The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	ユーザセントリック無線リソースマネジメントを実現する電波エージェントに関する研究
Author(s)	蓑田, 佑紀
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2148
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

ユーザセントリック無線リソースマネジメントを実現する電波エージェントに関する研究

蓑田　佑紀

大阪大学大学院 工学研究科 通信工学専攻

2006年 1月

謝辞

本論文は，大阪大学大学院工学研究科教授小牧省三博士の御指導の下に，筆者が大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻在学中に行った研究成果をまとめたものである．本研究の遂行にあたり，懇篤なる御教示，御鞭撻を賜った小牧省三教授に衷心より謝恩の意を表する次第である．

本論文をまとめるに際し，大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻教授三瓶政一博士，大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻助教授塚本勝俊博士に懇切丁寧なる御教示，御助言を賜った．ここに深く感謝の意を表する次第である．

大阪大学大学院在学中より通信工学全般および本研究に関して御教示，御助言を賜った大阪大学大学院工学研究科教授北山研一博士，同馬場口登博士，同河崎善一郎博士，同滝根哲哉博士，同井上恭博士，同元田浩博士，同溝口理一郎博士をはじめとする大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻の諸先生方，広島国際大学教授森永規彦博士（大阪大学大学院工学研究科名誉教授），中部大学教授塩澤俊之博士（大阪大学大学院工学研究科名誉教授），元大阪大学大学院工学研究科教授前田肇博士（故人）に厚く感謝申し上げる．

また，常日頃より熱心な御討論と貴重な御助言，御好意溢れる御支援を賜った大阪大学大学院工学研究科助手東野武史博士に心より感謝申し上げる．

また，研究の途上，有益な御助言と御協力，御激励を頂いた新熊亮一博士（現京都大学），梶孝規氏（現三菱電機），川口晃平氏，植田泰輔氏，田嶋克行氏，飯田有慈氏をはじめとする大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻小牧研究室の諸兄に感謝申し上げる．

最後に，本研究遂行に際し，支え励ましてくれている家族ならびに関連の諸氏に感謝する所存である．

内容梗概

本論文では，ユーザの状況や環境を把握し，それぞれのユーザに最適な無線リソースを割り当てることでユーザのサービスに対する満足度を向上させる，ユーザセントリック無線リソースマネジメントを実現する電波エージェントに関する研究成果をまとめている．以下，第２章から第７章までの概要を述べる．

第２章では，本研究で検討しているユーザセントリック無線リソースマネジメントの意義について説明を行い，無線基地局における適応的な周波数割当を実現する無線周波数リソースエージェントと，異種無線ネットワークにおける無線ネットワークの適応的選択を実現する無線ネットワークエージェントについてそれぞれ概説する．

第３章では，ユーザモビリティに応じた無線リソースマネジメントを提案する．本無線周波数リソースエージェントはスポット無線アクセスにおけるユーザの滞在時間に応じて変調方式を制御することで，滞在時間の小さいユーザの受信データ量を改善できる．本章では計算機シミュレーションを用いて，フェージング通信路におけるサービス品質と受信データ量特性について評価を行い，評価結果から本システムの有効性を示す．

第４章では，ユーザモビリティとトラヒッククラスに応じた無線リソースマネジメントを提案する．本システムはビデオストリームの種類とユーザの移動状況に応じたサービスクラスを設定し，それに応じた無線リソースの割当を第２章で述べる無線周波数リソースエージェントが行うことで，ユーザの移動状況に関わらず，リアルタイム性の高いトラヒックのサービス品質を損なわずに，リアルタイム性の低いトラヒックのサービス品質を改善することが可能となる．本章では計算機シミュレーションを用いて，フェージング環境におけるリアルタイムトラヒックに対して遅延とビットレートの評価を行い，非リアルタイムトラヒックに対して受信データ量特性について評価を行うことで，評価結果から提案方式の有効性を示す．

第５章では，ユーザ効用を考慮した無線リソースマネジメント方式を提案する．本システムは第２章で述べる無線周波数リソースエージェントがユーザ満足度を評価する指標である効用関数を用いて無線リソースマネジメントを行うことで，サー

ビスに対して満足していると感じるユーザ数を向上できる．本章では計算機シミュレーションを用いて，WWW サービスにおけるユーザ満足度と待ち時間特性について評価を行い，評価結果から本システムの有効性を示す．

第 6 章では，異種無線ネットワークにおける SIP (Session Initiation Protocol) を利用した無線アクセスネットワーク多重方式を提案する．本システムは多様な無線アクセスネットワークによって構築される異種無線ネットワーク環境において，第 2 章で述べる無線ネットワークエージェントを端末に実装することで，端末における異種無線アクセスネットワークの同時利用を実現するものであり，複数の異種無線アクセスネットワークを同時に利用可能であることでユーザの周波数利用効率を改善できる．本章では実験を用いて，スループット特性に関する評価を行い，評価結果から本システムの有効性を示す．

第 7 章は結論であり，本研究で得られた成果について総括を行う．

目 次

第 1 章 序論 **1**

1.1 情報通信社会における無線通信技術 1

1.1.1 セルラー通信システム 2

1.1.2 無線 LAN 3

1.1.3 無線 MAN や ITS 3

1.1.4 コンバージェンス技術 4

1.2 研究目的 6

1.3 論文構成 9

第 2 章 ユーザセントリック無線リソースマネジメント **11**

2.1 序言 11

2.2 ユーザセントリック無線リソースマネジメントの概要 11

2.3 電波エージェントによる実現 13

2.3.1 無線周波数リソースエージェント 15

2.3.2 無線ネットワークエージェント 17

2.4 結言 18

第 3 章 滞在時間を考慮した無線周波数リソースエージェント **19**

3.1 序言 19

3.2 システム構成 20

3.3 リソースマネジメントアルゴリズム 22

3.3.1 テキストと静止画データへの適用例 23

3.4 シミュレーション諸元 26

3.5 滞在時間に対する受信成功確率特性 27

3.5.1 全データに対する受信成功確率 27

3.5.2 テキストデータに対する受信成功確率 29

3.6 平均受信 CNR に対する受信成功確率特性 30

3.7 平均受信 CNR に対する受信データ量特性 32
3.8 結言 33

第 4 章 モビリティとトラヒッククラスを考慮した無線周波数リソースエージェント 35

4.1 序言 35
4.2 システム構成 35
4.3 リソースマネジメントアルゴリズム 37
4.3.1 モビリティとトラヒッククラスに応じたサービスクラス . . 37
4.3.2 リソースマネジメントアルゴリズム 39
4.4 シミュレーション諸元 41
4.5 非リアルタイムストリームのビットレートに対するサービス品質特性 42
4.6 ユーザ移動やトラヒック比率に対するサービス品質特性 46
4.7 結言 49

第 5 章 ユーザ効用を考慮した無線周波数リソースエージェント 51

5.1 序言 51
5.2 ユーザ効用 52
5.2.1 ユーザ効用の定義 52
5.2.2 待ち時間に対するユーザ効用 52
5.3 ユーザ効用を考慮した無線リソースマネジメント 54
5.3.1 システム構成 54
5.3.2 リソースマネジメントアルゴリズム 56
5.4 シミュレーション諸元 58
5.5 ユーザ効用特性 59
5.5.1 ユーザ効用確率分布 59
5.5.2 要求データサイズに対するユーザ効用特性 61
5.6 要求データサイズに対する待ち時間特性 62
5.7 結言 63

第 6 章 異種無線ネットワークにおける SIP を利用した無線ネットワークエージェント 65

6.1 序言 65

6.2 システム構成 66

6.3 異種無線ネットワーク多重実験 72

6.4 実験によるスループット特性 73

6.5 RAN 適応割当アルゴリズムにおける割当基準に関する考察 77

6.6 結言 81

第 7 章 結論 83

参考文献 87

本論文に関する原著論文 97

A 学会論文 97

B 国際会議発表 97

C 国内口頭発表 98

D 国内研究会発表 99

図目次

2.1 ユーザセントリック無線リソースマネジメントの概念 11
2.2 電波エージェントの概念 13
2.3 従来の階層モデル 14
2.4 電波エージェントの階層モデル 15
2.5 無線周波数リソースエージェントのレイヤ構造 16
2.6 無線ネットワークエージェントのレイヤ構造 17
3.1 スポット路車間通信システムのシステムモデル 21
3.2 システム構成図 21
3.3 提案方式のフローチャート 24
3.4 提案アルゴリズムの適用例 25
3.5 滞在時間に対する全データ受信成功確率特性 ($S = 1500$[KBytes]) . . 28
3.6 滞在時間に対するテキストデータ受信成功確率特性 ($S = 1500$[KBytes]) 31
3.7 平均受信 CNR に対する受信成功確率特性 ($S = 1500$[KBytes]) . . . 32
3.8 平均受信 CNR に対する受信データ量特性 ($S = 1500$[KBytes]) . . . 33
4.1 システム構成図 36
4.2 リソースマネジメントアルゴリズムのフローチャート 41
4.3 シミュレーションモデル 42
4.4 非リアルタイムストリーム R_2 に対する Class 2 と Class 3 ユーザの受信データ量特性 ($R_1 = 64$Kbps). 45
4.5 リアルタイムストリーム R_2 に対する Class 0 と Class 1 ユーザのスループット特性 ($R_1 = 64$Kbps). 46
4.6 P_m と P_r に対する Class 2, Class 3 ユーザの受信データ量特性 . . . 47
4.7 P_m と P_r に対する Class 0, Class 1 ユーザのスループット特性 . . . 48
5.1 二重刺激劣化尺度法における 5 段階劣化尺度 53
5.2 待ち時間に対するユーザ効用 53
5.3 システム構成図 55

5.4 AWGN 環境下における各伝送モードの周波数利用効率 57
5.5 シミュレーションモデル 59
5.6 ユーザ効用の累積分布特性 61
5.7 要求データサイズに対するユーザ効用 62
5.8 要求データサイズに対する待ち時間特性 63
6.1 ネットワーク構成図 67
6.2 システム構成図 68
6.3 無線ネットワークエージェントの構成 69
6.4 Contact URI と無線インタフェースの対応関係 70
6.5 提案方式のフローチャート 71
6.6 実験構成図 72
6.7 各サービスに対するスループット特性 (R_1=5Mbps) 74
6.8 セッション 1 のビットレート R_1 に対するスループット特性 75
6.9 セッション 1 のビットレート R_1 に対するセッション 1 とセッション 2 の合計スループット特性 76
6.10 シナリオ 1 の場合の RAN 適応割当アルゴリズム 79
6.11 シナリオ 1 における RAN 適応割当の基準 (UDP 重視シナリオ) . . 80
6.12 シナリオ 2 における RAN 適応割当の基準（ファイル転送重視シナリオ） 81

表目次

3.1 シミュレーション諸元 27
4.1 ユーザ移動状態 m 37
4.2 ストリームデータに対するトラヒックカテゴリ γ 37
4.3 サービスクラス S_c の分類 38
4.4 シミュレーション諸元 43
5.1 無線伝送モード 55
5.2 シミュレーション諸元 60
6.1 SIP セッションに対する無線インタフェース割当例 69
6.2 実験諸元 73
6.3 RAN 割当ポリシ 73

第1章　序論

1.1　情報通信社会における無線通信技術

現代の情報通信社会においてインターネットは既に欠かせないメディアとなっている．日本のインターネット利用者数は2005年1月現在で推定7948万人であり，この5年間で約5000万人増加するという急速なペースで普及している [1]．インターネットを利用すると，ネットワークを利用するサービスを IP (Internet Protocol) ネットワークという共通基盤の上に低コストでかつ容易に実現可能であるため，多彩なサービスが提供されるようになっている．例えば，WWW (World Wide Web) を利用した情報発信や検索サービス，電子メール等のサービスだけでなく，今後は電子決済や VoIP (Voice over IP) を利用した音声サービス，映像配信，P2P (Peer to Peer) アプリケーションといった多くのサービスがインターネット上に集約する形で実現されると考えられる．

インターネット普及の背景として，インターネットの基本設計が有するオープン性を指摘することができる [2]．プロトコルである TCP/IP[3] は既存のアプリケーションだけでなく，もともと想定されていなかった将来のアプリケーションも自由に利用可能であるよう設計されている [4]．さらに，インターネットに関する標準は RFC (Request for Comments) として公開されているため，誰でもインターネットを利用したアプリケーションを作成可能である．

このようなインターネットの急速な普及によって，ユーザはいつでも，どこでも，誰とでもコミュニケーションを取りたいというコミュニケーションに対する根源的な欲求を満たすことが可能である．しかし，インターネットを利用するために当初は特定の場所でケーブルにつながった固定端末を利用する必要があったため，ユーザは場所や時間といった観点で制約を受けていた．

近年急速に発達しつつある無線通信技術はケーブルの制約無しに自由な時間や場所で通信を行うことが可能であり，IP 網へのアクセス技術として非常に注目されている．現在の無線通信技術は通信エリアのサイズから携帯電話に代表されるセルラー通信システムと無線 LAN (Local Area Networks), 無線 MAN (Metropolitan

Area Networks) の大きく 3 つに分類することが出来る.

1.1.1 セルラー通信システム

無線通信サービスの中で現在最も普及しているのが携帯電話であり，日本における利用者数は 2005 年 1 月現在で 8700 万人である [1]. 現在利用されている携帯電話は主に PDC (Personal Digital Cellular) と呼ばれる第 2 世代のシステムと IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000) と呼ばれる第 3 世代のシステムである.

800MHz 帯及び 1.5GHz 帯を利用する PDC は回線交換時で 9.6kbps, パケット通信時で 28.8kbps と低速であり，音声品質も高いとは言い難いが，セル半径が数 km と広いため常時利用が可能であるという特徴がある. また，当初は音声通話の利用が中心であったが，1999 年に i モード [5] に代表されるブラウザフォンサービスが開始され [6]，電子メールや cHTML (compact Hyper Text Markup Language) を利用した簡易版の Web 閲覧といったインターネットとの接続性を有するサービスが利用可能となっており，2005 年 1 月現在の日本での携帯電話を利用したインターネット利用者数は約 7500 万人と広く利用されるようになっている [7].

第 3 世代の移動通信システムである IMT-2000 は ITU-R (International Telecommunication Union - Radiocommunication sector)[8] にて初の世界共通規格として標準化が行われたが最終的に単一の方式に統一されず，わが国でも WCDMA (Wideband- Code Division Multiple Access) と cdma2000 の 2 方式を利用したサービスが開始されている [9][10]. IMT-2000 では，提供される最大ユーザレートが移動環境で 144kbps，歩行環境で 384kbps，準静止環境で 2Mbps と規定されており，PDC と比較して数倍〜数十倍の伝送速度となる. 日本では IMT-2000 のサービス開始は 2001 年であったが，2005 年 1 月段階での利用者数が約 3000 万人であり，特にこの 2 年間で約 4 倍に増加していることからも分かるように，PDC からの移行が急速に進んでいる [7]. さらに，W-CDMA における下りリンクのさらなる高速化を実現する HSDPA (High-Speed Down link Packet Access) や cdma2000 の高機能版に相当する 1xEV-DO (Evolution of 1X mode - Data Only) 1xEV-DV (Evolution of 1X mode - Data and Voice) が検討されており，今後の展開が期待されている [9]-[11].

