート | 20Mbps |
| Interactive データ | 100Bytes |
| Bulk データ | 20kB |
| 音声チャンネルの spurt 時間 | 352ms |
| 音声チャンネルの silent 時間 | 650ms |
| 無線セル当り周波数チャンネル数 | 1 |
| 多元接続方式 | TDMA/TDD |
| フレーム長 | 2.0 [msec] |
| チャンネル速度 | 20.0 [Mbps] |
| 有効チャンネル速度 | 15.94 [Mbps] |
| チャンネル使用効率 | 0.7968 |
| フレーム当りタイムスロット数 | 83 |
| タイムスロットサイズ | 60 [Byte] |
| タイムスロットペイロードサイズ | 48 [Byte] |
| タイムスロット当り制御スロット数 | 5 |
| 無線セル当り平均滞在時間 | 30 [Sec] |

表 4.5: シミュレーションの諸条件

4.3.3 割当帯域に対する評価

無線チャンネルの負荷 (0.8) を固定にした場合、有線区間の利用可能な帯域を変化しながら、各方式に対して比較シミュレーションを行った。本シミュレーションでは、第 4.1 節で証明された RCFC 方式を有線区間で適用し、無線区間では動的割当方式であるトークン発生方式、周期的リセット方式、融合方式 (トークン方式 + 周期的リセット方式) および無制御方式に対して利割当帯域を 50% から 100% まで変化させながら、評価項目を用い、比較シミュレーションを行った。

シミュレーションパラメータとして、割当帯域を選んだのは帯域が狭いところから広いところまでの変化させることで輻輳度を変化させるためである。輻輳度に応じて四つの方式の特性を比較する。

このシミュレーションの条件としては、バックグラウンドに音声トラフィックを 300 チャネル転送し、リンク間の距離を 1km の近距離に設定する。

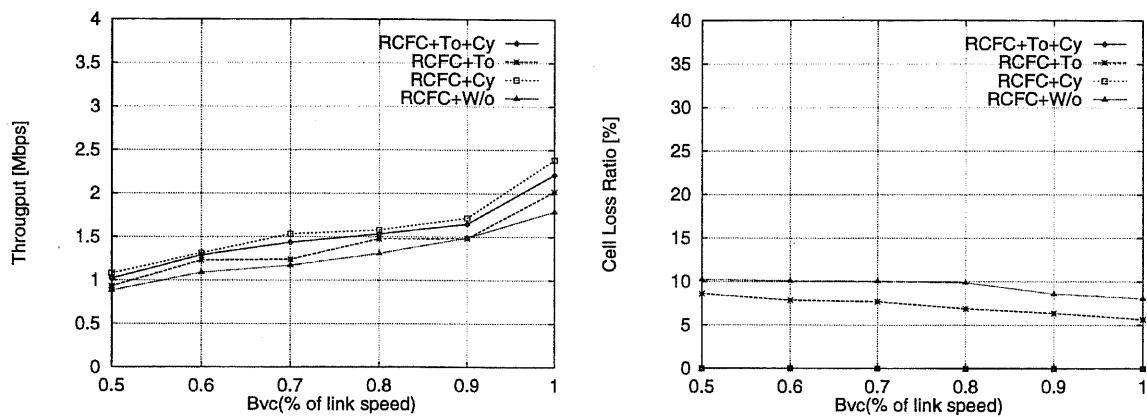


図 4.17: 割当帯域とスループット及びセル損失率

図 4.17に割当帯域を全体帯域の 50% から 100% まで変化させた時の無線トラフィックである Source1 での四つの制御方式のスループット及びセル損失率を示す。

四つの方式ともに割当帯域が上がるとニアにスループットも上がる。無線区間での周期的リセット方式と融合方式がトークン方式と無制御方式よりスループットが出る。トークン方式と無制御方式は、セル損失によりスループットが劣化する。

割当帯域に関係せず、トークン方式と無制御方式はセル損失が発生する。周期的リセット方式と融合方式は割当帯域に関係せず、セル損失率がゼロである。トークン方式でのセル損失率は ABR トラフィックのバースト的な発生によるものである。通信網が輻輳になる場合、損失されたセルを再転送することはスループットの低下を招く。

割当帯域が厳しいほど輻輳が著しくなってトークン方式のセル損失率は大きくなる。

この図 4.17から得られた結果としては、トークン方式ではセル損失を避けるのは難しい。

図 4.18に割当帯域を全体帯域の 50% から 100% まで変化させた時の無線 Source1 に対する四つ制御方式のスイッチでの総バッファの要求量及び平均セル転送遅延時間を示す。

無制御方式の場合、基地局で集中的にバッファが必要になる。周期的リセット方式はクレジット情報を受け取るのに時間が掛かり、バッファに溜るセルの数が増える。トークン方式はセル損失率を防ぐためには他の方式より輻輳が起きたリンクの直前のスイッチに大きいバッファが要求される。

周期的リセット方式、融合方式及び無制御方式は割当帯域が厳しくなるとスループットが低下し、平均セル転送時間も長くなる。トークン方式は融合方式と周期的リセット方式よりセル転送遅延時間は短い、図 4.17のようにセル損失が発生する。

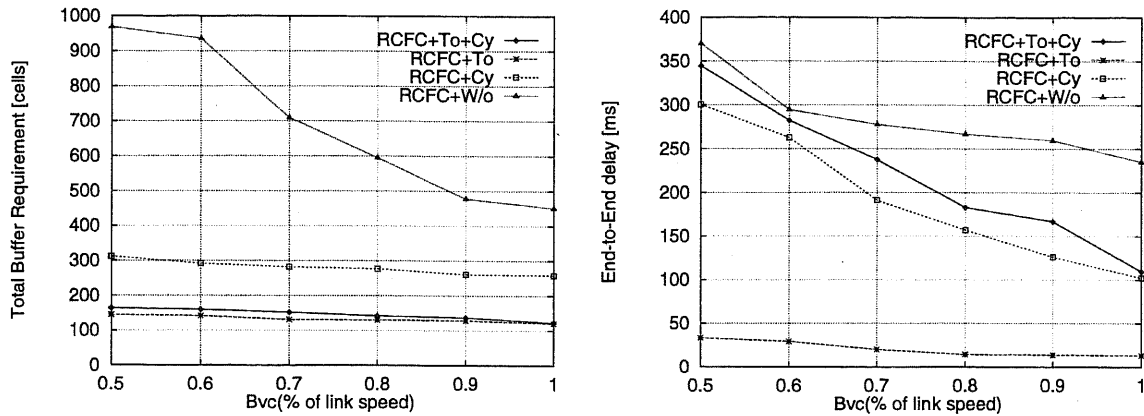


図 4.18: 割当帯域とバッファ要求量及び平均セル転送遅延時間

4.3.4 負荷に対する評価

有線区間の利用可能な帯域を全帯域の 100% に固定した場合、無線チャンネルの負荷を変化させながら、各方式に対して比較シミュレーションを行った。本シミュレーションでは、第 4.1 節で証明された RCFC 方式を有線区間で適用し、無線区間では動的割当方式であるトークン発生方式、周期的リセット方式、融合方式 (トークン方式 + 周期的リセット方式) および無制御方式に対して無線トラフィックの負荷を 40% から 120% まで変化させながら、評価項目を用い、比較シミュレーションを行った。

このシミュレーションの条件としては、バックグラウンドに音声トラフィックを 300 チャンネル転送し、リンク間の距離を 1km の近距離に設定する。

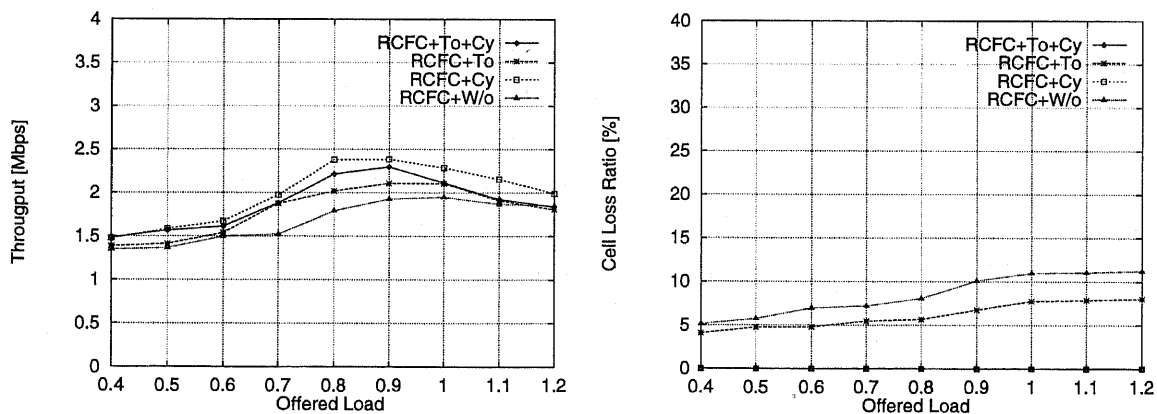


図 4.19: 負荷とスループット及びセル損失率

図 4.19 に負荷をの 40% から 120% まで変化させた時の無線トラフィックである Source1 での四つの制御方式のスループット及びセル損失率を示す。

四つの方式ともに負荷が 90% まではリニアにスループットも上がる。無線区間での周期的リセット方式と融合方式がトークン方式と無制御方式よりスループットが出る。トークン方式と無制御方式

は、セル損失によりスループットが劣化する。

負荷に関係せず、トークン方式と無制御方式はセル損失が発生する。周期的リセット方式と融合方式は負荷に関係せず、セル損失率がゼロである。トークン方式でのセル損失率は ABR トラフィックのバースト的な発生によるものである。通信網が輻輳になる場合、損失されたセルを再転送することはスループットの低下を招く。

負荷が重いほど輻輳が著しくなってトークン方式のセル損失率は大きくなる。

この図 4.19 から得られた結果としては、トークン方式と無制御方式ではセル損失を避けるのは難しい。

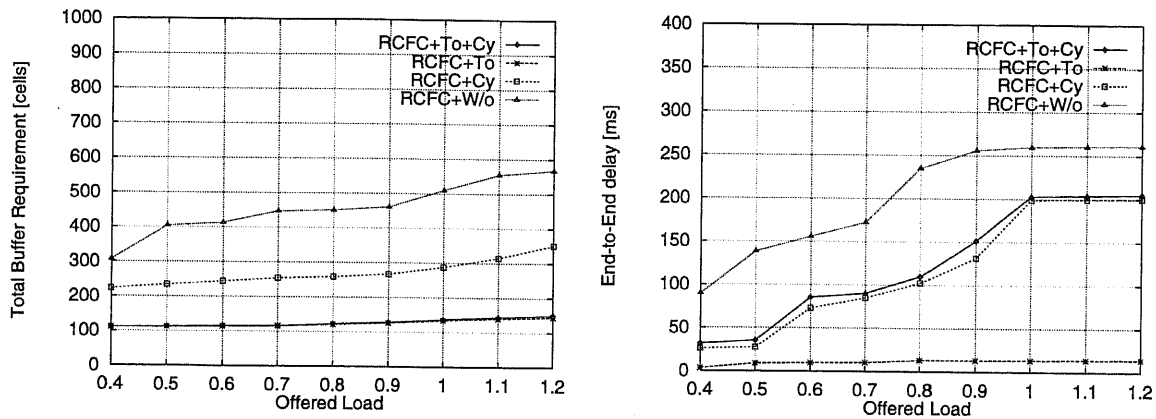


図 4.20: 負荷とバッファ要求量及び平均セル転送遅延時間

図 4.20 に負荷を 40% から 120% まで変化させた時の無線 Source1 に対する四つ制御方式のスイッチでの総バッファの要求量及び平均セル転送遅延時間を示す。

無制御方式の場合、基地局で集中的にバッファが必要になる。周期的リセット方式はクレジット情報を受け取るのに時間が掛かり、バッファに溜るセルの数が多くなる。トークン方式はセル損失率を防ぐためには他の方式より輻輳が起きたリンクの直前のスイッチに大きいバッファが要求される。融合方式は、スイッチでのバッファを節約できる。

周期的リセット方式、融合方式及び無制御方式は負荷が重くなると、平均セル転送時間が長くなる。トークン方式は融合方式と周期的リセット方式よりセル転送遅延時間は短いですが、図 4.19 のようにセル損失が発生する。

4.3.5 まとめ

本シミュレーションでは、適切なモデルと ABR トラフィック、シミュレーションパラメータを選び、有線区間では RCFC 方式を用い、無線区間では動的割当方式として周期的リセット方式、トークン方式、周期的リセット方式とトークン方式を融合した方式及び有線区間では RCFC 方式を適用するが無線区間では制御しない無制御方式に対して様々な評価項目を用い、比較評価を行った。有線区間と無線区間を分けて基地局を VSVD スイッチとしてレートやクレジットを制御しない場合、有線区間の輻輳状態になるとスループットの劣化、セル損失率の増加、遅延の問題などが起きる。また、有線区間の状況により、無線端末のトラフィック発生レート制御するトークン方式はセル損失率を防ぐ

事が難しい。基地局のバッファの状況により、クレジットを無線区間に知らせ、無線区間のセルの転送を制限する周期的リセット方式は、セル損失率防ぐ事ができるが、バッファを多く設けなければならない。本論文でのシミュレーションで、有線区間での RCFC 方式と無線区間での融合方式を適用してエンド-ツ-エンド間で輻輳制御を行う事により、ABR トラヒックの大事な QoS であるセル損失率を極力保証しながら、スイッチの製作の重要な鍵であるバッファを節約できる事が検証された。しかし、スイッチでの制御のオーバーヘッドの問題は解決すべきである。

4.4 まとめ

有線 ATM 網での ABR トラヒック制御方式として本論文で提案した RCFC 方式とレートベース制御方式である EPRCA 方式、クレジットベース方式である VCFC 方式との比較シミュレーション評価を行った。現在、レート制御の問題点として提起されている輻輳が激しいときのセル損失率は近距離の場合、起きやすいことと、クレジット制御の問題点として提起されている遠距離での伝搬遅延により、制御情報の遅れがセル損失を防ぐためにスイッチでの莫大なバッファを要求することで、リンク間距離を変化させながら三つの方式でのスループット特性、平均セル転送遅延時間、セル損失率、スイッチでのバッファの総要求量、ABR トラヒックソース間公平性、バックグラウンドトラヒックである CBR の音声トラヒックのスループット特性と遅延などを求めた。同じように割当帯域を変化させながら、輻輳度に対しての様々な特性を求めた。