1.1.2 無線 LAN

大学やオフィスなどの構内を対象とした無線通信システムとして IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) 802.11 ワーキンググループで標準化された無線 LAN がある．無線 LAN はイーサネット [12] で構築された LAN の配線を無線化するものであり，現行の規格で最大 54[Mbps] とセルラー通信システムと比べて高速な伝送速度を達成可能である．現在製品として利用されている無線 LAN の規格は 1999 年に標準化が完了した IEEE 802.11a,b や 2001 年に標準化が完了した IEEE 802.11g に準拠している [13][14]．IEEE 802.11b[15] は ISM (Industrial Scientific and Medical) バンドの 1 つである 2.4GHz 帯を利用して最大 11Mbps の伝送速度を達成することが可能である．IEEE 802.11a[16] は 1997 年に米国 FCC (Federal Communications Commission) によって開放された 5GHz 帯を利用し，DAB (Digital Audio Broadcasting) や DVB (Digital Video Broadcasting) といったディジタル放送 [17][18] でも利用されている OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)[19] を利用して最大 54[Mbps] の伝速速度を達成可能である．また，2003 年に 2.4GHz 帯を用いて IEEE 802.11b と下位互換を保証しつつ，IEEE 802.11a と同じ伝送速度を達成する IEEE 802.11g が標準化されている．

このように，無線 LAN はセルラー通信システムと比べて出力が小さくサービスエリアが狭いが高速な伝送速度が達成可能であるという特徴がある．さらに，免許不要の 2.4GHz 帯や 5GHz 帯を利用しているため，大学やオフィスだけでなく家庭内での動画像伝送といったホームネットワーキングや，空港やカフェのような公共スペースで利用可能なホットスポットサービス [20] のように適用範囲が年々広がっている．

1.1.3 無線 MAN や ITS

急速に発展を遂げた携帯電話や無線 LAN といった無線通信システムと補完関係の位置付けにある無線通信システムとして，IEEE 802.16 で標準化されている無線 MAN がある．また，道路交通への適用に特化した ITS (Intelligent Transportation System) [21][22] といった無線通信システムもある．

IEEE 802.16 はインターネットアクセスにおけるラスト 1 マイルとよばれる基地

局から加入者局への無線アクセスを提供し，従来の ADSL (Asynchronous Digital Subscriber Line)，FTTH (Fiber to the Home)，CATV (Cable TV) の代替として，広範囲に低コストな無線アクセスを提供することを目的としている [11][23]．IEEE 802.16 の中で複数の標準が統合された IEEE 802.16-2004 は 2005 年 11 月の段階で標準化がほぼ完了する見通しとなっている．IEEE 802.16-2004 のベースである IEEE 802.16d は 2004 年に標準化され，2-66GHz の周波数帯を利用して 2-9km のカバーエリアで最大 75Mbps の伝送速度を達成することが可能である．また，それ以外に時速 70-80km で高速移動しているユーザも利用可能な IEEE 802.16e などが標準化途上にある．

一方，高度道路交通システム（ITS）は道路交通システムに情報通信技術を組み込むことで，移動の安全性や快適性の向上を図るシステムである．現在，利用されている ITS として，道路交通情報を配信する VICS (Vehicle Information and Communication System)，有料道路の料金所において停止することなく料金収受を可能にする ETC (Electronic Toll Collection system) 等のサービスがあり，これらのサービスは無線通信技術を用いた路車間通信（RVC:Road-to-Vehicle Communication）によって実現される．このような路車間の無線通信には，現在 DSRC (Dedicated Short Range Communication) [24] というプロトコルが標準化されており，最高 4Mbps の伝送速度が達成可能である．

1.1.4 コンバージェンス技術

1.1.3 節までに述べた様々な無線通信システムは独立に設計され，ユーザは異なる無線通信システムを利用する場合には，端末や無線インタフェースを交換する必要がある．しかし，異なる無線通信システムを相互補完的に利用することで，ユーザや通信事業者にとってコスト削減や通信品質の向上といった利点が存在するため，異種無線通信システム間の連携に必要なコンバージェンス技術が検討されている．

FMC (Fixed Mobile Convergence) は 1 つの端末と 1 つの電話番号で携帯電話としても固定電話の子機としても利用可能なサービスであり，固定電話と携帯電話の融合を目的としている．FMC を実現する技術の 1 つに UMA (Unlicensed Mobile Access) がある [25][26]．UMA は携帯端末を利用して屋外では GSM (Global System for Mobile communications) を利用して携帯電話網にアクセスし，自宅等

では Bluetooth や無線 LAN を利用して携帯電話網に接続するものであり，3GPP (3rd Generation Partnership Project) でも承認されている．

3GPP や 3GPP2 では携帯電話と無線 LAN の相互接続技術が検討されている [11][27]．3GPP では相互接続を実現度 6 つのレベルに分け，2004 年の Relase6 では課金明細の連携を実現するレベル 1 から IMS (Internet Multimedia Subsystem) [28] を利用した無線 LAN 網から 3GPP 網へのアクセスを実現するレベル 3 までを規定している．現在検討が行われているレベル 5 ではユーザが無線 LAN から携帯電話といったように無線アクセス網を変更した場合に遅延やパケットの損失を最小限に抑えるシームレスハンドオーバが検討されている．

また，ITS においては，車での移動時に携帯電話網や無線 LAN のシームレスな切り換えを実現する技術として NEMO (Network Mobility) が検討されている [29]．IETF (Internet Engineering Task Force) で標準化が進められている NEMO は移動ネットワーク上に実装されたモバイルルータ (MR:Mobile Router) が無線アクセス網の切替を行うことで，ユーザが意識することなくシームレスな切り換えを実現するものである．ITS における次世代標準案である CALM (Communication Air interface for Long and Medium range)[30] も NEMO を採用している．

このようなコンバージェンス技術の中心にあるのが，IP ネットワーク上のシグナリングプロトコルである SIP (Session Initiation Protocol) である [31]．SIP は通信を開始するノード間でのセッションの確立を目的としたプロトコルで，テキストベースで動作が軽く，インターネットとの親和性が高いという特徴があるため，3GPP における IMS も SIP の利用が規定されている．さらに，ホームネットワーキングでの適用や，次世代のコア IP 網の標準化を行っている NGN (Next Generation Network) でも SIP の採用を検討している [32]．

一方で，ユーザの利用する無線通信システムに関わらず同じ通信サービスを利用する手法として，オーバレイネットワーク技術がある．オーバレイネットワークは LAN やインターネットといったセグメントに分割された既存の IP ネットワーク上で，アプリケーション層で新たに実装された仮想的なネットワークであり，ユーザが物理的に所属しているネットワークに制約を受けることなく，通信サービスの提供や利用が可能である．オーバレイネットワークを実現したアプリケーションとして，Skype[33] に代表される P2P アプリケーションや仮想的な専用線を構築する

VPN (Virtual Private Network) 技術がある [34].

1.2 研究目的

携帯電話や無線 LAN といった無線通信技術は既に広く普及しており，今後は無線 MAN のような無線通信システムの発展や異種無線通信システム間のコンバージェンス技術によって，ユーザは場所や移動，時間によらずインターネット上の多様なコンテンツに無線通信技術を利用してアクセス可能になると考えられる．

しかし，利用位置や移動速度，ユーザの嗜好といったユーザの状況や環境あるいはサービスの種類がより多様になると，サービスに対するユーザの満足度はこれらの要因によって大きく劣化する場合がある．例えば，ユーザが無線 LAN のようなスポット型の無線アクセスシステムを通過するような場合，ユーザの満足度はスポット滞在時間によって制限される．つまり，リアルタイム性は低いがデータサイズの大きい動画像や FTP によるファイルのダウンロードなど，ユーザ満足度が受信データ量に大きく依存するサービスを利用する場合には，スポット内で通信可能な時間が制限される滞在時間の小さなユーザは，スポット内で受信するデータ量は低下し，満足度が低下することになる．また，異種無線ネットワーク環境においてユーザが複数の無線インタフェースを利用可能な場合，ユーザの位置によっては利用可能な無線インタフェースが異なるため，利用できる無線リソース量がユーザごとに異なる．従って，低速なインタフェースのみが利用可能な場合に，ユーザが高解像度の動画像のような多くの無線リソースを必要とするサービスを要求すると，利用できる無線リソース量が不足するため満足度が低下する．

ユーザの満足度向上には，無線リソースの不足しているユーザに多くの無線リソースを割り当てる必要があるが，無線通信では厳しい帯域制限と劣悪な通信路品質という制約がある．例えば，無線 LAN で規定されている十 Mbps〜数十 Mbps の伝送速度は，ユーザが少なく通信路品質が良好でなければ達成できない．ユーザ数が多数になると周波数リソースをユーザ間で共有する必要があり，実効伝送速度の急激な低下が引き起こされる．また，通信路品質は単に送信電力を大きくすれば改善されるものではなく，遮蔽物が存在することによるシャドウイング，反射波が合成されて生じるマルチパスフェージングや他システムからの電波干渉によって劣化する．誤り訂正符号やパケットの再送といった誤り制御方式を用いて，このよう

な通信路の信頼性を高くする，あるいは，BPSK 等の変調多値数の小さい信頼性の高い変調方式を用いれば，通信路品質の劣化に強い伝送を実現可能である．しかし，これらの対策を用いると信頼性は向上するものの，一般に周波数利用効率が低下し，提供できる伝送速度が低下する．このように無線通信環境では伝送速度と信頼性はトレードオフの関係にある．また，異種無線ネットワーク環境におけるコンバージェンス技術はユーザが利用可能な複数の無線ネットワークから適切な1つを選択して利用することでスループットや通信品質可能であるが，利用する無線ネットワークは同様に無線通信環境の制約を受ける．従って，ユーザ満足度を向上しつつ電力と周波数という無線リソースを効率よく利用しなければならない．

しかしながら，サービスに対するユーザ満足度は主観的なものであり，またユーザ満足度の向上に必要な伝送速度や通信路品質は，ユーザの状況や環境，サービスの種類毎に大きく左右される [35][36]．従って，帯域制限や通信品質の劣化といった制約条件が存在する無線通信環境においてユーザの満足度を向上させるためには，無線通信ネットワークがユーザの置かれた状況，環境，そしてそのときの要求満足度を理解し，それらに応じた適切な無線リソース割当をそれぞれのユーザに対して行う必要がある．しかし，こういった情報は，OSI (Open Systems Interconnection) 7 階層モデル [12] の第 7 層でしか得ることができない．これに対して，従来の無線通信の規格や設計は，ほとんどが第 2 層以下を対象とするものであり，そこではデータを単なるビットの集合と見なすため，上記のようなユーザ満足度向上を目指した効率的な無線リソースマネジメントを実現することはできない．

そこで，本論文ではユーザセントリック無線リソースマネジメントを実現する電波エージェントを提案する [37]-[59]．電波エージェントはネットワーク内でユーザの期待する無線サービスの種類や品質を理解し，提供される無線サービスがユーザの満足するものになるよう様々な処理と制御を行うもので，その主体はソフトウェアプログラムである [60][61]．ユーザセントリックとは，“ユーザ指向の”という意味であり，本論文で検討するユーザセントリック無線リソースマネジメントは，ユーザの状況，環境や満足度等に応じてユーザの観点から各ユーザに適切に無線リソースを配分するものである．それを実現するために電波エージェントはユーザの移動状況や満足度といった上位層の情報を，それをそのままでは理解できない第 2 層以下の無線通信モジュールに対して，無線通信モジュールが理解できる形に翻訳

する機能を提供するものであり，そこでは，クロスレイヤインタフェースを利用する手法を用いる．また，“ユーザ指向の”ということを定量化するものとして，ユーザ効用関数 (Utility Function) を定義する．

本論文では，ユーザセントリック無線リソースマネジメントを実現する電波エージェントとして，無線周波数リソースエージェントと無線ネットワークエージェントの2つを提案する．無線周波数リソースエージェントは無線基地局においてユーザの状況や環境，所要満足度に応じて変調方式や多重方式を制御することで，無線リソースを効率よく利用しながらユーザ満足度を向上するものである．このエージェントは無線基地局において実現されるため，既存の無線端末のハードウェアを変更せずに実現できる．具体的には，まず，ユーザの移動状況に関わらずサービス品質の向上を実現するため，スポット無線アクセスにおけるユーザモビリティに応じた無線リソースマネジメントを実現する無線周波数リソースエージェントを提案する [37]-[42]．この方式はユーザの滞在時間が小さい場合には16QAM(Quadrature Amplitude Modulation) のような高速な変調方式を割り当てることで，滞在時間の小さいユーザの受信データ量特性を向上することが可能となる．次に，ユーザの移動状況や要求するサービスが異なるユーザのサービス品質を向上するため，ユーザモビリティとトラヒッククラスに応じた無線リソースマネジメントを実現する無線周波数リソースエージェントを提案する [43]．この無線リソースマネジメントはビデオストリームの種類とユーザの移動状況に応じたサービスクラスを設定し，それに応じたタイムスロット割当を行うことで，ユーザの移動状況に関わらず，リアルタイム性の高いトラヒックのサービス品質を損なわずにリアルタイム性の低いトラヒックのサービス品質を改善することが可能となる．また，ユーザ満足度という主観的要因に応じた無線リソース割当を実現するため，ユーザ効用を利用した無線リソースマネジメントを実現する無線周波数リソースエージェントを提案する [44]．この無線リソースマネジメントは，WWW サービスにおける待ち時間とユーザ満足度の関係を示す効用関数を用いてタイムスロット割当を行うことで，サービスに対して満足していると感じるユーザ数を向上できる．一方で，無線ネットワークエージェント [45] は異種無線ネットワーク環境において無線端末上に実装され，ユーザの状況や環境，サービスの種類等に応じて，利用可能な無線アクセスネットワークの候補の中から適切な無線ネットワークを割り当てることで，無線リソース

を効率よく利用しながらユーザ満足度を向上するものである．このエージェントは端末のソフトウェアのみを追加すればよいため，ネットワークにおける既存のサーバや無線基地局といったハードウェアを変更せずに実現できる．具体的には，無線ネットワークエージェントはSIP(Session Initiation Protocol)[31] を制御信号として利用することで，ユーザが要求するサービスに対して伝送速度や誤り率の異なる複数の無線アクセスネットワークをユーザの状況や環境，所要満足度に応じて割り当てることで，効率よく無線リソースを利用しつつユーザ満足度を向上するものである．

1.3 論文構成

本研究では，ユーザの状況や環境を把握し，それぞれのユーザに最適な無線リソースを割り当てることでユーザのサービスに対する満足度を向上させる，ユーザセントリック無線リソースマネジメントを実現する電波エージェントに関する研究成果をまとめている．以下，第2章から第7章までの概要を述べる．

第2章では，本研究で検討しているユーザセントリック無線リソースマネジメントの概要について説明を行い，電波エージェントを用いた実現として，無線基地局における適応的な周波数割当を実現する無線周波数エージェントと，異種無線ネットワークにおける無線ネットワークの適応的選択を実現する無線ネットワークエージェントについてそれぞれ概説を行う．