シミュレーションを行った結果、近距離の場合、EPRCA 方式ではセル損失の発生を防ぐことが難しいことと、RCFC 方式と VCFC 方式ともに距離に関係せず、セル損失率をゼロに保証できることが明らかになった。三つの方式は平均セル遅延時間とバッファの要求量は同じくらいであった。各 ABR ソース間のスループットと遅延の場合も三つの方式が同じ条件でソース間の差がなかったため、公平に資源を使ったことが明らかになった。遠距離の場合、EPRCA 方式はセル損失の発生が落ちることと、VCFC 方式よりバッファの要求量も少なくなり、平均セル遅延時間も短くなったことで、クレジットベース制御より優れた方式であることが証明された。VCFC 方式はスループットが近距離に比べ落ちないが、遠距離ためクレジットを受け取る時間が掛かり、バッファにセルが溜ることで、総バッファの量が大きく要求される。また、バッファでの待ち時間が長くなり、平均セル転送遅延時間が長くなることで、遠距離では他の方式よりスイッチ製作値段とスイッチの複雑性で問題になることが明らかになった。RCFC 方式は輻輳が起きた場合、ネットワークの輻輳情報を送信端末へ知らせ、転送レートを下げることで、スイッチでのバッファに溜るセルの数を減らし、バッファ内の待ち時間を短くするため、VCFC 方式よりスイッチでの総バッファ量も減らすことと平均セル遅延時間も短くすることで遠距離で EPRCA 方式と同じくらいスループット、バッファ量、平均セル遅延時間であることが明らかになった。また、三つの方式ともにバックグラウンドの音声トラヒックを優先的に送ったことが明らかになった。

割当帯域の変化による RCFC、VCFC、EPRCA 方式の特性としては、割当帯域が厳しい時、VCFC 方式はスループットの落ち率も他の方式より大きいことと、平均セル転送遅延時間とセル遅延変動も急激に長くなることが明らかになった。また、EPRCA 方式は割当帯域が厳しくなるとセル損失率が大きくなることが明らかになった。

スイッチでのバッファの要求量として、バーストの幅が短くて激しい変動がある時は、EPRCA 方式での輻輳が起きたリンクの直前スイッチのバッファ量はセル損失率を防ぐためには RCFC、VCFC 方式より大きく要求される。VCFC、RCFC 方式は輻輳の影響を輻輳が起きたリンクの前段スイッチに分散させるため総バッファ量は大きくなるが直前のスイッチのバッファ量は EPRCA より少なくともできる。

次に、無線リンクにおける ABR フロー制御方式としてトークン発生方式と周期的リセット方式について評価を行った。評価の結果、周期的リセット方式の方が、割当帯域を制限するトークン発生方式より、効率的な帯域の割当ができることが分かった。さらに、本論文で想定した ARU 形成方法

では、異なるトラヒックパターンを持つ ABR コネクション間では割当の不公平が生じる問題があったが、周期的リセット方式ではその割当公平性の問題も解決できることを確認した。

有無線統合 ATM 網での ABR トラヒックのエンド-ツ-エンド間の制御方式に対して比較評価を行った。本シミュレーションでは、適切なモデルと ABR トラヒック、シミュレーションパラメータを選び、有線区間では RCFC 方式を用い、無線区間では動的割当方式として周期的リセット方式、トークン方式、周期的リセット方式とトークン方式を融合した方式及び有線区間では RCFC 方式を適用するが無線区間では制御しない無制御方式に対して様々な評価項目で行った。有線区間と無線区間を分けて基地局を VSVD スイッチとしてレートやクレジットを制御しない場合、有線区間の輻輳状態になるとスループットの劣化、セル損失率の発生、遅延の問題などが起きる。また、有線区間の状況により、無線端末のセルの転送レートを制御するトークン方式はセル損失率を防ぐ事が難しい。基地局のバッファの状況により、クレジットを無線区間に知らせ、無線区間のセルの転送を制限する周期的リセット方式は、セル損失率防ぐ事ができるが、バッファを多く設けなければならない。本論文でのシミュレーションで、有線区間での RCFC 方式と無線区間での融合方式を適用してエンド-ツ-エンド間で輻輳制御を行う事により、ABR トラヒックの大事な QoS であるセル損失率を極力保証しながら、スイッチの製作の重要な鍵であるバッファを節約できる事が検証された。しかし、スイッチでの制御のオーバーヘッドの問題は解決すべきである。

第 5 章

有無線 ATM での ABR 輻輳制御設計の検討事項

本章では、有無線統合 ATM での ABR 輻輳制御の設計時、検討すべき事項に対して考察する。有線区間での RCFC 方式を設計時、検討すべき事項を考察する。本考察では、トラヒックパラメータの選択の条件として制御セルの発生周期を考察する。また、スイッチでのバッファの節約するための方法とスイッチでの輻輳検出方式の改善を考察する。VSVD スイッチを設計する時、検討すべき事項について考察する。

5.1 トラヒックパラメータの選択

RCFC 方式のトラヒックパラメータとして注意すべき点としては、制御セルを送る周期である。RM セルを送る頻度によって制御セルのオーバーヘッドが決められる。また、RM セルの周期はネットワーク全体のスループットと転送遅延、バッファの要求量にも関わる。

シミュレーションの結果を基に、RCFC 方式で ABR の輻輳制御するとき RM セルの周期である、 N_{rm} の選択方法を検討する。

このシミュレーション条件としては、リンク間距離を 500km、スイッチの数 5 個、割当帯域を 100%、トラヒックの状況は表 4.1 と同じに設定する。

図 5.1 に RM セルの発生周期である N_{rm} の変化によるスイッチでのバッファの総要求量を示す。

図 5.2 に RM セルの発生周期である N_{rm} の変化によるスイッチでの平均セル転送遅延時間を示す。

図 5.3 に RM セルの発生周期である N_{rm} の変化によるスイッチでのスループットを示す。

理論的に RM セルのオーバーヘッドによるスループットを計算すると、

$$Ovr_d = 1/N_{rm} * 100$$

$$T_{rou_t} = T_m * (1 - Ovr_d)$$

である。

Ovr_d : RM セルのオーバーヘッド [%]

T_m : 仮定したスループット [Mbps]

T_{rou_t} : 理論的なスループット [Mbps]

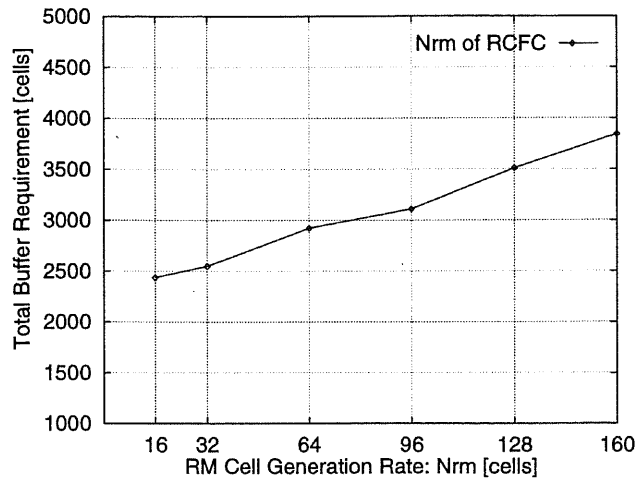


図 5.1: RM セルの発生周期とバッファの総要求量

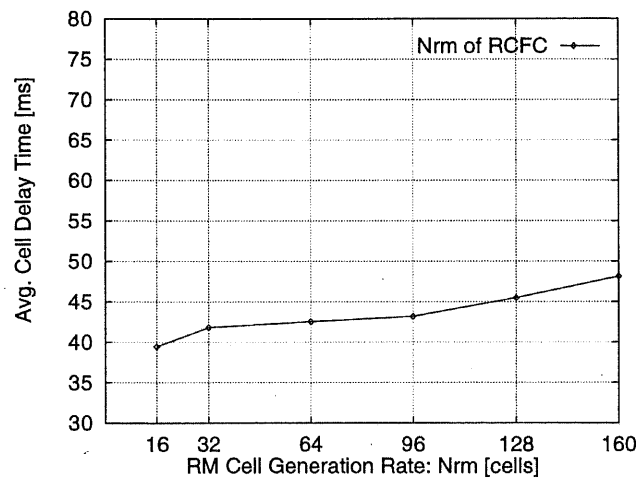


図 5.2: RM セルの発生周期と平均セル転送時間

表 5.1 に RM セルのオーバーヘッドによる理論的なスループットを示す。仮定したスループットとしては、RM セルがない時 22[Mbps] である。

| Nrm | 16 | 32 | 64 | 96 | 128 | 160 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|
| オーバーヘッド [%] | 6.3 | 3.1 | 1.6 | 1 | 0.8 | 0.6 |
| スループット [Mbps] | 20.6 | 21.3 | 21.6 | 21.8 | 21.8 | 21.9 |

表 5.1: RM セルの周期によるオーバーヘッドとスループット

図 5.1、5.2、5.3 により、平均セル転送遅延時間、バッファの要求量、スループットなどを考慮すると Nrm は 32 セルが適当である。

RCFC 方式では、 Nrm の選択によってユーザの要求に応じる柔軟性を持つ。ユーザの要求とし

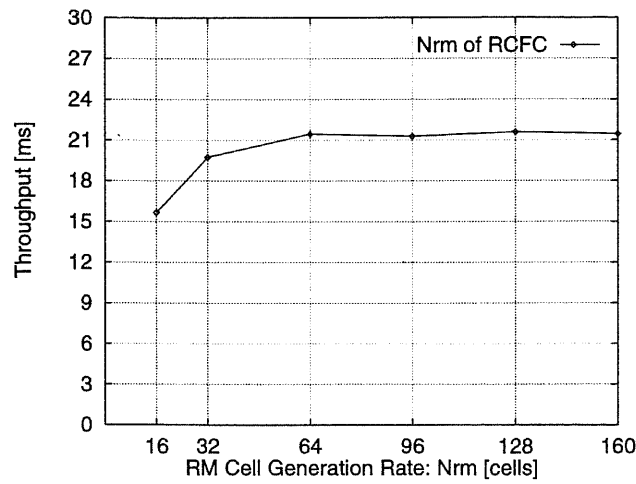


図 5.3: RM セルの発生周期とスループット

では、スループットが落ちてもバッファを節約したい、バッファを多く使ってもスループットを上げたいなどの要求に応じて Nrm の選択によりある程度満足させる。バッファを節約するためには Nrm を小さい値を選ぶべきであり、スループットを上げるためには Nrm を大きい値を選ぶことで通信品質が保たれる。

5.2 スイッチでのバッファ量の節約

各スイッチのバッファの割当方法によってネットワークのスループット、転送遅延、スイッチの製作費用、スイッチの複雑性、などに影響を与える。

基本的にバッファの割当量としては、どのようなトラフィックにも対応できる方法を選ぶべきである。

各スイッチでのバッファの割当量は、

$$Buf_alloc = N3 + N4 + Nrm$$

である。

$N3$ 、 $N4$ は次のようである。

$$N3, N4 = RTT/2 * BW$$

バッファ量を節約するため、出力バッファを共有することでバッファの量を減らすことができる。その時のバッファの割当量は、

$$Buf_alloc = N3 + N4 + Nrm * N$$

である。

$N3$ 、 $N4$ は次のようである。

$$N3, N4 = RTT/2 * BW$$

RTT は出力バッファにリンクされている送信側の中で一番大きい値である。

N は出力バッファを共有する VC の数である。

この場合、後段スイッチからの RM セルのクレジット情報がどの VC であるかを識別するため RM セルの予約フィールドに NVC(VC 番号) フィールドを設ける必要がある。また、スイッチでは動的にバッファを割り当てる必要がある。図 5.4 に出力バッファを構成を示す。

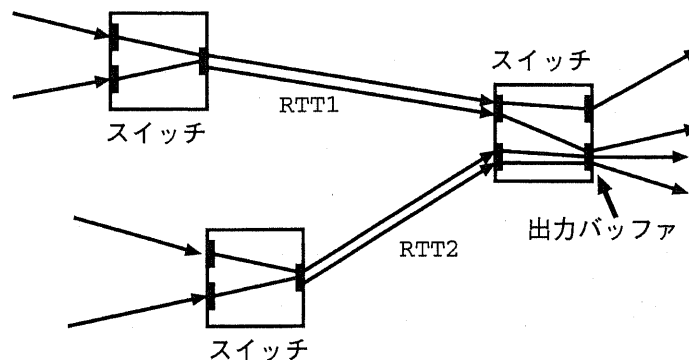


図 5.4: 共有出力バッファの構成

5.3 スイッチでの輻輳検出方法

送信端末とスイッチがトラヒック制御を正確に行うためには、ネットワークからのフィードバック情報の正確さが基本である。ネットワークからのトラヒック情報は、スイッチの輻輳検出する方法で決まる。スイッチでは現在のトラヒック状況をバッファ内に蓄積セル数がある値を超過したことで輻輳と判定し、逆方向 RM セル受信した時スイッチが計算した ER 値を送信端末へ知らせ、レートを制御する。

スイッチでの ER 計算方法は以下のようなものである。

[初期設定時]

$$MACR = ICR$$

[順方向 RM セルを受信時]

$$MACR = MACR + (MACR - ACR) * AV$$

[逆方向 RM セルを受信時]

IF(Q_L > DQT)

$$ER = \min(MACR * MRF, ER)$$

ELSE

IF(ACR > MACR * DPF)

$$ER = \min(MACR * ERF, ER)$$

ここで、

- *ACR* : データセルの許容伝送速度である。
- *ICR* : BRM セルが受信するまでの最初伝送速度である。
- *MACR* : スイッチが各 VC に *ACR* を平均した平均セル許容レート
- *AV* : スイッチが順方向 RM セル受信し、*MACR* を計算の時指数平均ファクタ
- *MRF* : スイッチが逆方向 RM セルを受信し、高輻輳時の減少ファクタ (7/8=0.825)
- *ERF* : スイッチが逆方向 RM セルを受信し、輻輳時の減少ファクタ (15/16=0.9375)
- *DPF* : スイッチが逆方向 RM セルを受信し、輻輳状態を判定するため平均セル許容レートにかける減少圧縮ファクタ
- *Q_L* : スイッチのバッファ内蓄積セル数
- *DQT* : スイッチの高輻輳状態を判定する値 (割り当てたバッファ量に対する比率 [%])