第3章では，ユーザモビリティに応じた無線リソースマネジメントを提案する．本システムは，第2章で述べる無線周波数リソースエージェントを用いて，スポット無線アクセスにおけるユーザの滞在時間に応じて変調方式を制御することで，滞在時間の小さいユーザの受信データ量の劣化を軽減できる．本章では計算機シミュレーションを用いて，ライスフェージング通信路におけるサービス品質と受信データ量特性について評価を行い，評価結果から本システムの有効性を示す．

第4章では，ユーザモビリティとトラヒッククラスに応じた無線リソースマネジメントを提案する．本システムはビデオストリームの種類とユーザの移動状況に応じたサービスクラスを設定し，それに応じた無線リソースの割当を第2章で述べる無線周波数エージェントが行うことで，ユーザの移動状況に関わらず，リアルタイム性の高いトラヒックのサービス品質を損なわずに，リアルタイム性の低いト

ラヒックのサービス品質を改善することが可能となる．本章では計算機シミュレーションを用いてライスフェージング環境における，リアルタイムトラヒックに対して遅延とビットレートの評価を行い，非リアルタイムトラヒックに対して受信データ量特性について評価を行うことで，評価結果から提案方式の有効性を示す．

第5章では，ユーザ効用を考慮した無線リソースマネジメント方式を提案する．本システムは第2章で述べる無線周波数エージェントがユーザ満足度を評価する指標である効用関数を用いて無線リソースマネジメントを行うことで，サービスに対して満足していると感じるユーザ数を向上できる．本章では計算機シミュレーションを用いて，WWW サービスにおけるユーザ満足度と待ち時間特性について評価を行い，評価結果から本システムの有効性を示す．

第6章では，異種無線ネットワークにおける SIP を利用した無線アクセスネットワーク多重を実現する無線ネットワークエージェントを提案する．本システムは多様な無線アクセスネットワークによって構築される異種無線ネットワーク環境において，第2章で述べる無線ネットワークエージェントを端末に実装することで，端末における異種無線アクセスネットワークの同時利用を実現するものであり，複数の異種無線アクセスネットワークを同時に利用可能であることでユーザの周波数利用効率を改善できる．本章では実験を用いて，スループット特性に関する評価を行い，評価結果から本システムの有効性を示す．

第7章は結論であり，本研究で得られた成果について総括を行う．

第 2 章　ユーザセントリック無線リソースマネジメント

2.1　序言

本章では，ユーザセントリック無線リソースマネジメントの概念，目標とするところ，ならびにそれらの実現に必要な機能について説明を行う．そして，ユーザセントリック無線リソースマネジメントを実現する電波エージェントとして，無線基地局における適応的な周波数割当を実現する無線周波数リソースエージェントと，異種無線ネットワークにおける無線ネットワークの適応的選択を実現する無線ネットワークエージェントの 2 つを提案すると共に，これらと第 3 章から第 6 章との関連を述べる．

2.2　ユーザセントリック無線リソースマネジメントの概要

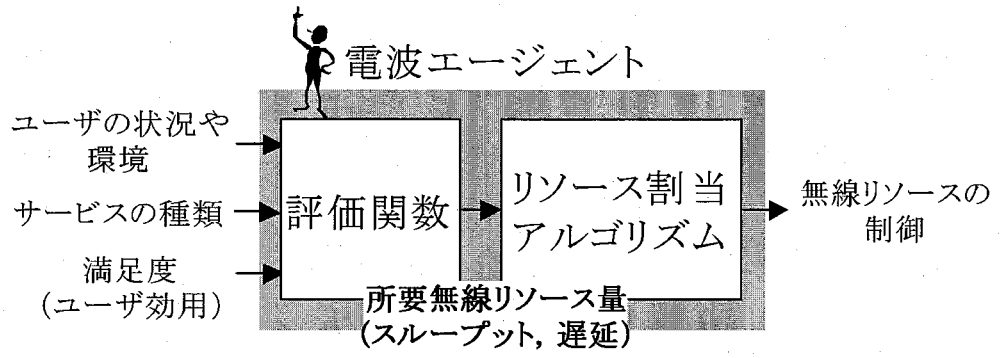


図 2.1: ユーザセントリック無線リソースマネジメントの概念

図 2.1にユーザセントリック無線リソースマネジメントの概念を示す．ユーザセントリックとは，“ユーザ指向の”という意味であり，ユーザセントリックな通信技術とはユーザの状況や要望に応じて柔軟な通信サービスを実現する技術である [62]．同様の概念が次世代無線通信技術のフォーラムの 1 つである WWRF(Wireless Work Research Forum)[63] のワーキンググループ 2(WG2) では，英語で “私”を意味する 1 人称の “I”を用いて “I-centric communication” として検討されている [64].

これらの議論では，ユーザの状況に応じたサービス提供を実現するミドルウェアアーキテクチャを提案しており，そのミドルウェアの機能の一つとして，無線のリソースマネジメントが検討課題であると位置付けている．

図2.1に示すように，本研究では，ユーザセントリック無線リソースマネジメントの実現に必要な機能を以下の3つと定義する．

- ユーザの状況やサービスの種類，満足度を把握する機能（評価関数）
- 無線リソースマネジメントのアルゴリズム
- 無線リソース割当の制御機能

ユーザセントリック無線リソースマネジメントでは，まずユーザの状況や種類，サービスの種類や満足度といった評価関数の入力となるパラメータを把握する．ユーザの状況とはユーザの位置や移動速度等であり，サービスの種類とは音声，動画像やファイルダウンロード等である．ユーザの満足度とは通信サービスに対するユーザの主観的満足度であり，効用の概念によって定義される．効用とはミクロ経済学で用いられる言葉であり，人が財を消費することで得られる満足度の大きさを表す[74]．これらのパラメータに基づき，各ユーザが必要とする所要無線リソース量を評価関数を用いて算出する．その際，満足度から所要無線リソース量を換算する場合には，ユーザ効用とサービスの関係を数式化する効用関数を利用する．このような評価関数を利用することで，ユーザの状況，サービスの種類やユーザ満足度を各ユーザの所要無線リソース量に翻訳することが可能となる．

次に，無線リソース割当アルゴリズムは各ユーザの所要無線リソース量に基づいて無線リソースの割当量を決定する．その際，各ユーザに割り当てる無線リソース量を決定するアルゴリズムは，

1. 各ユーザの満足度が公平になるように割り当てる
2. ユーザ満足度がある目標値を超えるユーザ数が最大になるように割り当てる
3. 各ユーザの満足度の平均値が最大になるように割り当てる
4. 各ユーザの満足度の最悪値が最大になるように割り当てる

といった目標の中から選択される．

最後に，無線リソースの制御機能は割当量に応じて無線リソースの割当を行う．例えば基地局で無線リソース割当を実現する場合，変調方式の選択やタイムスロット割当によって実現される．また，異種無線ネットワーク環境における無線端末では，複数の無線インタフェースからサービスを利用するのに使うインタフェースを選択する．ユーザセントリック無線リソースマネジメントを実現手法として，以下，電波エージェントの全体像を説明した後，電波エージェントの１つである無線周波数リソースエージェントと無線ネットワークエージェントについて述べる．

2.3 電波エージェントによる実現

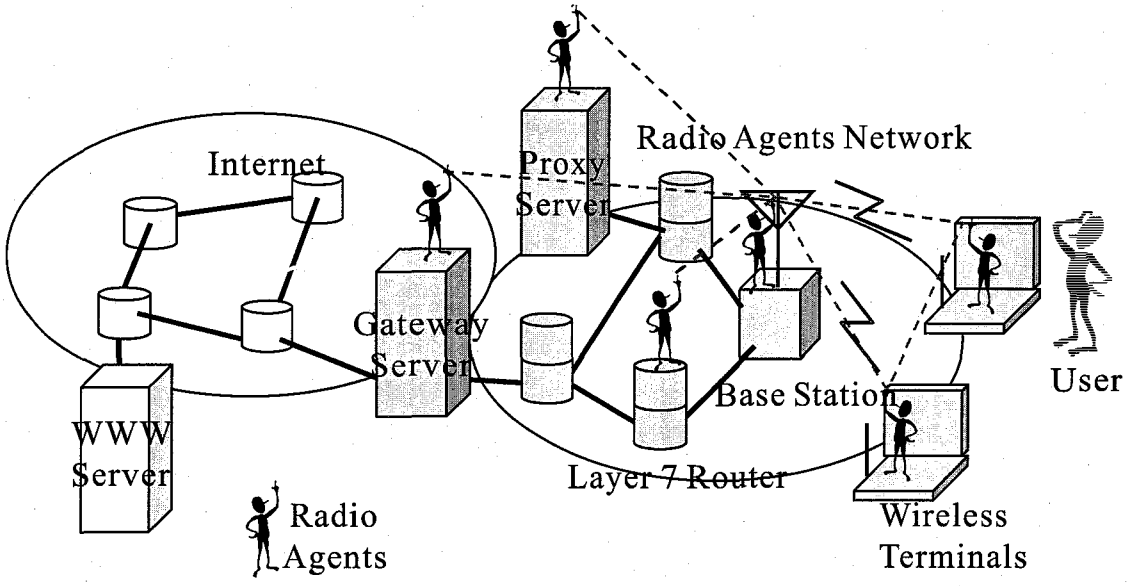


図 2.2: 電波エージェントの概念

図 2.2に電波エージェント (Radio Agents) の概念を表す．電波エージェントは，ユーザの期待する無線サービスの種類や品質を理解して，ネットワーク内に入り，提供される無線サービスがユーザの満足するものになるよう様々な処理と制御を行うもので，その主体はソフトウェアプログラムである．電波エージェントは“代理人”であるため，無線通信を含む通信ネットワークを“依頼人”であるユーザに隠蔽しなければならない．具体的には，ユーザに無線通信路の状況やトラヒックの混

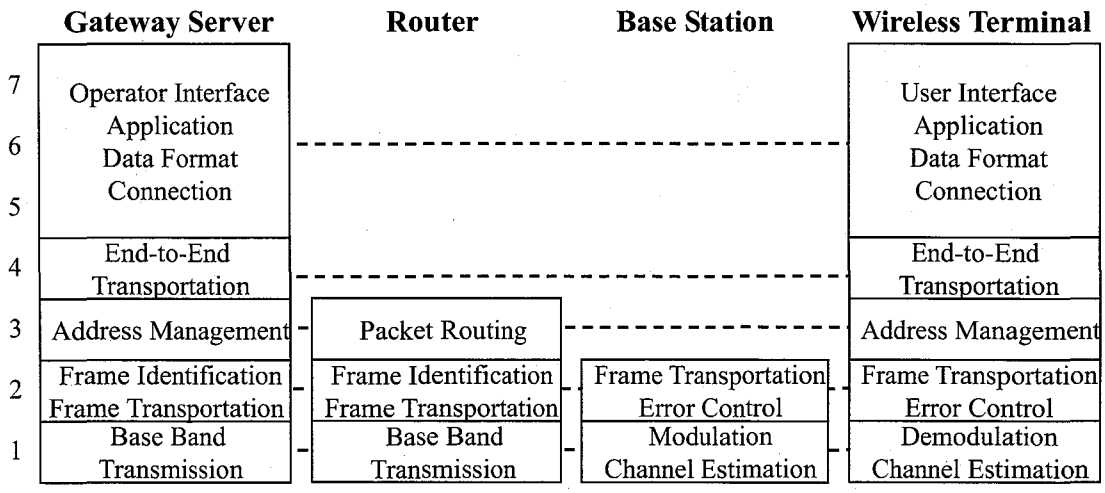


図 2.3: 従来の階層モデル

雑を認識させない事が必要である．電波エージェントをネットワーク上で広く展開するためには，電波エージェントプログラムを Java[65] のようなプラットホーム依存性の低いプログラム言語を用いて作成すればよい．図 2.2のように，電波エージェントは，サーブレットとしてゲートウェイサーバ (Gateway Server) やレイヤ 7 ルータ (Layer 7 Router) [66]，無線基地局 (Base Station) 上に，アプレットとして無線端末 (Wireless Terminals) 上に分散配置し互いに協調することにより，電波エージェントネットワーク (Radio Agents Network) を形成する．このようなネットワークを形成することで，無線区間だけでなくプラットホーム全体を把握することができ，ユーザの満足度の高い無線サービスを実現することが可能になる．各電波エージェントは多様な機能を実現するものであり，第 2.2 節で述べた無線周波数リソースエージェントは無線基地局上で変調方式やタイムスロット割当を実行するものであり，無線ネットワークエージェントは無線端末上で利用する無線インタフェースの選択を行うものである．

ところで，従来の通信ネットワークは，OSI (Open Systems Interconnection) 7 階層モデル [12] に基づく図 2.3のようなモデルで構築されてきたが，このようなモデルで，ユーザに対して満足度の高いサービスを行うことは不可能である．例えば，無線通信環境でユーザから高画質の動画像を鑑賞したいという要求が生じた場合，無線区間の伝送速度が動画像の所要ビットレートを満たさなければ，ユーザの

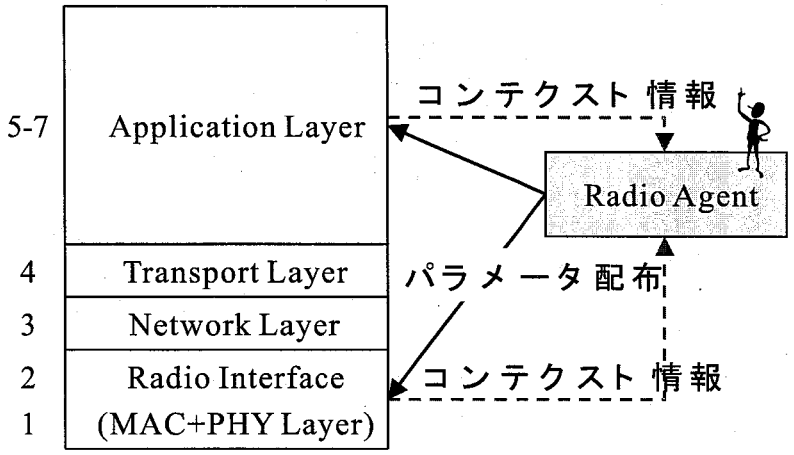


図 2.4: 電波エージェントの階層モデル

満足するサービスは実現されない．しかし，従来のプロトコルモデルでは，無線インタフェースにとって，動画像データは単なるビットの集合でしかないため，ユーザが実際に動画像を鑑賞するまでこの条件を満たしているかどうか分からない．

一方で，電波エージェントは，図 2.4で示されるようにクロスレイヤデザイン (Cross-LayerDesign) に基づいて設計される．従来の OSI 7 階層モデルが隣接するレイヤ間の情報交換のみを行うのに対し，クロスレイヤデザインは第 1 層と第 7 層といったような隣接しないレイヤ間の情報のやりとりが可能である [67]-[69]．図 2.4にクロスレイヤデザインに基づく電波エージェントの階層モデルを示す．電波エージェントはネットワークの構成要素であるサーバや基地局，端末の第 7 層に存在し，ユーザ情報やアプリケーション情報といった第 7 層で得られる情報や，無線インタフェースから得られる第 1-2 層の情報といった各種コンテクスト情報を収集し，各レイヤに対して無線通信システムの制御に必要なパラメータを配布する．このアーキテクチャよって，ユーザが満足する通信サービスの提供が可能となる．

電波エージェントが収集する情報や配布するパラメータは各エージェントの目的ごとに異なるので，次節において，無線周波数リソースエージェントと無線ネットワークエージェントについて具体的に記述する．

2.3.1 無線周波数リソースエージェント

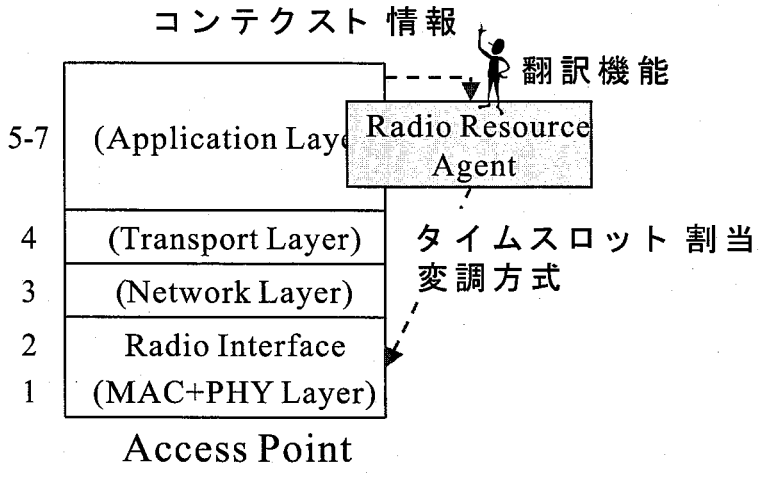


図 2.5: 無線周波数リソースエージェントのレイヤ構造

図 2.5に無線基地局にて変調方式やタイムスロット割当を行う無線周波数リソースエージェント (Radio Resource Agent) のレイヤ構造を示す．図 2.5で示されるように，無線周波数リソースエージェントの場合，ルータや無線インタフェース (Radio Interface) が理解できないユーザの状況，サービスの種類や満足度といった上位層のコンテクスト情報が，各インタフェースの理解できる変調方式やスロット割当数といった下位層のパラメータに翻訳される．例えば，WWW サービスを利用する場合，待ち時間に対するユーザの所要満足度から翻訳された無線リソース割当て量に基づいて決定された変調方式やタイムスロット割当を用いて伝送を行うことで，所要満足度が満たされ，ユーザは期待通りのサービスを受けられる．

無線周波数リソースエージェントは入力となるユーザの状況，サービスの種類，ユーザ満足度，あるいは出力となる無線アクセスの制御対象を変更することで様々なリソース割当アルゴリズムを設計可能であるが，第 3-4 章ではユーザの状況やサービスの種類として，移動速度や動画像のリアルタイム性に基づいて変調方式の選択やタイムスロット割当を行う無線リソースマネジメントを実現する無線周波数リソースエージェントを提案する．また第 5 章では，ユーザの満足度と WWW サービスに対するデータ取得までの待ち時間を表す効用関数を用いてタイムスロット割当を行う無線リソースマネジメントを実現する無線周波数リソースエージェントを提案する．

2.3.2 無線ネットワークエージェント

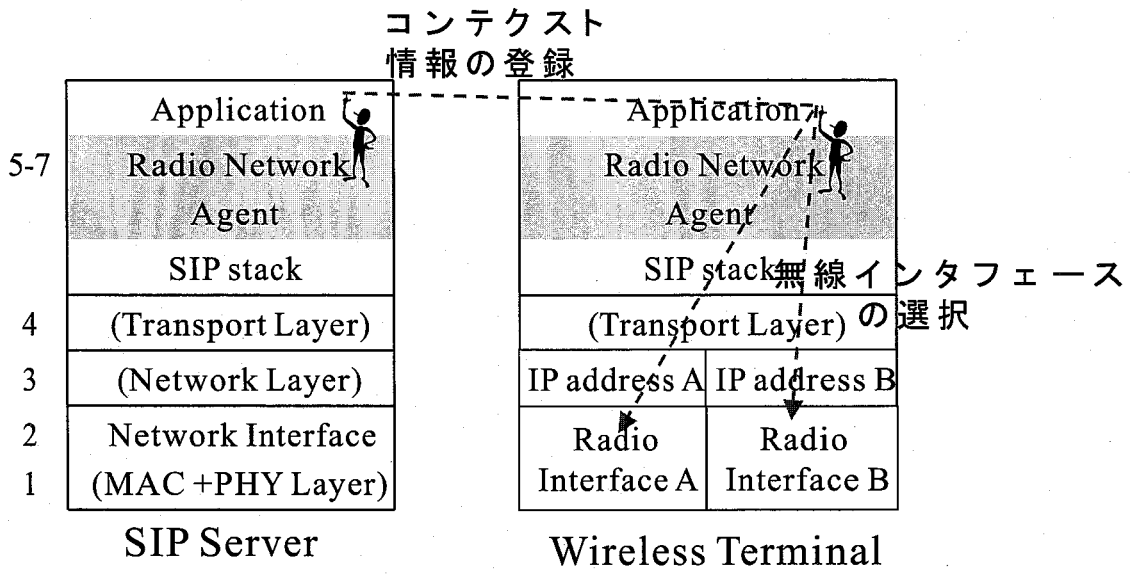


図 2.6: 無線ネットワークエージェントのレイヤ構造

図 2.6に無線ネットワークエージェント (Radio Network Agent) のレイヤ構造を示す．無線ネットワークエージェントは無線端末 (Wireless Terminal) が複数の無線インタフェース (Radio Interface) を利用可能な異種無線ネットワーク環境において，ユーザの状況等に応じて利用する無線インタフェースの選択を行う．コンテクスト情報は SIP サーバ (SIP server) にも存在し，無線ネットワークエージェントは SIP のシグナリングを利用して SIP サーバ上に存在するエージェントと必要に応じて情報交換を行う．無線ネットワークエージェントは収集したコンテクスト情報に基づいて各サービスに割り当てる無線インタフェースを決定し，パラメータとして各無線インタフェースに配布する．

第 6 章では，異種無線環境に適用可能な SIP を利用した無線アクセスネットワーク多重を実現する無線ネットワークエージェントを提案する．無線ネットワークエージェントが複数の無線インタフェースをユーザが利用したい複数のサービスそれぞれに対して，ユーザの好みや利用できる無線インタフェースの種類やユーザの要求する動画像のビットレート等に応じて適切に割り当てることで，ユーザの満足度を向上しつつ周波数利用効率も向上させる．

2.4 結言

本章では，ユーザセントリック無線リソースマネジメントの概念とレイヤモデルにおける位置付け，実現する機能について説明を行った．そして，ユーザセントリック無線リソースマネジメントを実現する2つの電波エージェントとして，無線基地局における適応的な周波数割当を実現する無線周波数リソースエージェントと異種無線ネットワークにおける無線ネットワークの適応的選択を実現する無線ネットワークエージェントの2つを提案した．

第 3 章　滞在時間を考慮した無線周波数リソースエージェント

3.1　序言

IEEE 802.11a,b,g といった無線 LAN(Local Area Network) を利用したスポット無線アクセスシステムは，IMT-2000(International Mobile Telecommunication-2000) のようなセルラー通信システムと比較して高速な伝送速度を達成可能であり，即時性は低いがデータサイズの大きい動画像や FTP(File Transfer Protocol) によるファイルダウンロードといった受信データ量の大きいサービスが可能であるが，歩行や車による移動のようにユーザが移動しながら利用する場合には，ユーザ満足度はスポットでの滞在時間によって制約される．例えば，路車間スポットアクセスシステムにおいて，ユーザの移動速度が高速であると滞在時間が小さくなり，受信データ量の低下によってユーザ満足度が低下する．

効率的な周波数利用を実現するための手法として，無線リソースマネジメントが検討されている [70][71]．文献 [70] では無線通信環境における無線リソースマネジメントが提案されている．この方式は所要スループットや所要遅延，誤り率といったパラメータに応じてフレーム長や誤り制御方式，ビットレートといった下位層の伝送フォーマットを制御する．文献 [71] では通信路品質や動画像の誤り感度に応じてタイムスロット割当や動画像のビットレートの変更を行う手法が提案されている．しかし，これまでの方式はユーザの移動が満足度に与える影響を考慮していないため，滞在時間の制約が存在する環境で適用するとユーザの満足度が低下する

IEEE802.11a,b,g といった無線 LAN でリソースマネジメントを行う規格として，IEEE802.11e がある [72]．IEEE802.11e では HCCA(Hybrid coordination function Controlled Channel Access) と EDCA(Enhanced Distributed Channel Access) という 2 つの手法が存在する．EDCA は，サービスを 4 つのカテゴリに分類し，それぞれのカテゴリに優先度を設定することで，リソースマネジメントを実現している．しかし，IEEE802.11e ではリソースマネジメントの具体的なアルゴリズムはベ

ンダ依存であるため，ユーザが移動している環境に適用するためには具体的なアルゴリズムが必要となる．

一方，スポット無線アクセスシステムにおいて滞在時間に応じて送信するデータサイズを制御する手法が提案されている [73]．この手法は滞在時間に応じて基地局へ送信するデータサイズを制御し，既にスポットを離れたユーザ宛のデータが基地局において破棄される量を低減することが可能である．しかし，滞在時間の小さいユーザへ送信するデータ量を小さくするため，滞在時間の小さいユーザの満足度が低下するという問題が残されている．

そこで，本章では，滞在時間に応じた無線リソースマネジメントを実現する無線周波数エージェントを提案する．本エージェントはユーザの移動速度から滞在時間の推定を行い，これに応じてスポット内での受信データ量が目標値に到達するよう変調方式を選択することで滞在時間の小さいユーザの受信データ量特性を向上する．例えば滞在時間が小さいユーザに対しては高速伝送の可能な 64QAM(Quadrature Amplitude Modulation) といった多値数の大きい変調方式を用い，滞在時間の大きいユーザに対しては信頼性の高い QPSK(Quaternary Phase Shift Keying) といった変調方式を用いて伝送を行う．本章では計算機シミュレーションによって路車間通信システムにおける受信データ量特性から提案方式の有効性を示す．

3.2 システム構成

図 3.1にスポット路車間通信システムの構成を示す．基地局は中央制御局 (Central Station) を介して接続している．ユーザがデータを要求した場合には，中央制御局が TCP/IP を用いてデータをダウンロードする．その後，要求されたデータは DSRC(Dedicated Short Range Communication) 上で無線通信に適したプロトコルを用いて送信される．提案アルゴリズムは中央制御局に実装された無線周波数エージェント（Radio Resource Agent）で実行される．無線周波数エージェントは変調方式やスロット割り当てといった送信パラメータをアルゴリムに基づいて決定する．決定された送信パラメータに基づき基地局はデータを変調し送信する．ユーザは基地局から送信されたデータをそれぞれのスポットで受信する．

図 3.2に本論文で提案するリソースマネジメントシステムの構成を示す．まず，

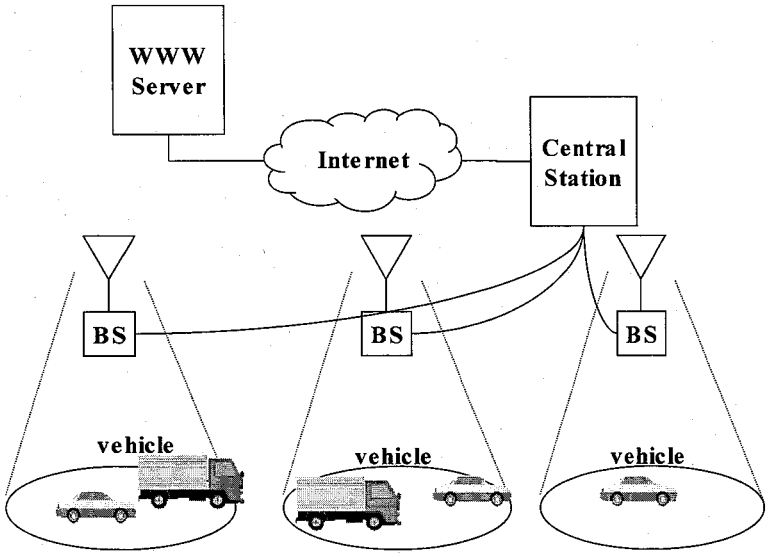


図 3.1: スポット路車間通信システムのシステムモデル

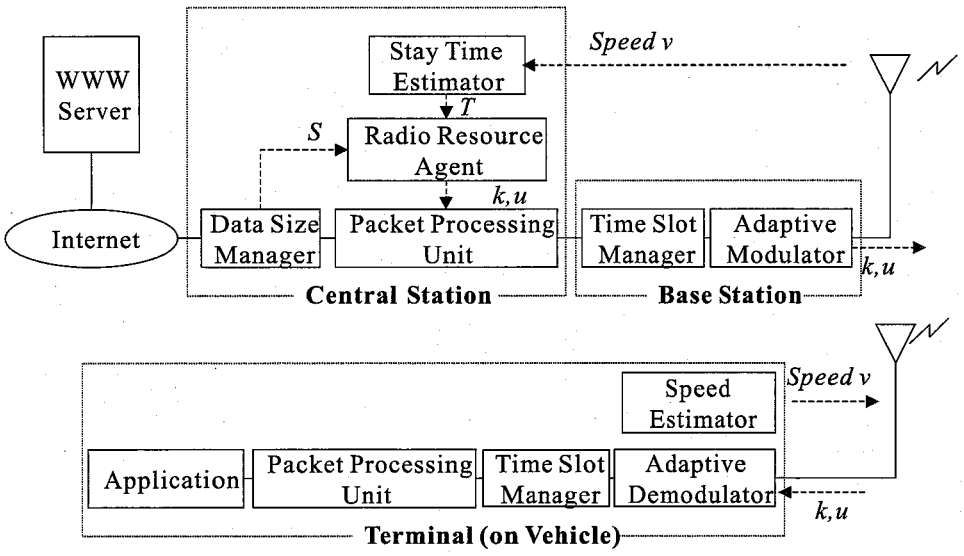


図 3.2: システム構成図

端末 (Terminal) がスポット内に入ると，端末の移動速度推定器 (Speed Estimator) が端末の移動速度を推定する．本システムでは端末は自身の移動速度 v を取得し，上りリンクを利用して滞在時間推定器 (Stay Time Estimator) にアップロードする．中央制御局の第 7 層に存在する滞在時間推定器は移動速度 v と無線スポット長 L からユーザの滞在時間 T[s] を推定し (T[s]=L[m]/v[m/s])，推定値を無線周波数エージェント (Radio Resource Agent) に送信する．次に，データサイズマネージャ (Data Size Manger) はユーザに送信するデータサイズの目標値 S を取得し，その値を無線周波数エージェントに送信する．無線周波数エージェントはそれらの値，S と T に基づいて変調方式 k とタイムスロットの割当数 u を決定し，それらのパラメータをパケット処理装置 (Packet Processing Unit) にて送信するパケットのヘッダに付与する．基地局ではヘッダに付与された変調方式とタイムスロットの割当数に基づいて変調を行い，端末へのデータの送信を行う．端末が受信したデータは基地局から指示された変調方式に応じて適応復調器 (Adaptive Demodulator) で復調され，タイムスロットマネージャ (Time Slot Manager) が自分宛のパケットを選択し，パケット処理装置 (Packet Processing Unit) が受信パケットをアプリケーションのデータ単位に組み立てる．

3.3 リソースマネジメントアルゴリズム

本節では，提案している滞在時間に応じた無線周波数エージェントが実行する無線リソースマネジメントの提案アルゴリズムについて述べる．まず，n 人のユーザがデータを要求している状況で，i 番目のユーザに割り当てられるタイムスロット数 u_i ($i = 1,2..n$) を決定する．提案方式ではシステムのタイムスロット数が U となる Dynamic TDM (time division multiplexing) を仮定し，データを要求しているユーザに対して平等にタイムスロットを割り当てる．例えば 2 人のユーザがデータを要求している場合には，($n = 2$), 提案アルゴリズムは全タイムスロットの半分をそれぞれのユーザに割り当てる ($u_1 = u_2 = U/2$).