である。

AV, *MRF*, *ERF*, *DPF*, *DQT* の指定方法によってネットワークのスループット、平均遅延転送時間などに影響がある。

5.4 VSVD スイッチ設計の選択肢

前章で VSVD スイッチでレートの計算を行ったが、次のように選択すべき事項がある。

- VC の現レートを何で定めるか (4 選択肢)
- 入力レートを何で定めるか (2 選択肢)
- 輻輳制御のために前ループと後ループにどのように影響を与えるか (3 選択肢)
- VAL(VC's allocation at the link) の計算する時期は何時がよいか (3 選択肢)

このように全体的に $(4 \times 2 \times 3 \times 3) = 72$ 選択肢がある。このような様々な選択により、性能に影響を与えるので注意深く定めるべきである。

5.4.1 VSVD スイッチでの現レートの測定方法

VC の現レートを次のように四つの方法がある。図 5.5 に現レートを決める方法を示す。

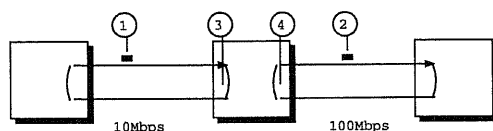


図 5.5: 現レートの決める方法

- VD が前ループから受信した FRM(FRM1) セルの CCR(Current Cell Rate) を現レートと定める。
- VS が次のループへ送る FRM(FRM2) の ACR(ACR₂) を CCR 値と定める。
- 前ループの実際のレートを測定する。このレートは VC キュー当たりの入力レートである。このレートを VC のレートとして使用する。
- 次のループの実際のソースレートを測定し、VC のレートとして使用する。

実際のレートを測定せず、CCR や ACR を現レートとして使用するより、測定した値を現レートとして使用することが良い。

5.4.2 VSVD スイッチでの入力レートの測定方法

VSVD スイッチでの入力レートを測定する方法は次のように二つがある。

図 5.6 に入力レートを決める方法を示す。

- 入力レートは ABR キューの VC 当たりの入力レートの合計である。
- 入力レートは ABR キューのクラス当たり入力レートの総計である。

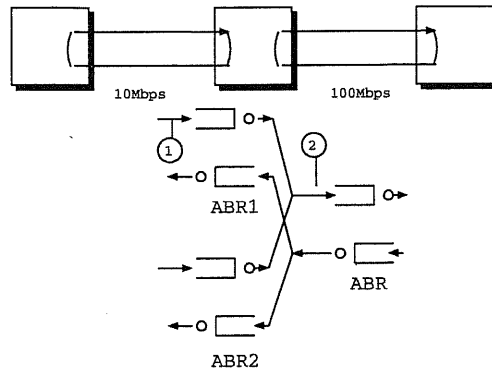


図 5.6: 入力レートの決める方法

5.4.3 レートの変更による影響

輻輳制御のため、レートの変更による影響を次の三つである。

- ER_1 の変更：前ループだけへ影響を与える。
- ACR_2 の変更：次のループだけへ影響を与える。
- ER_1 と ACR_2 の変更：前ループと次のループの両方へ影響を与える。

5.4.4 レートの変更周期

非 VSVD スイッチでのレートの変更は BRM セルを受信した場合行う。しかし、VSVD スイッチでは次のように三つの選択肢がある。

図 5.7 にレートの変更周期を決める方法を示す。

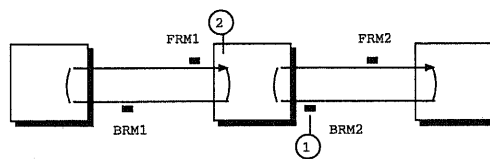


図 5.7: レートの変更周期を決める方法

- BRM2 を受信した場合、レートを計算する。計算値をテーブルへ保管し、FRM セルを返送する時、使う。
- FRM1 を返送する時、計算する。
- BRM2 を受信した場合と FRM1 を返送する時、計算する。

5.5 まとめ

本章では、有無線統合 ATM 網での ABR 輻輳制御の設計時、検討すべき事項について考察した。まず、トラフィックパラメータの選択の一点として有線区間での制御セルの発生周期を考察した。制御セルの送る頻度により、制御セルのオーバーヘッドが決められ、ネットワーク全体のスループットや転送遅延、バッファの要求量にも関わりがあることを検証した。各スイッチのバッファの割当方法により、ネットワークのスループット、転送遅延、スイッチの製作費用及び複雑性などに影響を与える。また、スイッチでのバッファ量を節約するため、出力共通バッファを設ける事を考察した。また、送信端末とスイッチがエンド-ツ-エンド間で輻輳制御を正確に行うためには、ネットワークからのフィードバックされる情報が基本である。その情報は、スイッチでの輻輳検出方法により決められる。また、VSVD スイッチでのレートの計算を行う時、選択すべき事項について考察した。

第 6 章

無線 ATM における動的ハンドオーバー方式

有線系における通信と無線系における通信の本質的な違いは、端末の移動性にある。移動体通信ネットワークにおいては、通信エリアは「無線セル」という小さく分けられたサービスゾーンによって構成される場合が多い。通信エリアを分けする主な理由は、制限された周波数帯域を繰り返し使用することにより、有効的に活用するためである。端末がある無線セルから他の無線セルへと移動すると、通信サービスは以前の無線セルの基地局 (BS: Base Station) から移され、新しい無線セルの基地局によって提供されるようになる。また、その際にはその端末に対する通信経路の切替えも伴う。このようなプロセスを「ハンドオーバー」という。

無線 ATM ネットワークにおいては、周波数繰り返し数を上げ、システム容量を増やすため、より小さい無線セルによるマイクロ・ピコセルラーアーキテクチャが前提される。したがって、頻繁に起こるハンドオーバーに素早く対処しなければならない。しかも、コネクション型の ATM ネットワークでは経路を切替えるたびにコネクション受付制御を行う必要があり、そのオーバーヘッドを抑える必要がある。従来のモノメディア・シングルコネクション (例えば、音声電話) ネットワークでは、各コネクションの容量が一定であり、簡単な受付制御ができた。しかし、無線 ATM ネットワークでは、マルチメディア・マルチコネクションのハンドオーバーの扱いに関しても検討が必要である。以下では、現在提案されている主なハンドオーバー制御方式について述べる。

6.1 位置登録・管理

移動端末が通信を行うためには、自分の現在の位置をホームネットワークにおける HLS (Home Location Server) に登録する必要がある。また、訪問先ネットワークで通信サービスを受けるためには、訪問先ネットワークにおける VLS (Visitor Location Server) に自分の存在を登録する必要がある。各 LS における登録エントリの例を図 6.1 に示す。

| | | | | | |
|-------------|--------------|------------|-----------------|---------|--------------------|
| Terminal ID | Local Handle | Network ID | Cluster Root ID | CLPS ID | Service Desc, etc. |
|-------------|--------------|------------|-----------------|---------|--------------------|

図 6.1: Location Server エントリ

ここで、Terminal ID は、その端末を識別する固有の識別子である。Local Handle は、現ネットワーク内で有効なその端末の識別子である。Network ID は、HLS エントリの場合は現在その端

末が収容されている訪問先ネットワークを、VLS エントリの場合はその端末のホームネットワークを表す。Cluster ID は、現ネットワーク内で属している無線セルクラスタの識別子であり、CLPS (Connectionless Proxy Server) ID は、その端末に割り当てられている CLPS を表す。その他にサービス記述子などの情報が LS エントリに登録される。

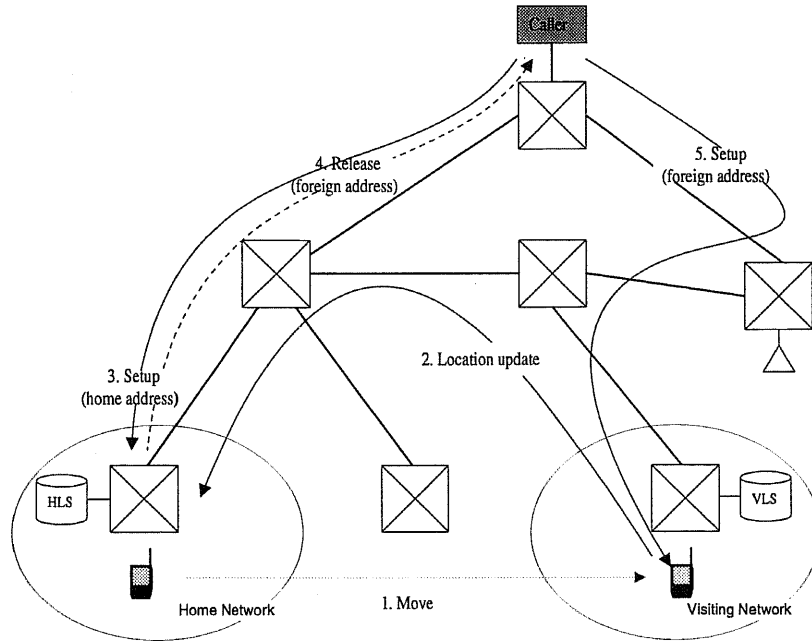


図 6.2: 無線 ATM ネットワークにおける位置管理

図 6.2 にホームネットワークから離れている移動端末を追跡してコネクションを設定する例を示す。まず、ホームネットワークから離れた端末は、HLS に訪問先ネットワークを登録し位置情報を更新 (Update) する。次に、外部からホームネットワークへのコネクション設定要請 (Setup) 信号に対して、コネクション解除 (Release) 信号と共に訪問先アドレス (Foreign Address: Network ID + Local Handle) を返す。発信元では、訪問先アドレスを用いて改めてコネクション設定を要請し、訪問先ネットワークでは、VLS エントリからコネクション設定の要請をクラスタルート交換機または CLPS に転送する。

6.2 ハンドオーバー制御

ハンドオーバーの処理は次のように二つの形態がある。

- Radio ハンドオーバー: 端末が同マクロセル中でマイクロセル (ピコセル) 間に移動したハンドオーバーである。BS が RAL (Radio Access Layer) レベルで処理を行ない、無線チャンネルを変えることで可能になる。
- ネットワークハンドオーバー: あるマクロセルから他のマクロセルに移動したハンドオーバーで、二つに分類される。同 LE (Local Exchange) に接続された BS 間のハンドオーバーをローカルハンドオーバーと呼ぶ。異なる LE に接続された BS 間のハンドオーバーをグローバルハンドオーバー

と呼ぶ。ネットワークハンドオーバーの処理は ATM レイヤで VC を再設定することで可能になる。

ネットワークハンドオーバーの処理は VC を設定する方法によって次のように区分できる。

- フル再設定
- 接続拡大
- 部分再設定
- マルチキャスト設定

6.2.1 フル再設定

図 6.3 にフル再設定のハンドオーバー方式を示す。

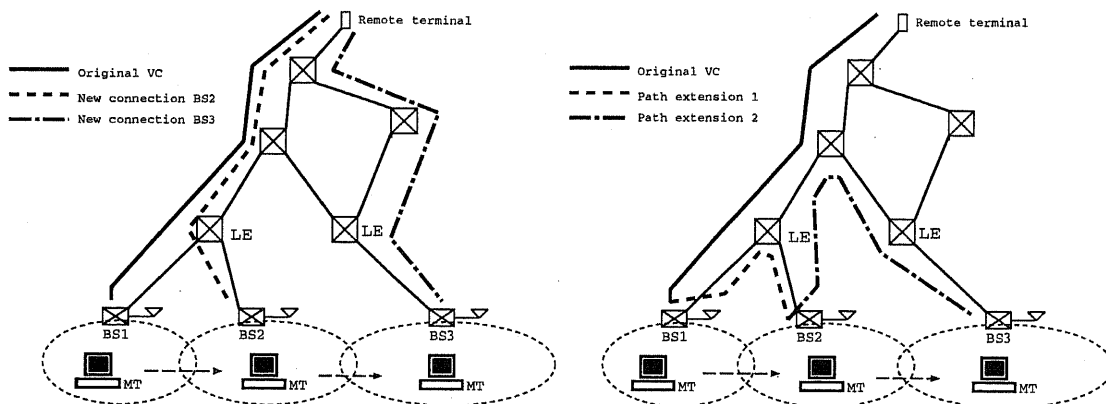


図 6.3: フル再設定及び接続拡大ハンドオーバー方式

フル設定のハンドオーバー方式は MT (Mobile Terminal) のハンドオーバー要求に対してエンド-ツ-エンド間の新しい接続を再設定する。この方式は処理時間が掛かって、接続が切れたり、タイムアウトされる恐れがある。

6.2.2 接続拡大

図 6.3 に接続拡大のハンドオーバー方式を示す。

接続拡大のハンドオーバー方式は有線ネットワークを通して元 BS から目的 BS に接続を確立することで、即ち、端末間の VC を延ばすことでハンドオーバーを処理する。図 6.3 のように BS1 (スイッチ機能を持つ) から BS2 へ、BS2 から LE を通して BS3 へパスを拡大してハンドオーバーを処理する。この方式は、簡単であり、処理時間が短く、ATM セルの順番にも問題がない。再設定もしないことで、ユーザが制限された地域を巡回移動する時は以前の BS に戻るのも可能である。しかし、移動する端末のために新しい VC の割当が必要で、資源の損失が多く、パスを延ばすことによりエンド-ツ-エンド間の遅延が大きくなる。