次に提案アルゴリズムは，ユーザの残り滞在時間 ΔT_i [s] ($i = 1,2..\ n$) と ΔS_i ($i = 1,2..\ n$)[bytes] を各ユーザに対して取得する．ΔS_i は i 番目のユーザが残り滞在時間 ΔT_i まで送信データ量の目標値である S を達成するのに必要な残りデータ量である．提案アルゴリズムは残り滞在時間 ΔT_i 内に目標値 S に到達するのに必

要な要求ビットレート R_i [bps/Hz] を以下の式から計算する．

$$R_i = n \times \frac{\Delta S_i}{\Delta f \times \Delta T_i} \quad (i = 1, 2..n), \tag{3.1}$$

ここで，Δf [Hz] は利用可能な周波数帯域であり，ユーザがスポットに到着した段階の S_i は目標値である S となる．

次に提案アルゴリズムは，R_i を満たす変調方式の組み合わせを選択する．提案アルゴリズムでは，通信路品質の劣化による伝送誤りを最小限にするため，提案アルゴリズムは残り滞在時間 ΔT_i を Δt_i と $\Delta T_i - \Delta t_i$ いう 2 つの部分に分割し，2^{k_i}-QAM と $2^{(k_i+2)}$-QAM の変調方式を，それぞれ Δt_i と $\Delta T_i - \Delta t_i$ の時間だけ利用するように変調方式を決定する．例えば，k_i=2[bps/Hz] である場合には変調方式として QPSK と 16QAM が選択される．ここで，2^{k_i}-QAM を用いて時間 Δt_i[sec] だけ伝送を行い,2^{k_i+2}-QAM を用いて時間 $\Delta T_i - \Delta t_i$[sec] だけ伝送を行う場合，提案アルゴリズムは以下の次式を満たす最小の k_i と最大の Δt を見出す．

$$R_i \leq \frac{k_i \Delta t_i + (k_i + 2)(\Delta T_i - \Delta t_i)}{\Delta T_i} \tag{3.2}$$

これにより，滞在時間の許す限り信頼性の高い変調方式を使い，なおかつ滞在時間内に全データを送信できるように周波数利用効率の高い変調方式も使用するので，良好な誤り率で滞在時間内に全データを伝送可能となる．このとき，提案方式は 2 種類の変調方式 2^{k_i}-QAM と 2^{k_i+2}-QAM のうち信頼性の高いものから順に使用する．

3.3.1 テキストと静止画データへの適用例

本節では，ユーザがテキストデータと静止画から構成されるデータを要求する場合の提案アルゴリズムの適用を例にとってシステムの動作について述べる．図 3.3 に n 人のユーザが利用している場合に変調方式 k とタイムスロット u を割り当てるフローチャートを示す．

最初に，無線周波数エージェントはユーザ数 n を把握し，それぞれのユーザに対して平等にタイムスロットを割り当てる．例えば，スポットに存在するユーザ数が 1 人であれば，割当タイムスロット数は全体 TDM スロット U と等しくなり，

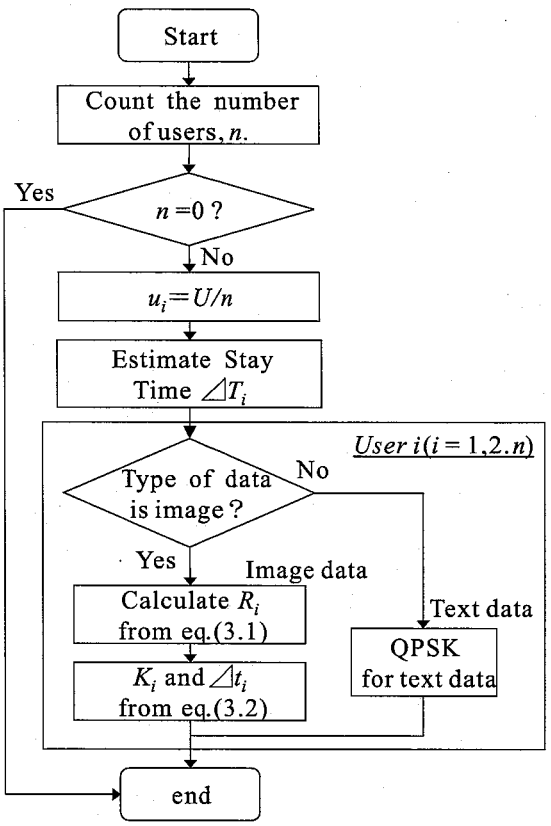


図 3.3: 提案方式のフローチャート

ユーザ数が 2 人であれば，割当タイムスロット数はそれぞれ $U/2$ となる．次に無線周波数エージェントは各ユーザの滞在時間 ΔT_i (i=1,2..n) を滞在時間推定器から取得する．

次に，無線周波数エージェントは滞在時間 ΔT_i と割り当てられたタイムスロット数 u_i から変調方式を選択する．その際，無線周波数エージェントは同時にデータの種類がテキストデータであるか，静止画データであるかも判別する．もしテキストデータであれば，可能な限りビット誤り率を抑えるため QPSK が変調方式として選択される．一方，データが静止画データであれば，無線周波数エージェントは要求ビットレート R_i を式 (3.1) から計算し，式 (3.2) を満たすように 2 つの変調方式の組み合わせ k_i と $k_i + 2$ とそれを利用する時間 Δt_i と $\Delta T_i - \Delta t_i$ を決定する．これらの手順によって変調方式が選択された後，要求されたデータはユーザに送信される．なお，提案アルゴリズムの再計算は，ユーザが要求したデータのダウンロードを終えた場合やユーザがスポットを離れた場合，新しいユーザが到着した

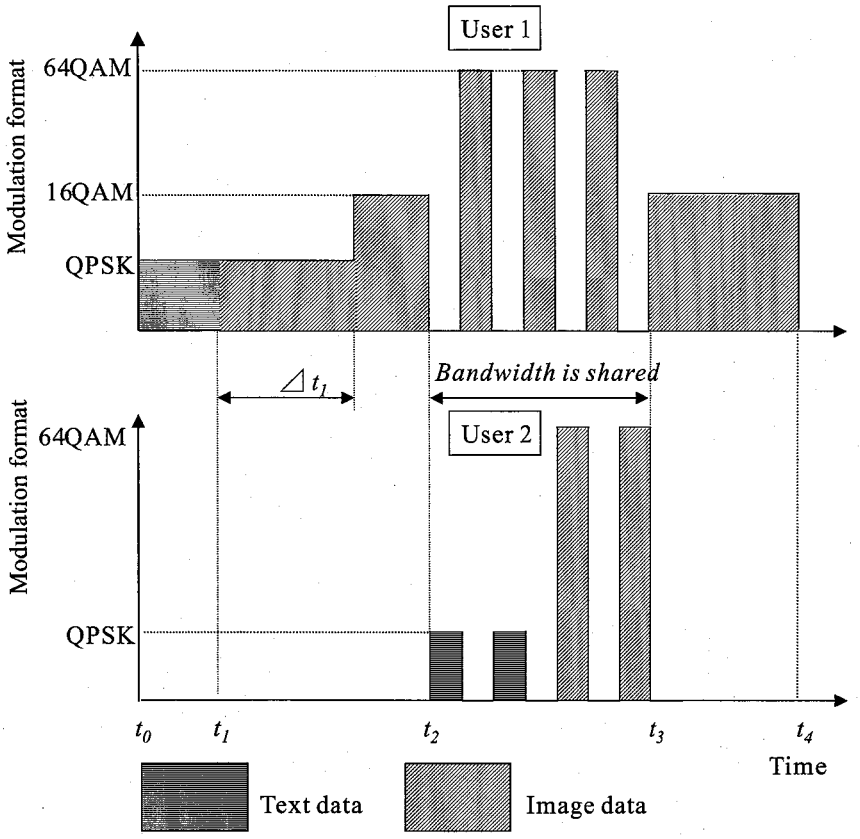


図 3.4: 提案アルゴリズムの適用例

場合に実行される．

図 3.4は提案アルゴリズムによってユーザに割り当てられる変調方式と割当時間の様子を示している．ユーザ 1 とユーザ 2 はそれぞれ $t_0 \sim t_4$ と $t_2 \sim t_3$ の間スポットに滞在している．ユーザ 1 は時刻 $t_0 \sim t_2$ までの間全てのタイムスロットを利用可能であり，テキストデータを QPSK を用いて伝送を行い，静止画データに対しては QPSK と 16QAM を利用している．ユーザ 1 の滞在時間は十分長いため静止画データに対しては時刻 t_1 まで信頼性の高い QPSK を利用し，その後 16QAM を利用して伝送を行っている．ユーザ 2 が時刻 t_2 にスポットに到着すると，2 人のユーザは帯域を共有する必要があるので，提案アルゴリズムはユーザ 1 の静止画データに対して周波数利用効率の高い 64QAM を利用する一方，ユーザ 2 のテキストデータに対しては信頼性の高い QPSK を利用する．ユーザ 2 が時刻 t_3 にスポットを離れると，ユーザ 1 は全ての帯域を再度利用可能になるため，再び提案アルゴ

リズムは 16QAM を選択する.

3.4 シミュレーション諸元

本章では，スポットに到着する多数のユーザにデータを配信するアプリケーションを仮定し，あるユーザがスポット滞在時間内に目標とした受信データ量を達成できる確率，受信成功確率 (Service Probability) について計算機シミュレーションによる評価を行う．本章では評価の対象となる受信成功確率 P_s を以下のように定義する.

$$P_s = \frac{N_c}{N_a}$$

ここで，N_c は滞在時間内に受信データ量の目標値 S を達成したユーザ数であり，N_a はある時間間隔にデータを要求したユーザの総数である.

表 3.1に本シミュレーションの諸元を示す．本シミュレーションではユーザがテキストデータと静止画データから構成される HTML (Hyper Text Markup Language) データを要求する場合を仮定した．要求するデータサイズはテキストデータサイズが 150[KBytes], 静止画像データサイズが 1350[KBytes] とし，全てのユーザが同サイズのデータを要求するものとした．ユーザは平均値 5.0[sec] の指数分布に従う時間間隔でスポットに到着するものと仮定し，ユーザがスポット内に滞在する時間は平均値 2.0[sec] の指数分布に従うものと仮定した．スポット長は 50[m] でレーン数が 3 とした．周波数帯と帯域幅は DSRC 準拠であると仮定し，無線通信路はライスフェージングでモデル化し，各レーンの CNR が等しいものと仮定した.

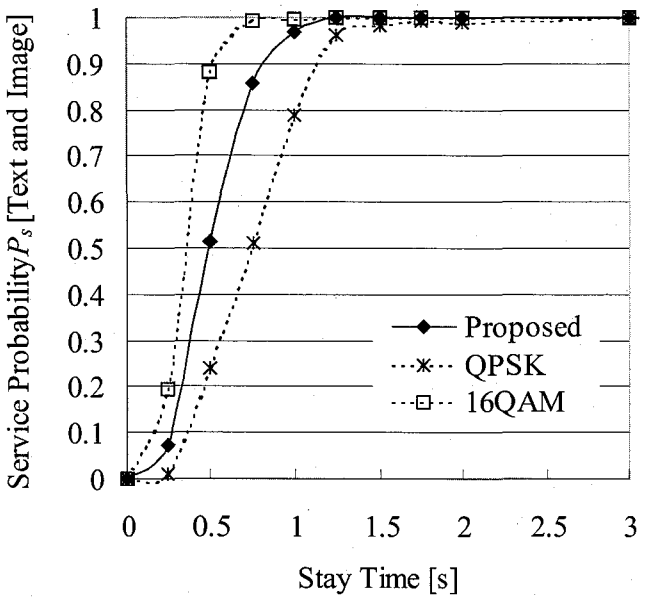
表 3.1: シミュレーション諸元

無線通信路モデル	ライスフェージング (ライスパラメータ $K = 5$)
平均受信 CNR	15[dB]〜45[dB]
周波数帯	5.8GHz
帯域幅	2MHz
正規化最大ドップラーシフト $f_d T_s$	2.67×10^{-4}
ユーザ滞在時間	指数分布 (平均 2.0[sec])
ユーザ生起間隔	指数分布（平均 5.0[sec]）
静止画像データサイズ	1350[KBytes]
テキストデータサイズ	150[KBytes]
最大端末移動速度	100[km/h]
スポット長	50 [m]
同時最大ユーザ数 n	8
下り多重方式	Dynamic TDM 方式
変調方式	QPSK/16QAM/64QAM
ARQ 方式	Stop and Wait

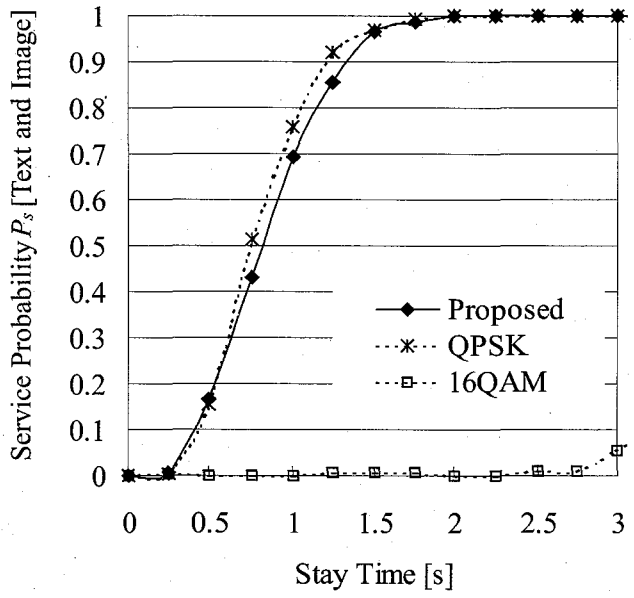
3.5 滞在時間に対する受信成功確率特性

3.5.1 全データに対する受信成功確率

図 3.5 (a), (b) に滞在時間に対するから構成される全データ（テキストデータ+静止画像データ）の受信成功確率について示す．横軸はユーザの滞在時間の長さを示しており，縦軸の P_s [Text and Image] はユーザの全データに対する受信成功確率を表す．図には，各ユーザの受信データ量の目標値 S は 1500[KBytes] としている．同図には比較のため，滞在時間を考慮せずに QPSK あるいは 16QAM を固定的に用いる場合の特性をそれぞれ QPSK,16QAM として示す．図 3.5 (a), (b) はそ