6.2.3 部分再設定

図 6.4に部分再設定のハンドオーバー方式を示す。

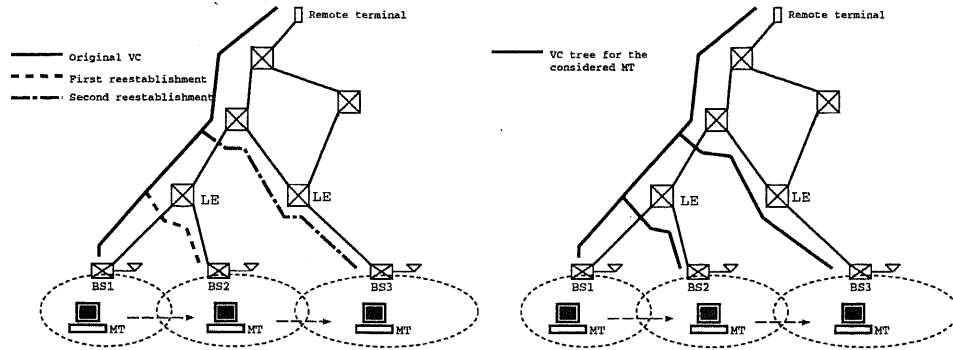


図 6.4: 部分再設定及びマルチキャストハンドオーバー方式

部分再設定のハンドオーバー方式は全パスを再設定せず、既存の VC を部分的に利用し、部分的に新しいパスを設定することで、ハンドオーバーの処理が可能である。通常、ユーザの移動は局地的に起こるため、新位置での再設定されたパスは元のパスの VP を共有することが多い。移動端末からハンドオーバーの要求を受けた BS は前のスイッチへ目的 BS のアドレスを含む制御セルを送信し、制御セルを受けたスイッチは自分が PN (Pivot Node) スイッチであるかを決定する。自分が PN スイッチであれば、目的 BS へパスを設定する。しかし、自分が PN スイッチではない場合は前段スイッチへ制御セルを送信する。この方式は、ユーザがサービスの遮断のようなネットワークハンドオーバーを感じない程度処理が速く、効率が良く、透明性を保つことである。また、資源の損失を防止するために、各ハンドオーバーに対して最適のパスを設定する。

6.2.4 マルチキャスト設定

図 6.4にマルチキャスト設定のハンドオーバー方式を示す。

マルチキャスト設定のハンドオーバー方式は移動ユーザが位置しているマクロセルの周辺のネットワークに対して資源の先行割当を行なう。新しい移動ユーザの接続を設定する時、MT が移動する方向のマクロセルを管理する全 BS に対して、VC ツリーと言われる VC のセットを設定する。移動ユーザはハンドオーバーに対してネットワークからの許可を得ずに、ツリーの中では自由に移動できる。VC ツリーの割当は接続中に静的もしくは動的に行なう。この方式は、接続の設定時、移動ユーザが移動可能な全地域に対して資源の割当と QoS の交渉が終り、ユーザのネットワークハンドオーバーに対して QoS が安定的に保証できる。しかし、この方式は帯域の使用の側面では効率が低く、資源の不足により、新しい接続が拒否される可能性がある。図 6.4では、移動ユーザは三つのマクロセルの中を移動することを仮定している。

6.2.5 ハンドオーバー方式の比較

表 6.1に以上で述べた各ハンドオーバー制御方式の比較を示す。

| ハンドオーバー制御方式 | フル再設定 | 部分再設定 | 接続拡大 | マルチキャスト |
|-------------|-------|-------|------|---------|
| CAC の容易性 | △ | △ | △ | × |
| HAC の容易性 | × | △ | ○ | ◎ |
| ハンドオーバー処理時間 | 大 | 大 | 中 | 小 |
| シグナルオーバーヘッド | 大 | 大 | 中 | 小 |
| 順序制御 | 要 | 要 | 不要 | 要 |
| バッファ量 | 大 | 中 | 小 | 小 |
| チャンネルの使用量 | 小 | 小 | 中 | 大 |
| 経路の最適化度 | 大 | 中 | 小 | 中 |
| 転送遅延 | 小 | 中 | 大 | 中 |

CAC: Connection Admission Control HAC: Handoff Admission Control

表 6.1: ハンドオーバー制御方式の比較

6.3 動的ハンドオーバー制御方式の提案

本論文で提案する動的ハンドオーバー方式は、部分再設定のハンドオーバー方式と接続拡大のハンドオーバー方式の利点を動的に利用する方式である。ハンドオーバーが発生した時、MT は MES (Mobility Enhancement Signaling) セルを接続のデータフローに挿入し、BS へ送ることで、ハンドオーバーをネットワークに要求する。MES は有線 ATM の ABR サービスクラスの RM セルと同様なものである。MES セルを受信した BS はサービスクラス、トラフィックパラメータなどを基にして、動的に接続拡大のハンドオーバー方式か部分再設定方式かを選択し、ハンドオーバーの処理を行なう。動的ハンドオーバー方式は、ハンドオーバー間の ATM セルの順序保証、ハンドオーバーの処理時間短縮、バッファの節約と CLR (Cell Loss Ratio) を極力抑えることにより、移動ユーザの QoS を保証することを目指している。図 6.5 に動的なハンドオーバー方式を示す。

6.3.1 MES セル

表 6.2 に MES セルの構成を示す。

- Header : MES セルの最初の 5 バイトは VCC には PTI = 1 1 0、VPC にはさらに VCI = 6 を有した標準的な ATM ヘッダーである。
- ID(protocol ID) プロトコル ID : サービスクラスの種類を設定する。
- HOR (Handover Request) : 移動端末がネットワークハンドオーバーを要求する時、使用する。
- HOC (Handover Confirm) : ネットワークが移動端末の接続のために元 BS から目的 BS へハンドオーバーの準備が完了した時、送信する。
- EDF (End of Data Flow) : 移動端末が元 BS を通して送る最後のメッセージである。
- SDF_{down} (Start of Data Flow) : 新接続に対して最初に PN が送るメッセージである。

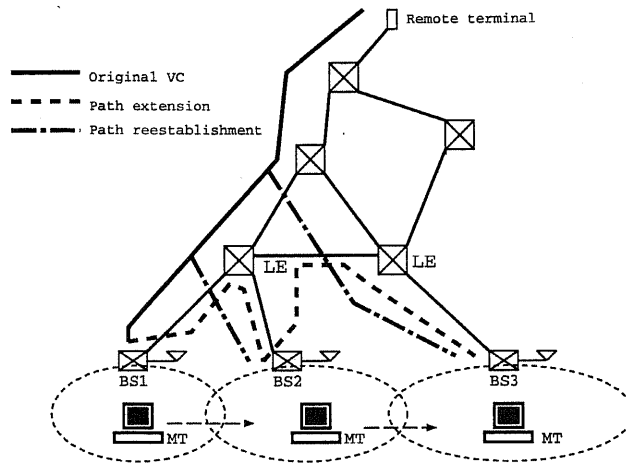


図 6.5: 動的なハンドオーバー方式

- SDF_{up}(Start of Data Flow) : 新接続に対して最初に新 BS が送るメッセージである。このメッセージを PN が受信することで、ハンドオーバーの処理が完了する。
- ULR(Uplink connection Ready) : 新接続に対して PN がアップリンクの準備を完了した時のメッセージである。
- S.BSA(Source BS Address) : 元の BS のアドレスである。
- T1.BSA(First Destination BS address) : 一番目の目的 BS のアドレスである。
- T2.BSA(Second Destination BS address) : 二番目の目的 BS のアドレスである。

6.3.2 MES セルのフロー

図 6.6 に接続拡大ハンドオーバー方式の MES セルのフロー及び部分再設定ハンドオーバー方式の MES セルのフローを示す。

ネットワークハンドオーバーは MT が二つ以上のマクロセル区域に入った時、始まる。ハンドオーバーの処理フローは次のようである。

- MT はネットワークハンドオーバーを処理するために HOR メッセージを BS2 へ送る。
- MT は HOC メッセージを待ちながら、アップリンクの BS2 を通してデータセルを送信する。
- HOR メッセージを受信した BS2 はトラフィックパラメータを基にしてハンドオーバー方式を決める。図 6.6 のように接続拡大方式のハンドオーバーの場合は新 VC を BS3 まで設定し、HOC メッセージを MT へ送信する。図 6.6 のように部分再設定方式のハンドオーバーの場合は、LE へ HOR メッセージを送信する。

| フィールド名 | オクテット | ビット位置 | 説明 |
|----------|-------|-------|---------------|
| Header | 1 - 5 | all | ATM Header |
| ID | 6 | all | プロトコル ID |
| MES_TYPE | 7 | all | メッセージタイプ |
| FLOW_ID | 8 | all | データフロー ID |
| PRI | 9 | 7-4 | 優先順位 |
| Q_MOD | 9 | 3-0 | QoS の修正 ID |
| PFL | 10 | 7-4 | Pivot Flag |
| N.D. | 10 | 3-0 | 予備 |
| S_BSA | 11-23 | all | 元 BS の住所 |
| T1_BSA | 24-36 | all | 最初目的 BS の住所 |
| T2_BSA | 37-49 | all | 2 番目目的 BS の住所 |
| N.D. | 50-51 | all | 予備 |
| N.D. | 52 | 7-4 | 予備 |
| CRC1 | 52 | 3-0 | エラー検出 |
| CRC1 | 53 | all | エラー検出 |

表 6.2: MES セルのフィールド構成

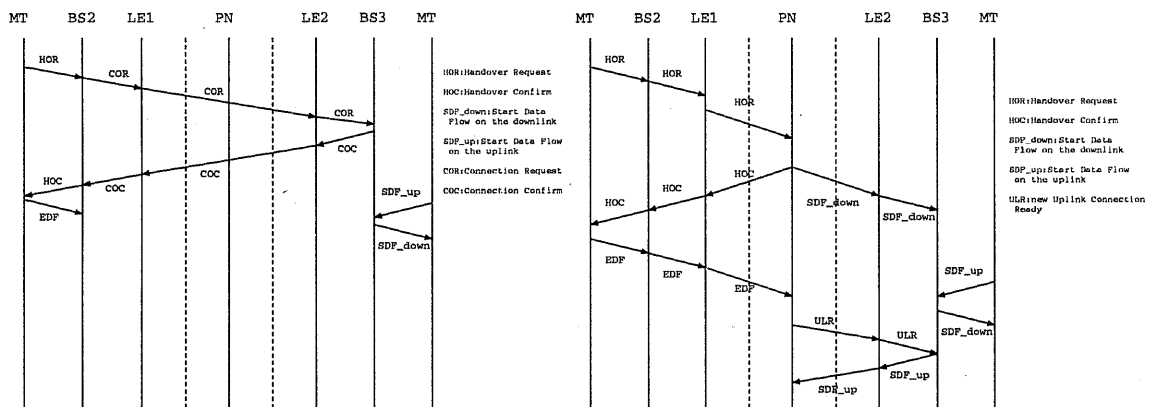


図 6.6: 接続拡大及び部分再設定方式の MES セルのフロー

- HORを受信したLEは自分がPNでない場合は、HORメッセージをPNへ送信する。
- HORを受信したPNはHOCを送信する前にBS3へパスを設定する。パスの設定が終了と、PNはダウンフローテーブルを修正し、新パスを通してSDF_downメッセージを送信する。また、HOCメッセージをBS2を通してMTへ送信する。
- HOCを受信したMTはBS2を通して最後のデータであるEDFメッセージをPNへ送信する。PNがEDFを受信することで、アップフローテーブルを更新する。PNはULRメッセージをBS2へ送信する。

- 新無線リンクが接続されると MT が *SDF_up* を BS3 を通して PN へ送信することでアップフローパスが設定される。
- BS3 が持っていた *SDF_down* メッセージを MT へ送信することでダウンフローパスが設定される。

6.3.3 まとめ

無線 ATM ネットワークにおいては、周波数繰り返し数を上げシステム容量を増やすため、より小さい無線セルによるマイクロ・ピコセルラーアーキテクチャが前提される。したがって、頻繁に起こるハンドオーバーに素早く対処しなければならない。しかも、コネクション型の ATM ネットワークでは経路を切替えるたびにコネクション受付制御を行う必要があり、そのオーバーヘッドを抑える必要がある。無線 ATM ネットワークでは、マルチメディア・マルチコネクションのハンドオーバーの扱いについても検討が必要である。今まで提案されたハンドオーバー方式の問題点を解決できる動的なハンドオーバー方式に対して検討を行った。

動的ハンドオーバー方式は、ABR トラフィックの重要な QoS パラメータであるセル損失率を極力保証し、VBR トラフィックの重要な QoS パラメータであるセル遅延とセル遅延変動を保証し、ハンドオーバー間の ATM セルの順序保証、ハンドオーバーの処理時間の短縮などを目指している。

6.4 無線区間でのハンドオーバー方式に関する性能評価

ハンドオーバー方式を決めるパラメータとしては、トラヒックのサービスクラス、チャンネルの使用率、伝送速度、ハンドオーバーの種類(ローカル、グローバル)、有線ネットワークの接続状況などが考えられる。本論文でのシミュレーションでは各サービスクラスに対して接続拡大方式と部分再設定方式を転送速度を変化させながらセル損失率、最大バッファ要求量と最大遅延時間の項目について比較評価を行った。

6.4.1 シミュレーションモデルと条件

図 6.7 にシミュレーションモデルを示す。LE は 3 台で各 LE に BS が 2 台ずつ繋がっている。また、隣接する LE 間も繋がっている。移動端末はランダムな方向に移動する。ハンドオーバーは周期 20 秒の Exponential 関数で発生する。評価項目としてセル損失率を採用したのは、ABR トラヒックの場合、セル損失はデータの再転送を引き起こし、スループットが劣化する恐れがあるためである。また、最大遅延時間は VBR トラヒックの重要なパラメータである。ABR トラヒックはバースト性を持つデータであり、VBR トラヒックは MPEG1 のビデオソースを用いた。

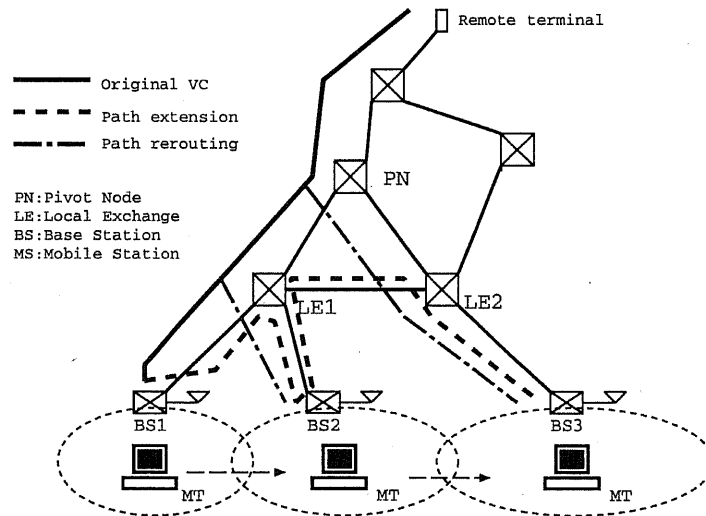


図 6.7: シミュレーションモデル

シミュレーションの諸条件を表 6.3 に示す。

6.4.2 シミュレーション結果

各サービスクラスごとに転送速度を変化させながら、2つの方式でのセル損失率、最大バッファの要求量と最大遅延時間を評価した。バッファ 100 セル分を設けた時の ABR サービスクラスのセル損失率及び VBR サービスクラスの最大遅延時間を図 6.8 に示す。

部分再設定方式が接続拡大方式よりセル損失率が高いことは、部分再設定方式の場合、ハンドオーバーを処理するのに時間が掛かることである。セル損失を減らすためには多くのバッファが必要になる。

| 項目 | 内容 |
|-------------|----------------|
| シミュレーション時間 | handover 200 回 |
| BS 数 | 6 台 |
| ハンドオーバ周期 | 平均 20 秒 |
| リンクレート | 20Mbps |
| Channel レート | 20Mbps |

表 6.3: シミュレーションの諸条件

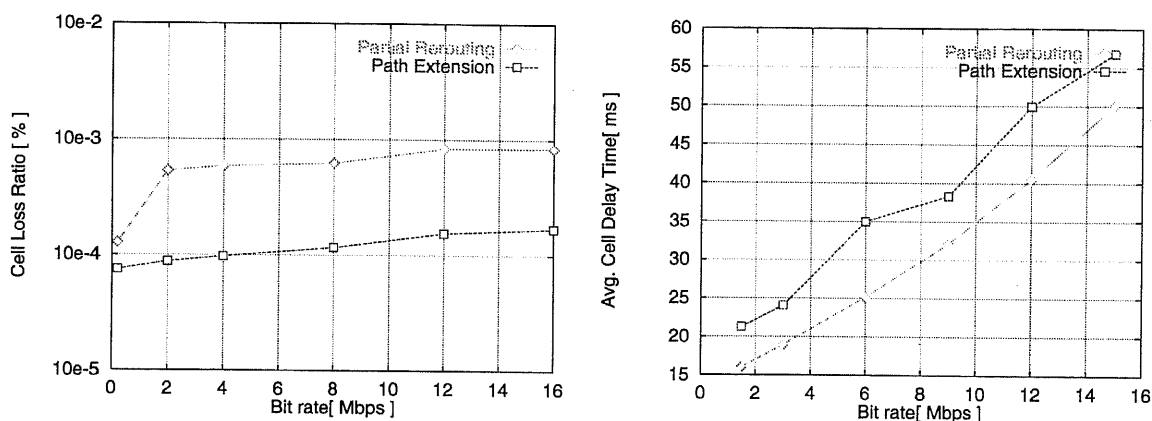


図 6.8: ABR サービスクラスのセル損失率及び VBR サービスクラスの最大遅延時間

接続拡大方式が部分再設定方式より遅延が大きいのは、接続拡大方式の場合、パスの延長により遅延が長くなるからである。

セル損失率をゼロにするため、スイッチに必要な最大バッファ量を ABR サービスクラス及び VBR サービスクラスについて図 6.9 に示す。

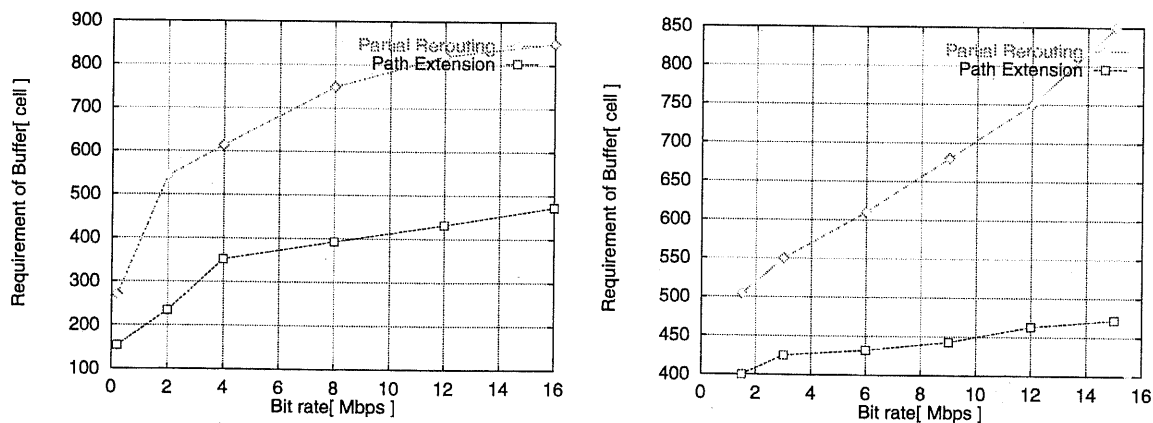


図 6.9: ABR の必要なバッファの要求量及び VBR の必要なバッファの要求量

バッファの要求量は、セル損失を防ぐため、部分再設定が接続拡大方式より多くなる。

バッファ 100 セル分を設けた時の ABR サービスクラスの最大遅延時間及び VBR サービスクラスのセル遅延変動を図 6.10 に示す。

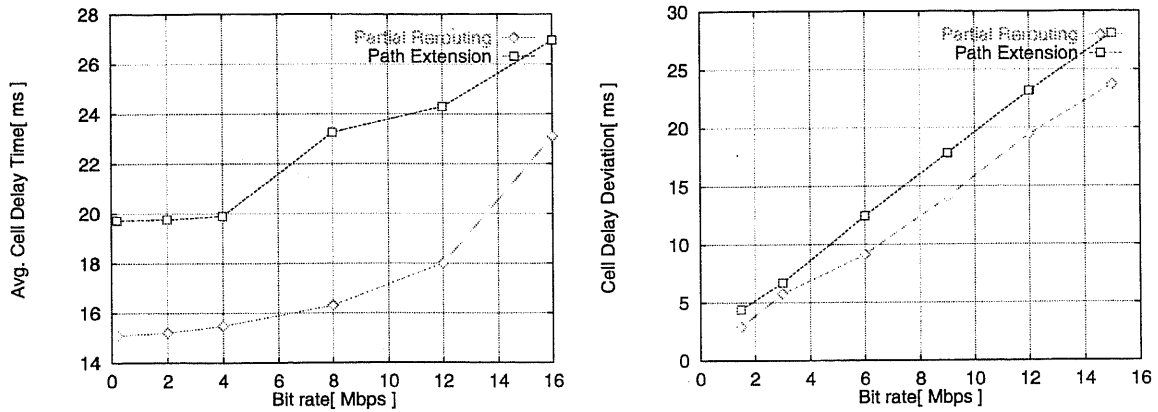


図 6.10: ABR の最大遅延時間及び VBR のセル遅延変動

接続拡大方式は、パスの延長をするため、遅延時間が部分再設定方式より長くなる。VBR トラヒックの大事なパラメータであるセル遅延変動は、部分再設定方式がパスの最適化により、接続拡大方式より短くなる。

6.4.3 まとめ

本シミュレーションでは、動的ハンドオーバー方式を検証するため、接続拡大方式と部分再設定方式に対して ABR と VBR の大事な QoS パラメータを評価項目として比較シミュレーションを行った。シミュレーション結果、接続拡大方式はハンドオーバーの処理時間が短くでき、セルの損失率が少なく、バッファの要求量も少ない。しかし、余分の資源(帯域)を多く使う。また、全体のパスの長さが長くなり、エンド-ツ-エンド間の遅延が大きくなる。セル損失に厳しい ABR トラヒックはこの方式が相応しいが、遅延に厳しい VBR トラヒックに対してのこの方式は相応しくない。一方、部分再設定方式は PN(Pivot Node)を決めるのに時間がかかり、ハンドオーバー処理時間が長くなるため、セル損失率とバッファの要求量が多い。しかし、一回パスを再設定すれば遅延の問題はなく、資源の無駄も少ない。セル損失に厳しい ABR トラヒックには不利である。遅延に厳しく、ある程度セル損失は受容できる VBR トラヒックには相応しい方式である。

6.5 接続拡大ハンドオーバー方式の改善方式の提案

ハンドオーバー方式の一つである接続拡大方式は、セル損失率が保証でき、ABR トラフィックでは相応しいが、エンド-ツ-エンド間の遅延と資源(帯域)の使用率の問題がある。輻輳が激しいネットワークでの接続拡大方式は、他ユーザに影響を与え、ネットワーク全体のスループットを劣化する恐れがある。この問題を解決するため、接続拡大方式を改善しなければならない。本論文で検討する方式は 2 フェーズ方式で、ABR トラフィックに対してハンドオーバーの要求が生じた場合、まず、接続拡大方式でハンドオーバー処理を行い、後でトラフィックパラメータを基にして適切な時、部分的にパスの最適化を行う。

6.5.1 2 フェーズハンドオーバー方式

2 フェーズハンドオーバー方式は、接続拡大方式の利点を収容し、問題点であった帯域使用の向上、エンド-ツ-エンド間の遅延の短縮することにより、移動ユーザの QoS の保証を目指す。表 6.2 で使用した MES セルを用い、2 フェーズハンドオーバー方式のため、次のフィールドを設ける。

- OPR(Optimize Path Request) : パスの再設定の要求時、使用する。
- OPC(Optimize Path Confirm) : パスの再設定が完了した時、送信する。
- EDF_OP(End of Data Flow for Optimization) : パス再設定後、元 BS を通して送る最後のメッセージである。

図 6.11 に 2 フェーズ方式の MES セルのフローを示す。ABR トラフィックの場合、まず、接続拡大方式を用い、ハンドオーバー処理を行い、その後、 T_{2ph} 経過した時、パスの最適化を行う。パスの最適化を始める時間 T_{2ph} は、次のようなパラメータが考えられる。

- ネットワークの構成 (Network Topology) : 接続拡大方式を行った後のパスの長さが、以前のパスの長さとはあまり差が出ない場合、パス最適化を延期する。
- 帯域の使用率 : ネットワークが混んでいる場合、即ち、帯域の使用が激しい場合、他のユーザに迷惑をかけないようにセル損失率を許容しながらパス最適化を行う。
- ハンドオーバーの処理回数 : ハンドオーバーの処理回数はパスの長さとは密接な関係がある。
- バッファの状況 (PN、現 BS) : PN スイッチのバッファの状況は、ダウンリンク場合、適用するパラメータで、パス最適化を行う時間の間のセルのバッファリングできる可否により、パス最適化によるセル損失率を防ぐ。現 BS のバッファの状況は、アップリンクの適用する。

6.5.2 シミュレーションによる評価

シミュレーションのモデルと条件、評価項目は、第 6.4 節の図 6.7 及び表 6.3 と同様である。本論文でのシミュレーションでは、接続拡大方式、部分再設定方式、2 フェーズ方式に対して比較評価を

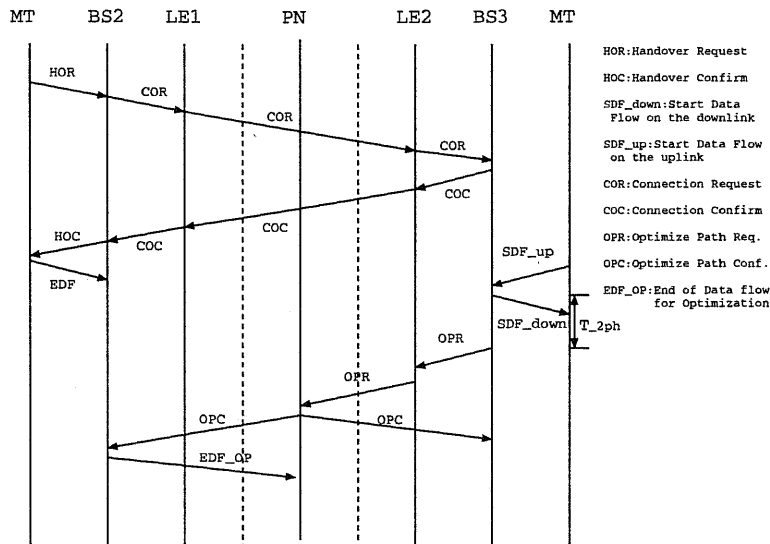


図 6.11: 2 フェーズ方式の MES セルのフロー

行った。2 フェーズ方式でパス最適化を行う時点は、接続拡大方式が完了した後、一定時間 T_{2ph} が経過した時である。一定時間 T_{2ph} は、PN でのバッファの状況で、

- Buf_Max : PN のバッファ量
- Buf_Cur : 現在 PN のバッファ量
- Buf_Trs : パス最適化に伝送できる量

$$Buf_Trs \leq Buf_Max - Buf_Cur$$

の場合である。

6.5.3 シミュレーション結果

各サービスクラスごとに転送速度を変化させながら、3つの方式でのセル損失率、最大バッファの要求量と最大遅延時間を評価した。バッファ 100 セル分を設けた時の ABR サービスクラスのセル損失率及び最大遅延時間を図 6.12 に示す。

2 フェーズ方式は、接続拡大方式とセル損失率が殆んど同じであり、遅延は接続拡大方式より短くなる。2 フェーズ方式は接続拡大方式を行った後、パス最適化を行う事により遅延を減少する事ができた。