(a) Channel CNR=35[dB]



(b) Channel CNR=20[dB]

図 3.5: 滞在時間に対する全データ受信成功確率特性 ($S = 1500$[KBytes])

れぞれ平均受信 CNR が 35[dB],20[dB] の場合の特性である．図 3.5 (a) から，提案方式を用いると滞在時間を考慮せずに QPSK を固定的に用いた場合と比べて，滞在時間の短いユーザの特性が改善していることが分かる．しかしながら，しかし CNR が 35[dB] と高いので 16QAM を固定的に用いてデータを送信した場合の受信成功確率が最も高い．例えば，滞在時間が 1.0[s] のユーザの受信成功確率は提案方式を用いた場合 97%であるのに対して QPSK あるいは 16QAM を固定的に用いた場合の特性はそれぞれ 78%，100%である．これは，平均受信 CNR が 35[dB] の場合，16QAM を用いた場合のパケット誤り率が十分低いからである．一方 CNR が 20[dB] と低くなると，図 3.5(b) から，16QAM を固定的に用いた場合，提案方式や固定的に QPSK を用いた場合と比べて全く受信できないことがわかる．例えば，滞在時間が 1[s] のユーザの受信成功確率は提案方式を用いた場合 72%であるのに対して QPSK あるいは 16QAM を固定的に用いた場合の特性はそれぞれ 78%，0%である．これは平均受信 CNR が 20[dB] と低い場合には 16QAM のビット誤り率が非常に高い一方で，提案方式が滞在時間を考慮しながら，滞在時間の許す限り QPSK のようななるべく信頼性の高い変調方式を用いるからである．図 3.5 (a)，(b) より，提案方式は路車間通信システムのように，シャドウイングや端末位置によって大きく平均受信 CNR が変動しても，その CNR を検出することなく，滞在時間と要求受信データ量を把握するだけでそれぞれの CNR で最良の特性を達成可能であることが分かる．

3.5.2 テキストデータに対する受信成功確率

路車間通信システムでは，テキストデータのように重要度の高いデータをスポット内で確実に受信する必要がある．そこで，重要度の高いテキストデータの受信成功確率に注目する．

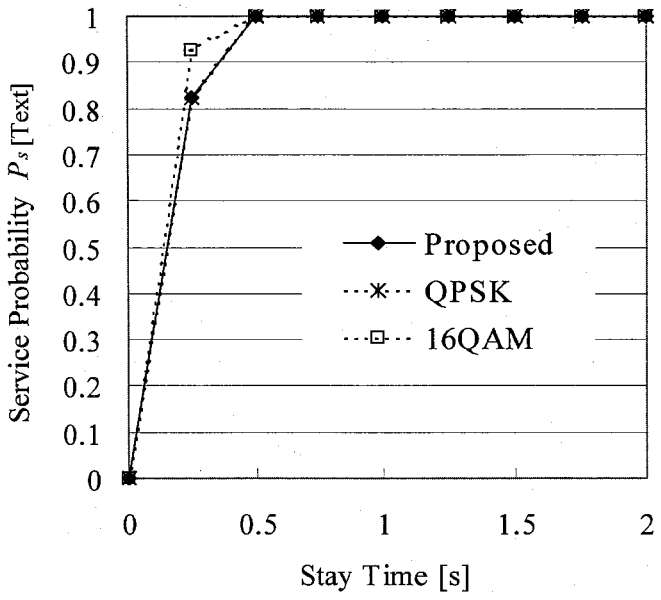
図 3.6(a)，(b) にユーザ滞在時間に対するテキストデータの受信成功確率について示し，横軸はユーザの滞在時間を示しており，縦軸の P_s[Text] はテキストデータに対する受信成功確率を表す．各ユーザの受信データ量の目標値 S は 1500[KBytes] とした場合の特性を示す．同図には比較のため，滞在時間を考慮せずに QPSK あるいは 16QAM の変調方式を固定的に用いる方式 QPSK と 16QAM の特性を併せて示す．図 3.6(a)，(b) はそれぞれ平均受信 CNR が 35[dB]，15[dB] の場合の特性

を示す.

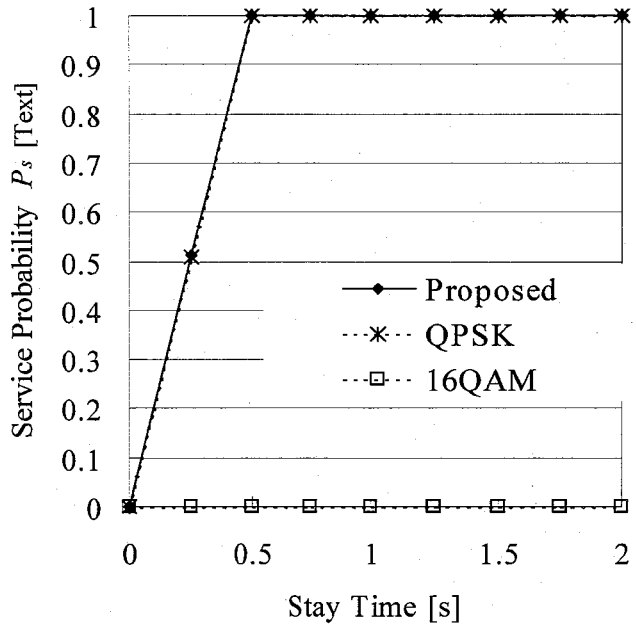
図 3.6(a) より，平均受信 CNR が十分高い場合，提案方式の特性は，他方式と同程度であり，提案方式の優位性はあまり確認できないが，図 3.6(b) に示すように平均受信 CNR が 15[dB] と低い場合，提案方式や QPSK を固定的に用いた場合と比較すると 16QAM を固定的に用いた場合の特性が大きく劣化する．例えば，滞在時間が 0.5[sec] のユーザの場合，提案方式を用いた場合の特性が 100%である一方で，QPSK あるいは 16QAM を固定的に用いた場合の特性はそれぞれ，100%, 0%である．

3.6 平均受信 CNR に対する受信成功確率特性

図 3.7(a) に平均受信 CNR に対するテキストデータと静止画データから構成される全データの受信成功確率の特性について示す．横軸は平均受信 CNR を表し，縦軸はユーザが全データを正しく受信できる受信成功確率を示す．図には，各ユーザの受信データ量の目標値 S が 1500[KBytes] の場合の特性を示す．図には比較のため，提案方式の特性とともに，滞在時間を考慮せずに QPSK あるいは 16QAM の変調方式を固定的に用いる方式，QPSK と 16QAM の特性を示す．図より平均受信 CNR が 30[dB] より高い場合には，16QAM を固定的に用いた場合が最も高いことが分かる，しかし，平均受信 CNR が 30[dB] より低い場合，この方式の特性は急激に劣化する．例えば，平均受信 CNR が 15[dB] になると，16QAM を用いた場合の特性は 0%となる．しかし，提案方式を用いた場合の特性は，QPSK を固定的に用いる場合と比較して，平均受信 CNR の値によらず同程度以上であることが分かる．一方で，平均受信 CNR が 30[dB] 以上の場合，提案方式の特性は 16QAM を固定的に用いた場合と比べてわずかに劣化するが，平均受信 CNR が低い場合の劣化は避けられる．これは，提案方式が滞在時間が長い場合には信頼性の高い変調方式を選択するからである．平均受信 CNR が 20[dB] 以下になると，提案方式の特性は QPSK を固定的に用いる場合と比較してわずかに劣化する．これは，提案方式は滞在時間の小さいユーザに高速な変調方式を選択し，平均受信 CNR が低い場合にはこれが頻繁な再送を引き起こすからである．ただし，滞在時間の分布と CNR の変動は独立であるため，滞在時間が小さくかつ平均受信 CNR の低いユーザが発生する確率は非常に低い．



(a) 平均受信 CNR = 35[dB] の場合



(b) 平均受信 CNR = 15[dB] の場合

図 3.6: 滞在時間に対するテキストデータ受信成功確率特性 (S = 1500[KBytes])

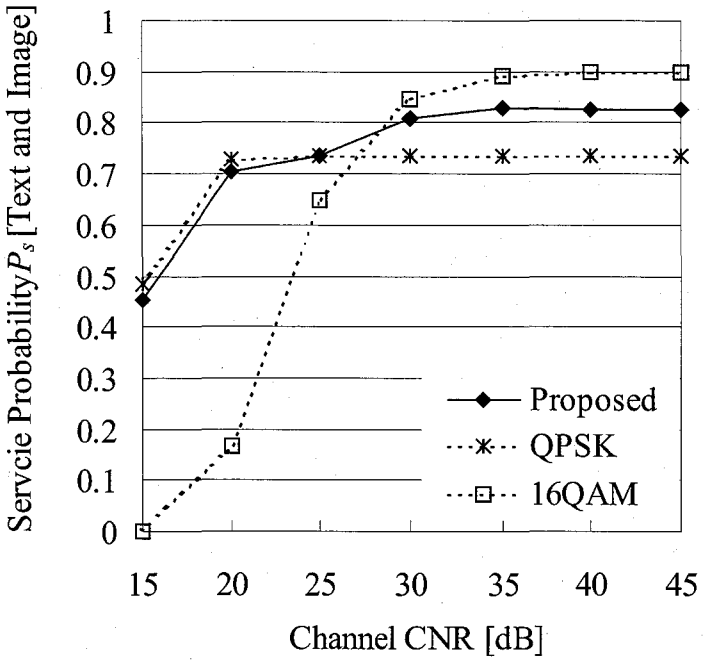


図 3.7: 平均受信 CNR に対する受信成功確率特性 ($S = 1500$[KBytes])

3.7 平均受信 CNR に対する受信データ量特性

スポット無線通信アクセスシステムにおいて，ファイルをダウンロードするようなサービスを利用する場合には，受信データ量が大きいほどユーザの満足度は高いと言える．本節では平均受信 CNR に対する受信データ量特性について評価を行う．

図 3.8に平均受信 CNR に対する平均受信データ量特性を示す．図の縦軸は平均受信データ量を示している．図には，各ユーザの受信データ量の目標値 S が 1500[KBytes] の場合の特性を示す．図には比較のため，提案方式の特性とともに，滞在時間を考慮せずに QPSK あるいは 16QAM の変調方式を固定的に用いる方式，QPSK と 16QAM の特性を示す．平均受信 CNR が 30[dB] の場合，16QAM を固定的に用いる場合の特性が最も高いことが分かる．しかし，平均受信 CNR が低下すると特性は急激に劣化する．例えば，平均受信 CNR が 20[dB] の場合, 平均受信データ量の特性は 540 [KBytes] であり，これは平均受信 CNR が 30[dB] の場合の

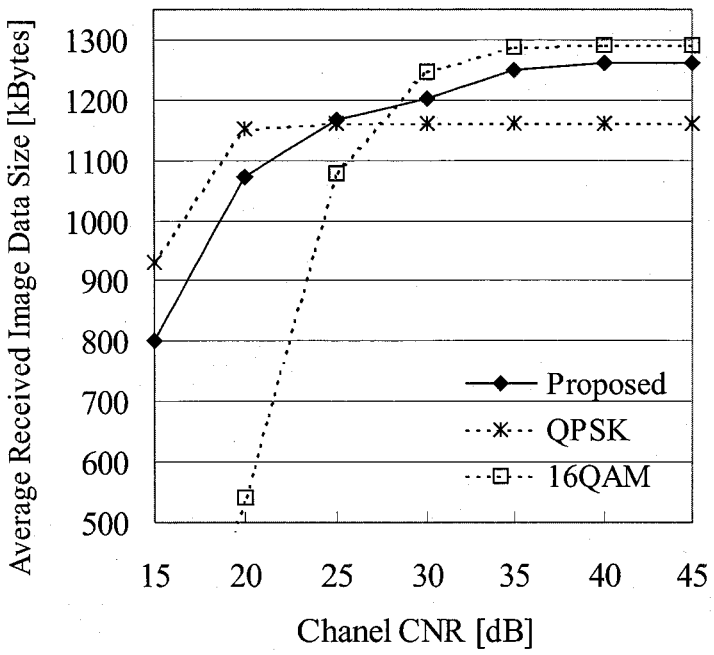


図 3.8: 平均受信 CNR に対する受信データ量特性 ($S = 1500$[KBytes])

約半分であることが分かる．提案方式を用いた場合の特性は，QPSK を固定的に用いる場合と比較して，平均受信 CNR の値が 20[dB] 以下の場合にはわずかに劣化するが，30[dB] 以上の場合には高い特性を示すことが分かる．平均 CNR が 25[dB] 以上になると，提案方式の特性は 16QAM を固定的に用いた場合と比べてわずかに劣化するが，16QAM を固定的に用いた場合に平均受信 CNR が低い場合に発生するような大きな劣化は避けることができる．

3.8 結言

本章では滞在時間に応じた無線リソースマネジメントを実現する無線周波数エージェントを提案した．このエージェントはユーザの滞在時間に応じて変調方式を選択する．例えば滞在時間が小さいユーザに対しては高速伝送の可能な変調方式を用いて伝送を行い，滞在時間の大きいユーザに対しては信頼性の高い QPSK といった変調方式を用いて伝送を行う．路車間通信システムを想定した計算機シミュレー

ションの結果から，提案方式を用いると変調方式を固定的に用いた場合と比べて，滞在時間が 1.0[sec] と小さいユーザの受信データ量を約 1.4 倍に改善でき，ユーザ満足度の向上に提案エージェントが有効であることを明らかにした.