セル損失率をゼロにするためにスイッチに必要な最大バッファ量を ABR サービスクラス及び VBR サービスクラスについて図 6.13 に示す。

バッファの要求量は、2 フェーズ方式と接続拡大方式が殆んど同じである。

バッファ 100 セル分を設けた時の VBR サービスクラスの最大遅延時間及びセル遅延変動を図 6.14 に示す。

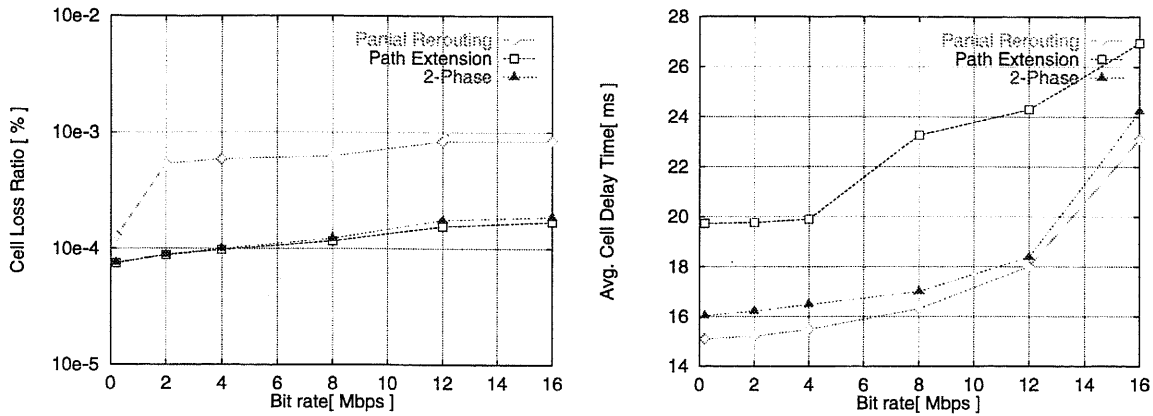


図 6.12: ABR のセル損失率及び最大遅延時間

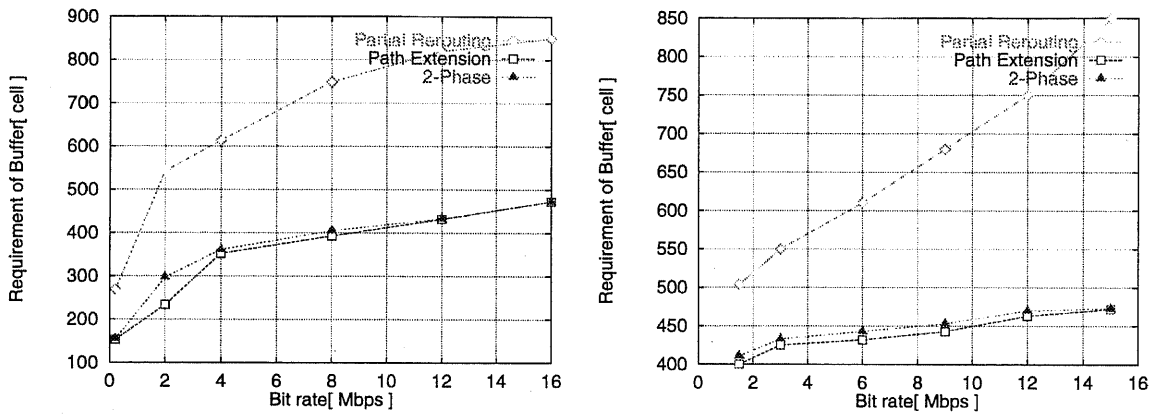


図 6.13: ABR の必要なバッファの要求量及び VBR の必要なバッファの要求量

2 フェーズ方式は接続拡大方式より遅延時間が短くなるが、部分再設定方式より長くなる。VBR トラフィックの大事なパラメータであるセル遅延変動も、2 フェーズ方式が接続拡大方式より短くなるが、部分再設定方式より長くなる。遅延に厳しい VBR トラフィックに 2 フェーズ方式を適用するためには、2 フェーズ方式の改善が必要である。

6.5.4 まとめ

本検討では、接続拡大方式の問題点である遅延と資源の節約のために 2 フェーズ方式を提案し、3 方式に対して比較評価を行った。シミュレーションの結果、2 フェーズ方式は接続拡大方式の長所であるセル損失率の最小化、バッファの節約を確保し、遅延と資源の面でも優れた結果を得た。しかし、VBR の重要な QoS パラメータである遅延と遅延変動の面では、部分再設定方式より劣った。従って、2 フェーズ方式と部分再設定方式をトラフィックパラメータを基に動的に適用する事が望ましい。

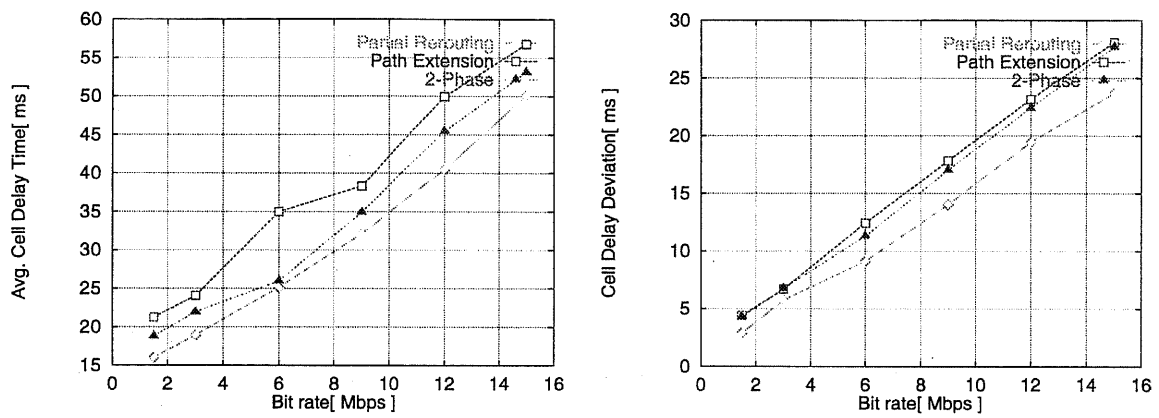


図 6.14: VBR の最大遅延時間及びセル遅延変動

第 7 章

結論

7.1 まとめ

本論文では、有無線統合 ATM 網における VSVD 方式を適用した ABR サービスクラスの輻輳制御について研究を行った。具体的には、

- エンド-ツ-エンド間のセル損失率の保証
- スイッチでのバッファ量の節約
- エンド-ツ-エンド間の遅延の減少
- スループットの確報

を目指し、有線区間と無線区間を分け、有線区間では RCFC 方式と無線区間では動的割当方式を提案し、比較評価により検証を行った。また、有無線統合では、基地局を VSVD スイッチとして設計し、無線区間での割当方式として融合方式を提案し、有線区間でその性能が検証された RCFC 方式と無線区間での各割当方式に対して比較評価を行った。また、無線 ATM で、移動端末がマイクロセル間を移動した場合、発生するハンドオーバーに対して動的なハンドオーバー方式を提案し、提案方式を検証した。以下、本論文の構成に沿いながら各項目を要約する。

まず、第 2 章では、本研究の基礎知識として、マルチメディアトラヒックの収容という側面から見た ATM ネットワークの概念、ATM Forum が規定したサービスクラスとトラヒックパラメータ、トラヒック管理、ATM 網のルーティング方式である PNNI(Private Network to Network Interface) について概説した。無線 ATM における諸問題について述べ、従来の研究について無線アクセス方式を中心にまとめた。

現在の ATM は、標準化が進み、仕様が決まった状態で、実用化が進んでいる。また、無線 ATM に関する研究は、まだ初歩段階にあり、準ミリ波帯における伝播特性など、物理的な広帯域無線アクセスの妥当性に関する研究と、端末の移動に起因するトラヒック制御・コネクション管理のためのシグナリングに関する研究が多い。

メディアアクセスに関しては、高速通信への対応性から、TDMA 方式に基づいた方式に関する研究が多い。しかし、それらの方式では、可変速度が特徴であるマルチメディアトラヒックに対して、TDMA タイムスロットを固定的にまたは予約により半固定的に割り当てる場合が多く、周波数資源

の無駄な使用が多い。動的に割当を行なう方式もいくつか考案されてはいるが、それらの方式では、輻輳状態には十分に対応できないという問題が残されている。

したがって、このような要求に柔軟に応えられる新たな無線リンクアクセス方式の研究の必要性について述べた。また、ATM サービスクラスの中で、最も注目を浴びている ABR に対して輻輳制御の必要性、レートベース制御とクレジットベース制御の基本動作について概説し、両方式の比較について述べ、最近 ABR 輻輳制御として研究が進んでいる VSVD 制御について概説した。

第3章では、有無線 ATM における ABR トラヒックの輻輳制御の設計を行った。有線 ATM での ABR トラヒック制御は、今までレートベース制御とクレジットベース制御が提案され、ATM Forum でレートベース制御が採択され、実用化が進んでいるが、ABR トラヒックの大事なトラヒックパラメータであるセル損失率を防ぐことができない問題点が残っていた。また、クレジットベースの問題点である長距離ネットワークの場合、膨大なバッファが要求され、スイッチが複雑になる問題点があった。この問題点を解決し、ネットワーク規模に関係せず、適用できる RCFC 方式を提案し、設計を行った。

無線 ATM でマルチメディアトラヒックを収容し、CBR、VBR トラヒックが使用した後、残った帯域を ABR データトラヒックが使用する時、各送信端末が公平に帯域を共有し、効率的に利用するためには、今までの帯域割当方式では実現できない。本論文で提案する動的割当方式を適用することにより、効率良く公平に各端末が帯域を使用することを目指し、動的割当方式の設計を行った。

有無線統合 ATM では、有線と無線の状況が異なることで、有線で適用していた ABR トラヒック制御方式をそのまま無線区間で適用することは難しいことである。主な問題点は、周波数資源の余裕とメディアの問題で生ずるセル損失率である。その問題を解決し、エンド-ツ-エンド間でフィードバック制御を適用するためには、有線区間と無線区間を区切って制御をしなければならない。有線区間と無線区間を継ぎ目なくトラヒック制御をするためには、基地局を仮想送信端末と仮想受信端末とする VSVD 方式を適用し、有線区間と無線区間のレートをマッピングするようなスイッチ構造を設けた。また、有線区間で使用している制御セルを無線区間に使用することは、制御セルのオーバーヘッドが大きいことで、無線区間では別の制御スロットを設けた。このように基地局での VSVD スイッチを提案し、設計を行った。また、無線区間での割当方式として RCFC 方式に相応しい周期的リセット方式とトークン方式を融合した方式を提案し、設計を行った。

第4章では、適切なシミュレーションモデルとトラヒック、評価パラメータを設け、提案した方式の有効性に評価を行った。まず、有線 ATM 網での ABR トラヒック制御方式として本論文で提案された RCFC 方式とレートベース制御方式である EPRCA 方式、クレジットベース方式である VCFC 方式との比較シミュレーション評価を行った。

シミュレーションを行った結果、近距離の場合、EPRCA 方式ではセル損失の発生を防ぐことが難しいことと、RCFC 方式と VCFC 方式ともに距離に関係せず、セル損失率をゼロに保証できることが明らかになった。三つの方式は平均セル遅延時間とバッファの要求量は同じくらいであった。各 ABR ソース間のスループットと遅延の場合も三つの方式が同じ条件でソース間の差がなかったため、公平に資源を使ったことが明らかになった。遠距離の場合、EPRCA 方式はセル損失の発生が落ちることと、VCFC 方式よりバッファの要求量も少なくなり、平均セル遅延時間も短くなったことでクレジットベース制御より優れた方式であることが証明された。VCFC 方式はスループットが近距離に比べ落ちないが、遠距離ためクレジットを受け取る時間が掛かり、バッファにセルが溜ることで総

バッファの量が大きく要求される。また、バッファでの待ち時間が長くなり、平均セル転送遅延時間が長くなることで遠距離では他の方式よりスイッチ製作値段とスイッチの複雑性で問題になることが明らかになった。RCFC方式は輻輳が起きた場合、ネットワークの輻輳情報を送信端末へ知らせ、転送レートを下げることで、スイッチでのバッファに溜るセルの数を減らし、バッファ内の待ち時間を短くするため、VCFC方式よりスイッチでの総バッファ量も減らすことと平均セル遅延時間も短くすることで遠距離でEPRCA方式と同じくらいスループット、バッファ量、平均セル遅延時間であることが明らかになった。また、三つの方式ともにバックグラウンドの音声トラフィックを優先的に送ったことが明らかになった。

割当帯域の変化によるRCFC、VCFC、EPRCA方式の特性としては割当帯域が厳しいほど、VCFC方式はスループットの落ち率も他の方式より大きいことと、平均セル転送遅延時間とセル遅延変動も急激に長くなることが明らかになった。また、EPRCA方式は割当帯域が厳しくなるとセル損失率が大きくなることが明らかになった。

スイッチでのバッファの要求量として、バーストの幅が短くて激しい変動がある時はEPRCA方式での輻輳が起きたリンクの直前スイッチのバッファ量はセル損失率を防ぐためにはRCFC、VCFC方式より大きく要求される。VCFC、RCFC方式は輻輳の影響を輻輳が起きたリンクの前段スイッチに分散させるため総バッファ量は大きくなるが直前のスイッチのバッファ量はEPRCAより少なくともできる。

次に、無線リンクにおけるABRフロー制御方式としてトークン発生方式と周期的リセット方式について評価を行った。評価の結果、周期的リセット方式の方が、割当帯域を制限するトークン発生方式より、効率的な帯域の割当ができることが分かった。さらに、本論文で想定したARU形成方法では、異なるトラフィックパターンを持つABRコネクション間では割当の不公平が生じる問題があったが、周期的リセット方式ではその割当公平性の問題も解決できることを確認した。

有無線統合ATM網でのABRトラフィックのエンド-ツ-エンド間の制御方式に対して比較評価を行った。本シミュレーションでは、有線区間ではRCFC方式を用い、無線区間では動的割当方式として周期的リセット方式、トークン方式、周期的リセット方式とトークン方式を融合した方式及び有線区間ではRCFC方式を適用するが無線区間では制御しない無制御方式に様々な評価項目で行った。有線区間と無線区間を分けて基地局をVSVDスイッチとしてレートやクレジットを制御しない場合、有線区間の輻輳状態になるとスループットの劣化、セル損失率の発生、遅延の問題などが起きることが明らかになった。また、有線区間の状況により、無線端末のセルの転送レートを制御するトークン方式はセル損失率を防ぐ事が難しい。基地局のバッファの状況により、クレジットを無線区間に知らせ、無線区間のセルの転送を制限する周期的リセット方式は、セル損失率防ぐ事ができるが、バッファを多く設けなければならない。本論文でのシミュレーションで、有線区間でのRCFC方式と無線区間での融合方式を適用してエンド-ツ-エンド間で輻輳制御を行う事により、ABRトラフィックの大事なQoSであるセル損失率を極力保証しながら、スイッチの製作の重要な鍵であるバッファを節約できる事が検証された。しかし、スイッチでの制御のオーバーヘッドの問題は解決すべきである。

第5章では、有無線統合ATM網でのABR輻輳制御の設計時、検討すべき事項について考察した。まず、トラフィックパラメータの選択の一点として有線区間での制御セルの発生周期を考察した。制御セルの送る頻度により、制御セルのオーバーヘッドが決められ、ネットワーク全体のスループットや転送遅延、バッファの要求量にも関わりがあることを検証した。各スイッチのバッファの割当方法