第4章　モビリティとトラヒッククラスを考慮した無線周波数リソースエージェント

4.1　序言

スポット無線アクセスシステムをユーザが移動しながら利用する場合，ユーザの満足度を決定する QoS (Quality of Service) パラメータはサービスの要求するトラヒックの種類によって異なる．VoIP (Voice over IP) のような即時性の高いトラヒックの場合，送信されたパケットが遅延なく受信端末に届くことが重要であるため，QoS パラメータの中でビットレートと遅延が満足度を決定する主要因となる．一方，ビデオのように動画像ストリームであっても非リアルタイムストリームのように即時性の低いトラヒックの場合，高スループットの達成によって受信データ量を増大させることが重要であるが，前章で述べたように受信データ量は滞在時間の制約を受けるため，ユーザの移動状況に応じて適切なスループットを QoS パラメータとして設定する必要がある．

そこで本章では，スポット無線アクセスにおけるモビリティとトラヒッククラスに応じた無線リソースマネジメントを実現する無線周波数リソースエージェントを提案する．提案方式は，ユーザの移動状況とトラヒックの種類に応じてサービスクラスを設定し，そのサービスクラスに応じてタイムスロットを割り当てる．例えば，滞在時間が小さいユーザが即時性の低いトラヒックを要求している場合，受信データ量が向上するように多くのタイムスロットを割り当てる．本章では無線 LAN に適用した場合のスループットと受信データ量特性について計算機シミュレーションを行い，提案方式の有効性を示す．

4.2　システム構成

図 4.1に提案方式のシステム構成図を示す．基地局はレイヤ 7 ルータ (Layer7 Router) を介してインターネット上のリアルタイムストリームサーバ (Real-time Streaming Server) と非リアルタイムストリームサーバ (Non Real-time Streaming

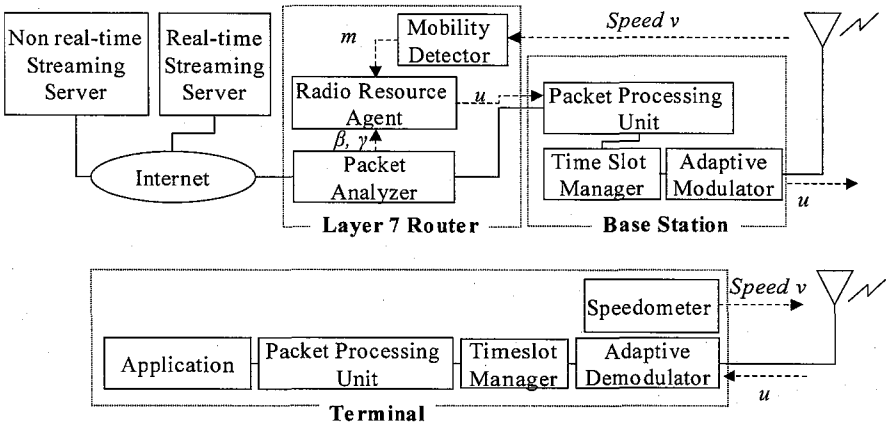


図 4.1: システム構成図

Server) に接続している．ユーザがデータを要求すると，端末のスピードメータ (Speedometer) がユーザの移動速度の推定を行う．提案方式では端末 (Terminal) が自身の移動速度を移動検出器 (Mobility Detector) に上りリンクを利用してアップロードする．移動検出器はレイヤ 7 ルータの第 7 層に存在し，ユーザの移動状態が静止状態か移動状態かを判定し，移動状態 (Movement Status) m を 0 か 1 に設定する．ユーザが無線 LAN スポット内を移動していると推定された場合は $m = 1$ とする．一方で，ユーザがサービス終了時までスポット内に滞在すると推定された場合は $m = 0$ とする．表 4.1にユーザの移動状態 m を示す．決定されたユーザの移動状態 m は無線周波数リソースエージェント (Radio Resource Agent) に送られる．パケット分析器 (Packet Analyzer) はストリームデータのヘッダから要求ビットレート β とトラヒックカテゴリ γ を解析する．表 4.2にビデオストリームの種類を示すトラヒックカテゴリ γ を示す．提案方式ではリアルタイムストリームと非リアルタイムストリームの 2 つを想定する．パケット解析器は β と γ を無線周波数リソースエージェントに送信し，無線周波数リソースエージェントは m と β, γ に応じて各ユーザの割当タイムスロット数 u を決定する．決定された u の値は各送信パケットのヘッダに書き込まれることによってパケット処理装置 (Packet Processing Unit) に通知される．基地局では通知された割当タイムスロット数 u に応じて，データが適応変調器 (Adaptive Modulator) で変調され，タイムスロット割当に基づいて送信される．端末はデータを復調し，パケット処理装置において受

表 4.1: ユーザ移動状態 m

Movement status m	
0	Static user
1	Moving user

表 4.2: ストリームデータに対するトラヒックカテゴリ γ

Traffic Category γ	
0	Real-time streaming
1	Non real-time streaming

信パケットから元のパケットを復元する．

4.3 リソースマネジメントアルゴリズム

4.3.1 モビリティとトラヒッククラスに応じたサービスクラス

本節では，提案するリソースマネジメントのアルゴリズムについて述べる．提案方式は U 個のタイムスロットをユーザに対して動的に配分可能な Dynamic TDM (Time Division Multiplexing) を想定する．提案方式では端末バッファサイズは非リアルタイムストリームを保存できる十分大きいものとする．提案アルゴリズムではユーザの移動状況 m とトラヒックカテゴリ γ から 4 つのサービスクラスを設定する．表 4.3にサービスクラス S_c の分類を示す．u' はビデオストリームを劣化なく視聴するのに必要な最低要求タイムスロット数を示す．例えばユーザが 64[kbps] の VoIP サービスを利用する場合，u' は常に遅延なく 64[kbps] のスループットを保証できるタイムスロット数となる．Class 0 と Class 1 はリアルタイムストリームをそれぞれ静止しているユーザと移動しているユーザが利用する場合である．Class 2 と Class 3 は非リアルタイムストリームをそれぞれ静止しているユーザと移動してい

表 4.3: サービスクラス S_c の分類

Service Class S_c	m	γ		割当タイムスロット数: u (u':最低要求タイムスロット数)
Class 0 ($S_c = 0$)	0	0	サービス：リアルタイム ユーザ：静止	$u = 1 \times u'$
Class 1 ($S_c = 1$)	1		サービス：リアルタイム ユーザ：移動	$u = 1 \times u'$
Class 2 ($S_c = 2$)	0	1	サービス：非リアルタイム ユーザ：静止	$u = 1 \times u'$
Class 3 ($S_c = 3$)	1		サービス：非リアルタイム ユーザ：移動	$u = (\alpha + 1) \times u'$ (α:リソース剰余係数)

るユーザが利用する場合である．提案アルゴリズムはこのサービスクラス S_c に応じて各ユーザの割当タイムスロット数 u を決定する．Class 0 と Class 1 のサービスはユーザの要求しているビットレートを遅延なく保証することが重要であるため，移動に関わらず最低要求タイムスロット数 u' を各ユーザに割り当てる ($u = 1 \times u'$). Class 2 のサービスを利用するユーザは無線 LAN スポット内で静止しており，最低ビットレートを保証することでスポット内で全てのデータを取得することが可能であるため，最低要求タイムスロット数 u' を各ユーザに割り当てる ($u = 1 \times u'$). Class 3 のサービスを利用するユーザは移動しており，ユーザの滞在時間による受信データ量の制約を解決するため，最低要求タイムスロット数 u' を各ユーザに割り当てた後，可能な限り多くのタイムスロットをリソース剰余係数 α に基づいて割り当てる．リソース剰余係数 α は全てのユーザに最低限度のタイムスロット数 u' を割り当てた後に余っているタイムスロット数を表しており，$\alpha > 0$ の場合にはより多くのタイムスロットを Class 3 のユーザに割り当てることが可能である．

4.3.2 リソースマネジメントアルゴリズム

提案するリソースマネジメントアルゴリズムについて述べる．n 人のユーザが同時にデータを要求している場合を想定する．

まず，無線周波数リソースエージェントが i 番目のユーザの最低要求タイムスロット数 u'_i を以下の式に基づき計算する．

$$u'_i = \lceil U \times \frac{\beta_i}{k_i \Delta f} \rceil \tag{4.1}$$

k_i [bps/Hz] は 2^{k_i}-QAM の変調方式を利用した場合の 1 シンボルあたりの送信ビット数である．例えば，QPSK の場合には k_i は 2 となる ($k_i = 2$)．β_i [bps] はユーザ i のビデオストリームのビットレートであり，Δf [Hz] は帯域幅である．U はTDM フレームのタイムスロット数である．シーリング関数 $\lceil\rceil$ はタイムスロット単位での切り上げを行う．式 (4.1) は k_i と Δf, U，β_i の値を入力することで計算される．例えば，k_i が 2 [bps/Hz]，Δf が 12 [MHz]， U が 32，β_i が 2 [Mbps] の場合には u'_i は 3 になる．従って，最低要求タイムスロット数 u'_i は 3 となる．次に，提案アルゴリズムは Class 0 と Class 1 のユーザに対する割当タイムスロット u を決定し，リアルタイムストリームを利用しているそれぞれのユーザに優先的にタイムスロットを割り当てる．i 番目のユーザに割り当てられるタイムスロット数 u_i は以下の式で計算される．

$$u_i(S_c) = u'_i \ \ (S_c = 0 or 1) \tag{4.2}$$

例えば，i 番目のユーザのクラスが Class 1 である場合には ($S_c = 1$)，u'_i このタイムスロットが割り当てられる．この割当によって，リアルタイムストリームを利用しているユーザはビットレートと遅延を保証するのに必要な最低要求タイムスロット数 u' を満たすことができる．

Class 0 と Class 1 のユーザにタイムスロットを割り当てた後，提案アルゴリズムは表 4.3で述べたリソース剰余係数 α を以下の式から計算する．

$$\alpha = \frac{U - \sum_{i=1}^{n} u'_i}{U'_3} \tag{4.3}$$

U'_3 は Class 3 ユーザの最低要求タイムスロット数 u' の和である．この係数は全てのユーザに最低要求タイムスロット数 u' を割り当てたあとに残っているタイムスロット数を計算する．$\alpha > 0$ であれば，Class 3 のユーザに可能な限り多く割り当てることが可能なタイムスロットが残っている．Class 2 と Class 3 のユーザに割り当てるタイムスロット数を決定するため，提案アルゴリズムは α が以下の不等式を満たしているかどうか判定を行う．

$$\alpha \geq 0 \tag{4.4}$$

式 (4.4) を満たしている場合には，Class 3 ユーザにより最低要求タイムスロット数より多くのタイムを割り当てることが可能である．従って，Class 2 と Class 3 のユーザの割当タイムスロット数 u_i は以下の式で計算される．

$$u_i(S_c) = \{ \begin{array}{cc} u'_i & (S_c = 2) \\ (\alpha+1)u'_i & (S_c = 3) \end{array} \tag{4.5}$$

不等式 (4.4) を満たす場合には，式 (4.5) は $(\alpha+1) \geq 1$ となる．従って，無線リソースに余裕がある場合には，Class 3 のユーザは他ユーザよりも多くのタイムスロットを割り当てられる．一方で，不等式 (4.4) が満たされない場合には Class 2 と Class 3 のユーザに最低要求ビットレート u' を割り当てることは不可能である．従って，提案アルゴリズムは最低要求タイムスロット数 u' を満たす Class 2 と Class 3 のユーザが最大になるようにタイムスロットを割り当てる．その場合，タイムスロットを割り当てられないユーザはリクエストを受け付けられらない．

$$u_i(S_c) = \{ \begin{array}{cc} u'_i & (S_c = 2) \\ u'_i & (S_c = 3) \end{array} \tag{4.6}$$

提案アルゴリズムの再計算はユーザがデータの要求を完了した場合や移動しているユーザがスポットから退出した場合に行われる．図 4.2に提案アルゴリズムのフローチャートを示す．

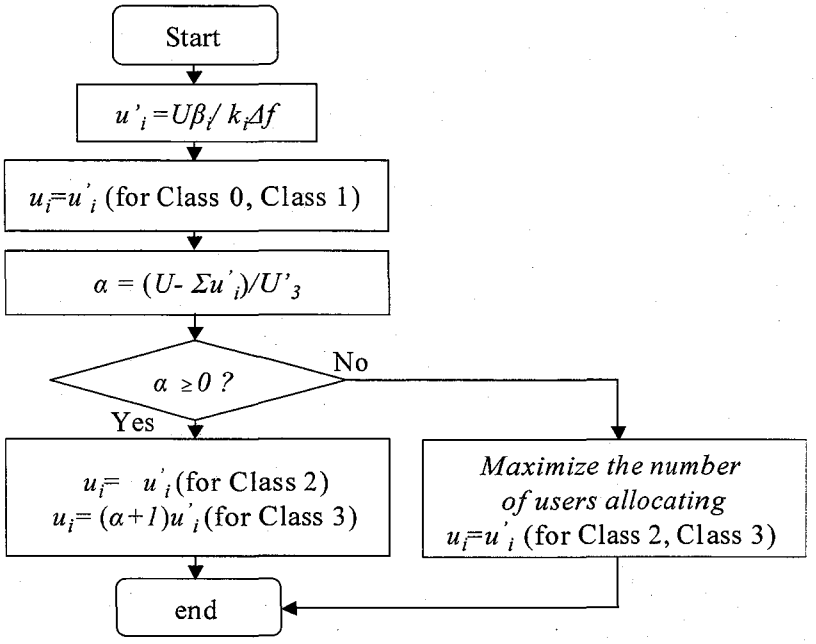


図 4.2: リソースマネジメントアルゴリズムのフローチャート

4.4 シミュレーション諸元

本章では，移動しているユーザと静止しているユーザが，リアルタイムストリームと非リアルタイムストリームのどちらかを要求する状況を想定し，計算機シミュレーションによりサービス品質特性評価を行った．図 4.3にシミュレーションモデルを示す．ユーザはリアルタイムストリームと非リアルタイムストリームを，それぞれ確率 P_r と $1-P_r$ で要求するものとした．P_r はユーザがリアルタイムストリームを要求する確率である．リアルタイムストリームと非リアルタイムストリームのビデオソースのビットレートはそれぞれ R_1[Mbps] と R_2[Mbps] であるとした．ユーザが取得するビデオストリームの時間長は共に 60[sec] とした．端末のバッファサイズは 60[sec] のビデオストリームを取得するのに十分大きいものとした．本シミュレーションでは移動しているユーザと静止しているユーザの 2 種類のユーザを想定した．移動ユーザの移動速度は人の走行を想定して平均 9[km/h] の正規分布に従うとし，静止ユーザはデータを要求している間スポット内に静止しているものとした．全ユーザに占める移動ユーザの割合を P_m とし，到着間隔は正規分布に従

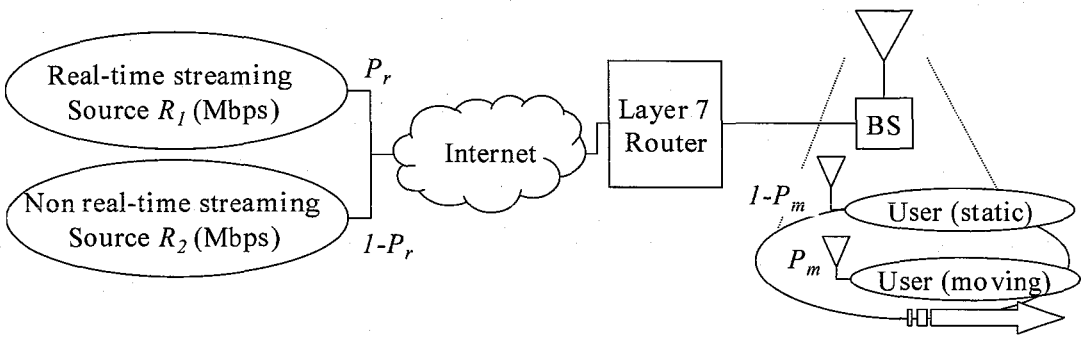


図 4.3: シミュレーションモデル

うものとした．また，移動検出器はユーザがスポット内で静止しているか移動しているか誤りなく判別できるものとした．表 4.4にシミュレーション諸元を示す．スポット長は 50[m] とした．周波数帯と帯域幅は IEEE 802.11a 準拠であるとし，変調方式は QPSK 変調を固定的に利用するとした．TDM フレームは 1 フレームが 10[msec] でタイムスロット数が 32 であるとした ($U = 32$)．無線通信路はライスフェージングを想定し，スポット内の位置によらずで平均 CNR が等しいものとした．提案方式ではユーザの移動速度を端末がアップロードする必要があるが，送信間隔がフレーム長と比較して無視できるほど小さいため，影響はないものとした．