により、ネットワークのスループット、転送遅延、スイッチの製作費用及び複雑性などに影響を与える。また、スイッチでのバッファ量を節約するため、出力共通バッファを設ける事を考察した。また、送信端末とスイッチがエンド-ツ-エンド間で輻輳制御を正確に行うためには、ネットワークからのフィードバックされる情報が基本である。その情報は、スイッチでの輻輳検出方法により決められる。また、VSVD スイッチでのレートの計算を行う時、選択すべき事項について考察した。

そして、第 6 章では、無線 ATM の課題である移動性に関しては、無線端末がセル間を移動した場合、起きるハンドオーバに対して動的なハンドオーバ方式を提案した。また、動的なハンドオーバ方式の有効性に対して評価を行った。

動的ハンドオーバ方式は、ABR トラフィックの重要な QoS パラメータであるセル損失率を極力保証し、VBR トラフィックの重要な QoS パラメータであるセル遅延とセル遅延変動を保証し、ハンドオーバ間の ATM セルの順序保証、ハンドオーバの処理時間の短縮などを目指し、設計を行った。動的ハンドオーバ方式を検証するため、接続拡大方式と部分再設定方式に対して ABR と VBR の大事な QoS パラメータを評価項目として比較シミュレーションを行った。シミュレーション結果、接続拡大方式はハンドオーバの処理時間が短くでき、セルの損失率が少なく、バッファの要求量も少ない。しかし、余分の資源(帯域)を多く使う。また、全体のパスの長さが長くなり、エンド-ツ-エンド間の遅延が大きくなる。セル損失に厳しい ABR トラフィックはこの方式が相応しいが、遅延に厳しい VBR トラフィックに対してのこの方式は相応しくないことが明らかになった。一方、部分再設定方式は PN を決めるのに時間がかかり、ハンドオーバ処理時間が長くなるため、セル損失率とバッファの要求量が多い。しかし、一回パスを再設定すれば遅延の問題はなく、資源の無駄も少ない。セル損失に厳しい ABR トラフィックには不利である。遅延に厳しく、ある程度セル損失は受容できる VBR トラフィックには相応しい方式であるが証明された。また、接続拡大方式の問題点である遅延と資源の節約のために 2 フェーズ方式を提案し、3 方式に対して比較評価を行った。シミュレーションの結果、2 フェーズ方式は接続拡大方式の長所であるセル損失率の最小化、バッファの節約を確保し、遅延と資源の面でも優れた結果を得た。しかし、VBR の重要な QoS パラメータである遅延と遅延変動の面では、部分再設定方式より劣った。従って、2 フェーズ方式と部分再設定方式をトラフィックパラメータを基に動的に適用する事により移動ユーザの QoS を保証できることを証明した。

7.2 おわりに

ATM 網におけるネットワークの資源を有効に利用するため、トラヒックの種類によってサービスクラスを規定している。そのサービスクラスの中でもっとも注目を浴びてるのが ABR であり、CBR と VBR が優先的に帯域を使い、残った帯域を各 ABR ソースが公平に利用するのが ABR の目的である。ABR サービスクラスの場合、帯域予約を行わないでデータを転送することで、ネットワークが高負荷時にセルの損失による再送の恐れがある。スイッチにおいてバッファの量を増加させることでセル損失を防ぐのができるが、バッファの増加によるスイッチの製作費用が高くなることと複雑性を招く恐れがある。

本論文で提案した有線 ATM 網での RCFC 方式は、レート制御の高負荷でのセル損失とクレジット制御の遠距離での莫大バッファ量を解決したことで、LAN と MAN、WAN に関係せず、適用できる優れた方式である。また、有無線統合 ATM 網での VSVD 方式を用い、有線区間での RCFC 方式と無線区間での融合割当方式を適用し、基地局でトラヒックパラメータのマッピングを行うことにより、セル損失や遅延、スループット、バッファなどの要求を保証できる優れた方式である。また、無線区間での移動端末のハンドオーバーの処理は、トラヒックごとに異なる方式を動的に適用することにより、移動端末の QoS が保証できると思われる。

提案方式の今後の課題としてはスイッチでの制御の複雑によるオーバーヘッドとバッファの問題を解決すべきである。しかし、最近の技術の進歩により、処理速度の向上と制御計算のオーバーヘッド間のトレードオフの関係、メモリの価格とスイッチのバッファとのトレードオフの関係を考えて設計すべきである。

謝辞

本研究の進行ならびに本論文の執筆は、神様の御加護と多くの方々の助言や御指導があつてはじめて成し遂げられたものです。

打ち合わせや相談に伺ったときに細かく丁寧に御指導いただき、また研究を違った角度から見る機会を与えてくださった齊藤忠夫教授、研究に対して積極的に取り組めるような言葉と態度で丁寧な御指導をいただいた相田仁教授、研究室のさまざまな世話をしながら、突発的ないろいろな質問に対して一緒になって考えてくださった富山忠宏助手、研究室の計算機の管理やその他多くの面倒なことをしていただき、快適な研究室生活と研究に専念できる環境を支えていただいた千葉新吾技術官に深く感謝いたします。

誰よりも暖かい声援を送ってくれた妻と娘、息子にも感謝し、韓国の三星 SDS の社長をはじめ、上司や同僚にも感謝いたします。

また、本研究を進めていく上でお世話になりました以下の方々に深く感謝いたします。

| | | | |
|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| 篠崎 恭子 女史 | 芦川 みさき 女史 | 大江 寿美子女史 | 竹内 純子 女史 |
| 中井 由美子 女史 | 池田 明子 女史 | 橋本 美保女史 | Vorawut Priwan 氏 |
| Onur Altintas 氏 | 小口 正人 氏 | 大野 隆一 氏 | 川合 史朗 氏 |
| 玉木 剛 氏 | 藤田 博文 氏 | 青木 輝勝 氏 | 金 炳錫 氏 |
| 小島 章裕 氏 | 高橋 淳一 氏 | 箕浦 真 氏 | 柳 寅太 氏 |
| 森野 博章 氏 | 林 博之 氏 | 日高 宗一郎 氏 | 寺西 祐人 氏 |
| 小早川 知昭 氏 | 高橋 由泰 氏 | 安田 忠彰 氏 | 大西 広泰 氏 |
| Udomkiat Bunworasa 氏 | Tredej Toranavikra 氏 | 山口 健一 氏 | |
| 黒沢 崇宏 氏 | 神戸 龍信 氏 | 奈川 英樹 氏 | 吉田 順一 氏 |
| 若狭 建 氏 | 中井 弘亮 氏 | 八木原 英之 氏 | Pisai Setthawong 氏 |
| Hahne Leam Minh 氏 | 香山 美奈子 氏 | 大西 隆之 氏 | 島村 英 氏 |
| 浜村 倫行 氏 | 村中 孝行 氏 | 山口 実靖 氏 | 林 輝煌 氏 |
| 小泉 博一 氏 | Thai Thach Bao 氏 | Tan Tit Keat 氏 | 野上 耕介 氏 |
| Maxime Froment 氏 | 星谷 直哉 氏 | 横山 明久 氏 | 大西 亮吉 氏 |
| 蔡 晟蔚 氏 | 瀬戸 喜巳 氏 | 中村 成貴 氏 | 舟橋 涼一 氏 |
| 前川 智則 氏 | ナリン タムアーリー 氏 | 研究員の皆様 | 卒論生の皆様 |
| 電気・電子情報・電子工学科教官の皆様 | | 電気・電子情報・電子工学科事務室の皆様 | |
| 電気・電子情報・電子工学科図書室の皆様 | | | |

1999 年 12 月 17 日

Kwon Yongduk.

参考文献

- [1] Anthony Acampora. "Wireless ATM: A Perspective on Issues and Prospects". *IEEE Personal Commun.*, Vol. 3, No. 4, pp. 8-17, August 1996.
- [2] Anthony S. Acampora and Mahmoud Naghshineh. "Control and Quality-of-Service Provisioning in High-Speed Microcellular Networks". *IEEE Personal Commun.*, Vol. 1, No. Second Quarter, pp. 36-43, 1994.
- [3] Arup Acharya, Jun Li, furquan Ansari, and Dipankar Raychaudhuri. "Mobility Support for IP over Wireless ATM". *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 36, No. 4, pp. 84-88, April 1998.
- [4] Arup Acharya, Jun Li, Bala Rajagopalan, and Dipankar Raychaudhuri. "Mobility Management in Wireless ATM Networks". *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 35, No. 11, pp. 100-109, November 1997.
- [5] Prathima Agrawal, Eoin Hyden, Paul Krzyzanowski, Partho Mishra, Mani B. Srivastava, and John A. Trotter. "SWAN: A Mobile Multimedia Wireless Network". *IEEE Personal Commun.*, Vol. 3, No. 2, pp. 18-33, April 1996.
- [6] Ian F. Akyildiz and Keith L. Bernhardt. "ATM Local Area Networks: A Survey of Requirements, Architectures, and Standards". *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 35, No. 7, pp. 72-80, July 1997.
- [7] A. Alwan, R. Bagrodia, N. Bambos, M. Gerla, L. Kleinrock, J. Short, and J. Villasenor. "Adaptive Mobile Multimedia Networks". *IEEE Personal Commun.*, Vol. 3, No. 2, pp. 34-51, April 1996.
- [8] Noach Amitay and Larry J. Greenstein. "Resource Auction Multiple Access(RAMA) in the Cellular Environment". *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 43, No. 4, pp. 1101-1111, November 1994.
- [9] Heinrich Armbruster. "The Flexibility of ATM: Supporting Future Multimedia and Mobile Communications". *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 33, No. 2, pp. 76-84, February 1995.
- [10] ATM Forum. *Traffic Management Specification Ver.4.0*, February 1996.
- [11] Ender Ayanoglu, Kai Y. Eng, and Mark J. Karol. "Wireless ATM: Limits, Challenges and Proposals". *IEEE Personal Commun.*, Vol. 3, No. 4, pp. 18-34, August 1996.

- [12] A. Bakre and B. R. Badrinath. "I-TCP: Indirect TCP for Mobile Hosts". *Rutger Univ. Tech. Report DCS-TR-314*, October 1994.
- [13] H. Balakrishnan, S. Seshan, E. Amir, and R. H. Katz. "Improving TCP/IP Performance over Wireless Networks". *Proc. ACM Mobicom'95*, November 1995.
- [14] Flavio Bonomi and Kerry W. Fendick. "The Rate-Based Flow Control Framework for the Available Bit Rate ATM Service". *IEEE Network Mag.*, Vol. 9, No. 2, pp. 25-39, March 1995.
- [15] Kevin Brown and Suresh Singh. "A Network Architecture for Mobile Computing". *Proc. IEEE Infocom'96*, March 1996.
- [16] Stephen F. Bush. "Rapidly Deployable Radio Networks(RDRN) Network Architecture". *The Univ. of Kansas, TISL Tech. Report*, August 1995.
- [17] Ramon Caceres and Liviu Iftode. "Improving the Performance of Reliable Transport Protocols in Mobile Computing Environments". *IEEE J. Select. Areas Commun.*, June 1995.
- [18] K.C. Chua, T.C. Wong, and J.W. Mark. "Design of a Cellular Wireless ATM Access Network". *Proc. IEEE PIMRC'96*, pp. 618-622, October 1996.
- [19] Hyunkyung Chung. "The Combining ATM with CDMA Technology for PCS". *Proc. ITU Telecom'95*, pp. 193-197, October 1995.
- [20] Douglas E. Comer, John C. Lin, and Vincent F. Russo. "An Architecture For A Campus-Scale Wireless Mobile Internet". *Purdue Tech. Report*, Vol. CSD-TR 95, No. 058, 1995.
- [21] Lou Dellaverson and Wendy Dellaverson. "Distributed Channel Access on Wireless ATM Links". *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 35, No. 11, pp. 110-113, November 1997.
- [22] Antonio DeSimone and Sanjiv Nanda. "Wireless data: Systems, Standards, Services". *ACM Wireless Network*, Vol. 1, No. 3, pp. 241-253, October 1995.
- [23] Wales Kin Fai and Danny H.T. Tsang. "Flow Control for ABR Traffic in ATM Networks using a Two-Level Scheme". *Proc. ICC'97*, August 1997.
- [24] Vijay K. Garg and Laura Huntington. "Application of Adaptive Array Antenna to a TDMA Cellular/PCS System". *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 35, No. 10, pp. 148-152, October 1997.
- [25] Damian Gilmurray, Alan Jones, Oliver Mason, John Naylor, and John Porter. "Wireless ATM Radio Access Layer Requirements". *ATM Forum WATM-WG*, Vol. 96, No. 1057, August 1996.
- [26] Timothy A. Gonsalves and Fouad A. Tobagi. "Comparative Performance of Voice/Data Local Area Networks". *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 7, pp. 657-665, 1989.

- [27] H.T.Kung and Robert Morris. "Credit-Based Flow Control for ATM Networks". *IEEE Network Mag.*, Vol. 9, No. 2, pp. 40-47, March 1995.
- [28] Internet Draft - work in progress. *Applicability Statement for IP Mobility Support*, May 1996.
- [29] ITU-TSS Recommendation I.371. *Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN*, July 1995.
- [30] Bijan Jabbari, Giovanni Colombo, Akihisa Nakajima, and Jayant Kulkarni. "Network Issues for Wireless Communications". *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 33, No. 1, pp. 88-98, January 1995.
- [31] Raj Jain. "Congestion Control and Traffic Management in ATM Networks: Recent Advanced and a Survey". *Computer Networks and ISDN Systems*, Vol. 28, No. 13, pp. 1723-1738, October 1996.
- [32] Shengming Jiang, Danny H.K. Tsang, and Sanjay Gupta. "On Architectures for Broadband Wireless Systems". *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 35, No. 10, pp. 132-140, October 1997.
- [33] Jae-Il Jung. "Quality of Service in Telecommunications Part I: Proposition of a QoS Framework and Its Application to B-ISDN". *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 34, No. 8, pp. 108-111, August 1996.
- [34] Jae-Il Jung. "Quality of Service in Telecommunications Part II: Translation of QoS Parameters into ATM Performance Parameters in B-ISDN". *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 34, No. 8, pp. 112-117, August 1996.
- [35] Gunnar Karlsson. "Asynchronous Transfer of Video". *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 34, No. 8, pp. 118-126, August 1996.
- [36] Mark J. Karol, Zhao Liu, and Kai Y. Eng. "An Efficient Demand-Assignment Multiple Access Protocol for Wireless Packet(ATM) Networks". *ACM Wireless Network*, Vol. 1, No. 3, pp. 267-279, October 1995.
- [37] Nail Kavak. "Data Communication in ATM Networks". *IEEE Network Mag.*, Vol. 9, No. 3, pp. 28-37, May 1995.
- [38] Byung-Suk Kim, Hitoshi Aida, and Tadao Saito. "FADM: A New Access Control Method for Distributed Access Subscriber Network". *Proc. ICC'95*, August 1995.
- [39] J. G. Kim and I. Widjaja. "PRMA/DA: A New Media Access Control Protocol for Wireless ATM". *Proc. ICC'96*, pp. 1-19, June 1996.
- [40] K.K.ramakrishnan and Peter Newman. "Integration of Rate and Credit Schemes for ATM Flow Control". *IEEE Network Mag.*, Vol. 9, No. 2, pp. 49-56, March 1995.

- [41] Osama Kubbar and Hussein T. Mouftah. "Multiple Access Control Protocols for Wireless ATM: Problems Definition and Design Objectives". *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 35, No. 11, pp. 93-99, November 1997.
- [42] Qin Li and Zheng Wang. "A Comparison Study of Congestion Control for ABR Service in ATM Networks". *Department of Computer Science, University College London Tech. Report*, 1996.
- [43] Wenjun Luo and Magda El Zarki. "Quality Control for VBR Video over ATM Networks". *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 15, No. 6, pp. 1029-1039, August 1997.
- [44] Renato Lo Cigno Macro Ajmone Marsan, Carla Faviana Chiasserini and Maurizio Munafo. Local and global handovers for mobility management in wireless atm networks. *IEEE Personal Commun.*, 1997.
- [45] Andreas Magnussen. "Resource Control in A Multi Services ATM Network". *Proc. ITU Telecom'95*, pp. 487-491, October 1995.
- [46] Ashraf S. Mahmoud, David D. Falconer, and Samy A. Mahmoud. "A Multiple Access Scheme for Wireless Access to a Broadband ATM LAN Based on Polling and Sectorized Antennas". *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 14, No. 4, pp. 596-608, May 1996.
- [47] Bellcore Mark W. Garrett. "A Service Architecture for ATM: From Application to Scheduling". *IEEE Network Mag.*, Vol. 10, No. 3, pp. 6-14, May 1996.
- [48] Marco Ajmone Marsan, Carla-Fabiana Chiasserini, Renato Lo Cigno, Maurizio Munafo, and Andrea Fumagalli. "Local and Global Handovers for Mobility Management in Wireless ATM Networks". *IEEE Personal Commun.*, Vol. 4, No. 5, pp. 16-24, October 1997.
- [49] Li Fung Chang Gregory P. Pollini Matthew Cheng, Subhashini Rajagopalan and Melbourne Barton. Pcs mobility support over fixed atm networks. *IEEE Commun. Mag.*, 1997.
- [50] David E. McDysan and Darren L. Spohn. *ATM - Theory and Application*. McGraw-Hill, 1995.
- [51] M. Hluchy and N. Yin. "On closed-loop rate control for ATM Network". *Proc. IEEE Infocom'94*, March 1994.
- [52] Robert Morris and H.T. Kung. "Impact of ATM Switching and Flow Control on TCP Performance: Measurement on an Experimental Switch". *Proc. IEEE Globecom'95*, November 1995.
- [53] Yuji Nakayama and Satoru Aikawa. "Cell Discard and TDMA Synchronization Using FEC in Wireless ATM Systems". *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 15, No. 1, pp. 29-34, January 1997.

- [54] Anthony Noerpel and Yi Bing Lin. Handover management for a pcs network. *IEEE Personal Commun.*, 1997.
- [55] H. Ohnishi. "ATM Ring Protocol and Performance". *Proc. ICC'89*, June 1989.
- [56] Kazuyasu Okada. "156Mb/s SS-TDMA Satellite Communications System". *Proc. ITU Telecom'95*, pp. 589-593, October 1995.
- [57] Craig Partridge. *Gigabit Networking*. Addison-Wesley, 1994.
- [58] Nikos Passas, Sarantis Paskalis, Dimitra Vali, and Lazaros Merakos. "Quality-of-Service-Oriented Medium Access Control for Wireless ATM Networks". *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 35, No. 11, pp. 42-50, November 1997.
- [59] Dietmar Petras, Andreas Hettich, and Andreas Kramling. "Performance Evaluation of a Logical Link Control Protocol for an ATM Air Interface". *Proc. IEEE PIMRC'96*, pp. 908-914, October 1996.
- [60] Dietmar Petras, Andreas Kramling, and Andreas Hettich. "MAC Protocol for Wireless ATM: Contention Free Versus Contention Based Transmission of Reservation Requests". *Proc. IEEE PIMRC'96*, pp. 903-907, October 1996.
- [61] P.Newman. "Traffic Management for ATM Local Area Network". *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 32, No. 8, pp. 44-50, August 1994.
- [62] Shiv Kalyanarman Raj Jain and Ram Viswanathan. "The OSU Scheme for Congestion Avoidance in ATM Networks Using Explicit Rate Indication". *Department of Computer and Information Science, The Ohio State University Tech. Report*, 1996.
- [63] Dipankar Raychaudhuri. "Wireless ATM Networks: Architecture, System Design and Prototyping". *IEEE Personal Commun.*, Vol. 3, No. 4, pp. 42-49, August 1996.
- [64] Dipankar Raychaudhuri, Leslie J. French, Rober J. Siracusa, Subir K. Biswas, Ruixi Yuan, Parthasarathy Narasimhan, and Cesar A. Johnston. "WATMnet: A Prototype Wireless ATM System for Multimedia Personal Communication". *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 15, No. 1, pp. 83-95, January 1997.
- [65] Dipankar Raychaudhuri and Newman D. Wilson. "ATM-Based Transport Architecture for Multiservices Wireless Personal Communication Networks". *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 12, No. 8, pp. 1401-1414, October 1994.
- [66] Bong K. Ryu and Anwar Elwalid. "The Importance of Long-Range Dependence of VBR Video Traffic in ATM Traffic Engineering: Myths and Realities". *ACM Comput. Commun. Review*, Vol. 26, No. 4, pp. 3-14, August 1996.

- [67] Jaime Sanchez, Ralph Martinez, and Michael W. Marcellin. "A Survey of MAC Protocols Proposed for Wireless ATM". *IEEE Network Mag.*, Vol. 11, No. 6, pp. 52-62, 1997.
- [68] Mischa Schwartz. "Network Management and Control Issues in Multimedia Wireless Networks". *IEEE Personal Commun.*, pp. 8-16, June 1995.
- [69] Krishanu Seal and Suresh Singh. "Loss Profiles: A Quality of Service Measure in Mobile Computing". *ACM Wireless Network*, Vol. 2, No. 1, pp. 45-61, March 1996.
- [70] Joel Short, Rajive Bagrodia, and Leonard Kleinrock. "Mobile Wireless Network System Simulation". *ACM Wireless Network*, Vol. 1, No. 3, pp. 451-467, October 1995.
- [71] Kai-Yeung Siu and Raj Jain. "A Brief Overview of ATM: Protocol Layers, LAN Emulation, and Traffic Management". *ACM Comput. Commun. Review*, Vol. 25, No. 2, pp. 6-20, April 1995.
- [72] Bernard Sklar. *Digital Communications - Fundamentals and Applications*. Prentice Hall, 1988.
- [73] Ralf Steinmetz. "Human Perception of Jitter and Media Synchronization". *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 14, No. 1, pp. 61-72, January 1996.
- [74] W. Richard Stevens. *TCP/IP Illustrated, Volume 1*. Addison-Wesley, 1994.
- [75] Burkhard Stiller. "A Survey of UNI Signaling Systems and Protocols for ATM Networks". *ACM Comput. Commun. Review*, Vol. 25, No. 2, pp. 21-33, April 1995.
- [76] Andrew S. Tanenbaum. *Computer Networks*. Prentice Hall, 1989.
- [77] M. Veeraraghavan, T. F. La Porta, and R. Ramjee. "A Distributed Control Strategy for Wireless ATM Networks". *ACM Wireless Network*, Vol. 1, No. 3, pp. 323-339, October 1995.
- [78] Bernhard Walke, Dietmar Petras, and Dieter Plassmann. "Wireless ATM: Air Interface and Network Protocols of the Mobile Broadband System". *IEEE Personal Commun.*, Vol. 3, No. 4, pp. 50-56, August 1996.
- [79] Markus Werner, Cecilia Delucchi, Hans-Jorg Vogel, Gerard Maral, and Jean-Jacques De Ridder. "ATM-Based Routing in LEO/MEO Satellite Networks with Intersatellite Links". *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 15, No. 1, pp. 69-82, January 1997.
- [80] Miae Woo, Nagabhushana Prabhu, and Arif Ghafoor. "Dynamic Resource Allocation for Multimedia Services in Mobile Communication Environments". *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 13, No. 5, pp. 913-922, June 1995.

- [81] L. Benmohamed Y. Chang, N. Golmie and D. Siu. "Simulation Study of the New Rate-Based EPRCA Traffic Management Mechanism". *AF-TM*, September 1994.
- [82] Jian Zhang, Michael R. Frater, John F. Arnold, and Terence M. Percival. "MPEG 2 Video Services for Wireless ATM Networks". *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 15, No. 1, pp. 119-128, January 1997.
- [83] 松江英明, 梅比良正弘, 真部利裕, 佐藤明雄. "ATM ワイヤレスアクセス試作装置の設計と構成". *NTT R&D*, Vol. 47, No. 6, pp. 657-662, June 1998.
- [84] 玉木剛, 相田仁, 齊藤忠夫. "マルチキャリア TDMA 移動通信における多元トラヒックチャネル割り当て法 Fraction 方式の検討". 信学技報, Vol. RCS95-69, , September 1995.
- [85] 井上真杉. "メディア統合無線アクセスアーキテクチャ". 東京大学博士学位論文, 1996.
- [86] 梅比良正弘, 松江英明, 村瀬武弘. "ATM ワイヤレスアクセスシステムの開発と今後の展開". *NTT R&D*, Vol. 47, No. 6, pp. 649-656, June 1998.
- [87] 齊藤忠夫. 移動通信ハンドブック. オーム社, 1995.
- [88] 相河聡, 中山雄二, 黒崎聡, 平木真人. "ATM ワイヤレスアクセス試作装置 TDMA・アンテナ制御技術". *NTT R&D*, Vol. 47, No. 6, pp. 669-674, June 1998.
- [89] 富永英義. B-ISDN 技術. オーム社, 1994.
- [90] 石川宏富永英義. 標準 ATM 教科書. アスキー出版局, 1995.
- [91] 権容徳. "ATM 網におけるレートとクレジットを融合した ABR トラヒック制御". 東京大学修士論文, 1997.
- [92] 金炳錫. "無線 ATM LAN における無線リンクの動的割当に関する研究". 東京大学博士学位論文, 1999.

発表文献

学会誌論文

- (1) 権容徳, 相田仁, 齊藤忠夫. “ATM おける ABR トラヒック制御: RCFC”. 電子情報通信学会誌 Nov., 1999. (投稿中).
- (2) 権容徳, 相田仁, 齊藤忠夫. “無線 ATM おける動的ハンドオーバ方式”. 電子情報通信学会誌 Jan., 2000. (投稿中).
- (3) 権容徳, 相田仁, 齊藤忠夫. “有無線 ATM おける VSVD 方式を適用した ABR トラヒック制御”. 電子情報通信学会誌 Feb., 2000. (投稿予定).

国際会議

- (4) Yong-duk KWON, Byung-suk KIM, Hitoshi AIDA, and Tadao SAITO, “Performance Evaluation of Dynamic Handover Scheme for Wireless ATM Networks” ICC’99, Sep. 14-16, 1999, Tokyo., Japan.
- (5) Intae Ryoo, Yongduk Kwon, Hitoshi Aida, and Tadao Saito, “A Study on Rate and Credit Flow Control Using Real-Time Integrated Traffic Management Scheme for ABR Services” PACRIM’97, Aug. 20-22, 1997, Victoria, B.C., Canada

国内大会

- (6) 権容徳, 柳仁太, 相田仁, 齊藤忠夫, “ATM 網におけるレートとクレジットを融合した ABR トラヒック制御” 電子情報通信学会秋季大会 B-341, Sep., 1996.
- (7) 権容徳, 柳仁太, 相田仁, 齊藤忠夫, “ABR 輻輳制御におけるレートとクレジットの融合方式: RCFC” 電子情報通信学会春季大会, Mar., 1997.
- (8) 権容徳, 金炳錫, 相田仁, 齊藤忠夫, “無線 ATM における動的ハンドオーバ方式に関する検討” 電子情報通信学会秋季大会 B-5-228, Sep., 1998.
- (9) 権容徳, 金炳錫, 相田仁, 齊藤忠夫, “無線 ATM におけるハンドオーバ方式の検討” 情報処理学会第 57 回全国大会 3-415, Sep., 1998.
- (10) 金炳錫, 権容徳, 相田仁, 齊藤忠夫, “無線 ATM システムにおける動的スロット割り当て方式” 情報処理学会第 57 回全国大会 3-413, Sep., 1998.

- (11) 権容徳, 金炳錫, 相田仁, 齊藤忠夫, “無線 ATM における動的ハンドオーバ方式の性能評価” 電子情報通信学会春季大会 B-5-246, Mar., 1999.
- (12) 権容徳, 金炳錫, 相田仁, 齊藤忠夫, “無線 ATM における ABR トラヒックの動的割当方式” 電子情報通信学会秋季大会 B-5-159, Sep., 1999.
- (13) 権容徳, 相田仁, 齊藤忠夫, “有無線統合 ATM における ABR トラヒック制御” 電子情報通信学会春季大会, Jan., 2000.(投稿中)
- (14) 三上学, 権容徳, 森野博章, 相田仁, 齊藤忠夫, “P-MP FWA システムにおける動的優先度に基づいた無線リソース割当方式” 電子情報通信学会春季大会, Jan., 2000.(投稿中)

その他

- (15) 権容徳, 相田仁, 齊藤忠夫, “無線 ATM における ABR トラヒック制御” YRP 移動体通信産学官交流シンポジウム, June, 1999.