シミュレーションでは，リアルタイムストリームに対するサービス品質を遅延なく受け取れたデータのスループットで評価し，非リアルタイムストリームに対するサービス品質を受信データ量にて評価する．

4.5　非リアルタイムストリームのビットレートに対するサービス品質特性

図 4.4 (a), (b) に Class 2 と Class 3 ユーザの非リアルタイムストリームのビットレート R_2 に対する受信データ量特性を示す．図には R_1, P_r, P_m がそれぞれ，64 [kbps]，0.5，0.5 の場合の特性を示す．比較のため，図には提案方式の特性とともに，“Band-equal” 方式と “Bit Rate” 方式，“Mobility” 方式を用いた場合の特性を示す．“Band-equal” 方式はデータを要求している全てのユーザに対して均等にタイムスロットを割り当てる方式である．従って，n 人のユーザがデータを要求して

表 4.4: シミュレーション諸元

通信路モデル	ライスフェージング ($k = 5$ [dB])
周波数帯	5.2 GHz
帯域幅 Δf	12MHz
スポット長	50m
最大ユーザ数	8
移動ユーザの速度	正規分布 (平均 9 km/h, 分散 = 2 km/h)
ビデオ時間長	60 [sec]
ユーザ到着間隔	指数分布 (Ave 20 [sec])
下り多重方式	Dynamic TDM($U = 32$ [slots])
フレーム長	10 [msec]
変調方式	QPSK

いる場合には，各ユーザの割当タイムスロット数は $u_i = U/n$ となる．“Bit Rate” 方式はビデオストリームビットレート β を満たすだけのタイムスロットを各ユーザに割り当てる方式である．従って，各ユーザの割当タイムスロット数 u は最低要求タイムスロット数 u' に等しくなる．“Mobility” 方式はユーザの移動状況 m のみに応じてタイムスロットを割り当てる．割り当てられるタイムスロット数は式 (4.7) のように決定される．

$$u_1 : u_2 : u_3 : \ldots : u_n = v_1 : v_2 : v_3 : \ldots : v_n \tag{4.7}$$

v はユーザの移動速度であり，静止しているユーザの移動速度の値は 1 を代入する．

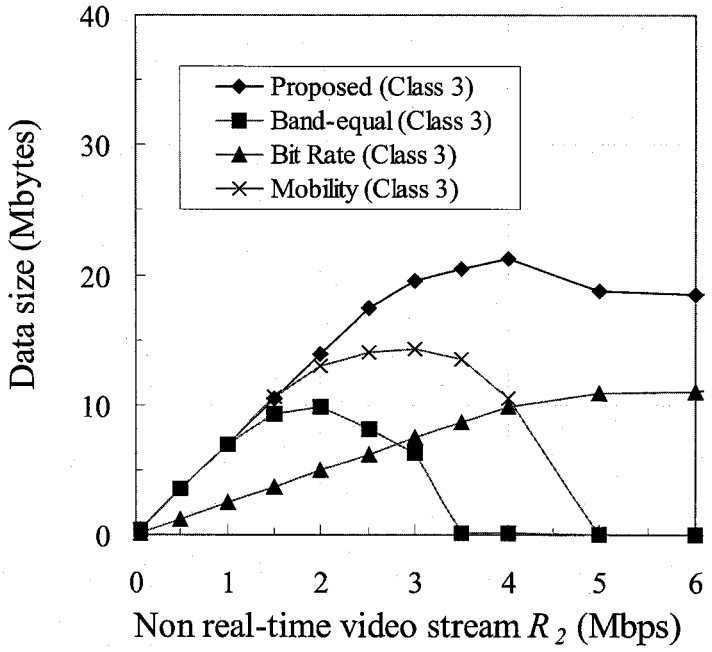
図 4.4 (a) より，R_2 の値が小さい場合には，移動している Class 3 のユーザに対して “Band-equal” 方式や “Mobility” 方式も提案方式と同等の特性を示すことが分かる．例えば，R_2 が 1[Mbps] の場合，提案方式と “Band-equal” 方式，“Mobility” 方式を用いた場合の特性は 6.98[Mbytes] である一方で，“Bit Rate” 方式は 2.48[Mbytes] であることが分かる．“Bit Rate” 方式はビットレートを満たす最小の無線リソースを割り当てるが，ユーザの移動を考慮しないためユーザの滞在時間の制約によっ

て受信データ量が減少する．“Band-equal” 方式と “Mobility” 方式はユーザの移動を考慮していないが，R_2 の値が小さい場合には十分なタイムスロットを Class 3 のユーザに割り当てることが可能なため，受信データ量特性は劣化しない．しかし，従来方式は R_2 の値が 1.5[Mbps] 以上になると，受信データ量特性が劣化する．例えば，$R_2 = 2.5$ [Mbps] の場合には提案方式の受信データ量が 17.4[Mbytes] である一方で，“Band-equal” 方式と “Bit Rate” 方式，“Mobility” 方式の特性は，それぞれ 9.9[Mbytes]，6.2[Mbytes]，14.0[Mbytes] である．これは提案方式が他のクラスのユーザより多くのタイムスロットを式 (4.5) に基づいて Class 3 のユーザに割り当てるからである．“Mobility” 方式はユーザの移動を考慮しているため，“Band-equal” 方式よりも高い受信データ量特性を示すが，提案方式と比べて受信データ量が低いことが分かる．これは，“Mobility” 方式がリアルタイムストリームを利用する Class 0 と Class 1 のユーザに必要以上のタイムスロットを割り当てることで，Class 3 のユーザに割り当てることが可能なタイムスロット数が減少しているからである．

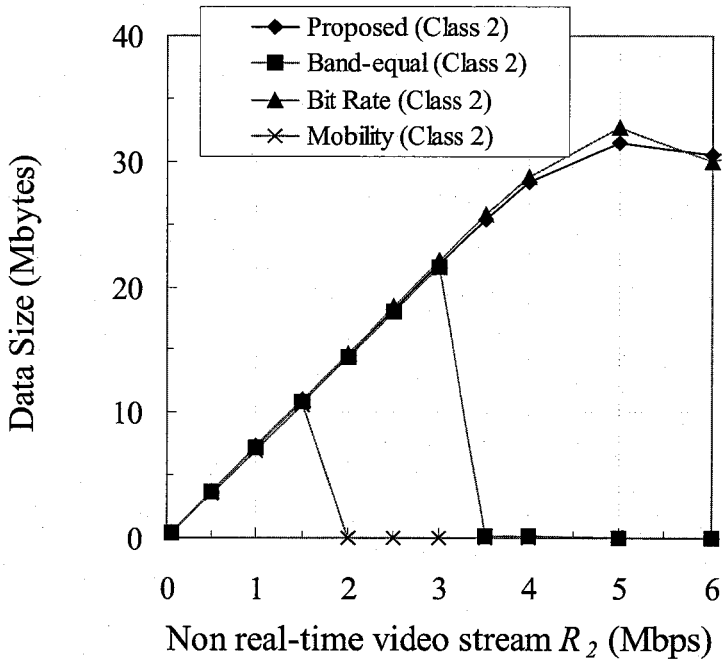
図 4.4 (b) より，静止している Class 2 のユーザの受信データ量特性は，提案方式と “Bit Rate” 方式を用いると他の方式よりも大きくなることが分かる．“Band-equal” 方式と “Mobility” 方式の特性はそれぞれ，$R_2 = 3$ [Mbps]，$R_2 = 1.5$ [Mbps] の地点から劣化することが分かる．これは，“Band-equal” 方式と “Mobility” 方式がストリームのビットレート β を考慮せずにタイムスロットを割り当てるため，R_2 の増大によって無線リソース量が不足するからである．

図 4.5に Class 0 と Class 1 ユーザの非リアルタイムストリームのビットレート R_2 に対するスループット特性を示す．図には R_1, P_r, P_m がそれぞれ，64 [kbps]，0.5，0.5 の場合の特性を示す．比較のため，図には提案方式の特性とともに，“Band-equal” 方式と “Bit Rate” 方式，“Mobility” 方式を用いた場合の特性を示す．図 4.5 より，提案方式の特性は ‘Band-equal”，“Bit Rate” 方式，“Mobility” 方式といった他の方式と比べて劣化していないことが分かる．これは提案方式がリアルタイムストリームに対して優先的に無線リソースを割り当てているからである．

図 4.4，4.5より提案方式はリアルタイムストリームを利用するユーザの特性を劣化させずに，移動しながら非リアルタイムストリームを利用するユーザの特性を改善できることを明らかにした．



(a) 移動ユーザ（Class 3）



(b) 静止ユーザ（Class 2）

図 4.4: 非リアルタイムストリーム R_2 に対する Class 2 と Class 3 ユーザの受信データ量特性 (R_1 = 64Kbps).

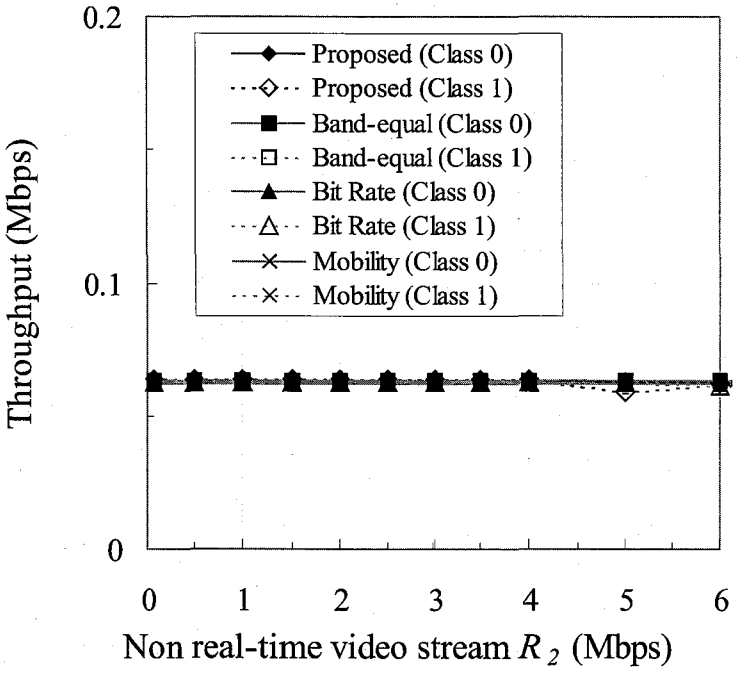
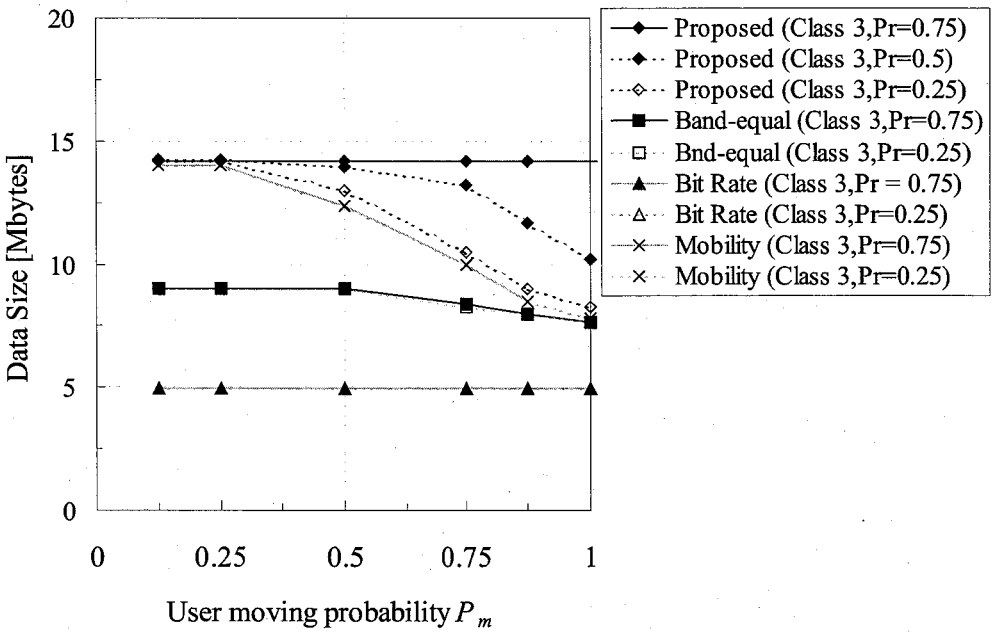


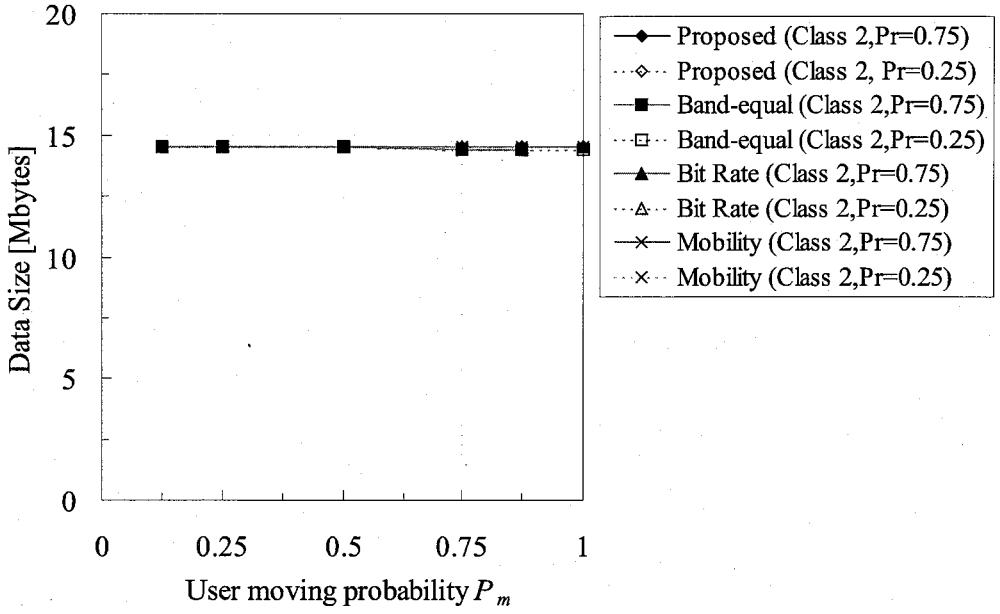
図 4.5: リアルタイムストリーム R_2 に対する Class 0 と Class 1 ユーザのスループット特性 (R_1 = 64Kbps).

4.6　ユーザ移動やトラヒック比率に対するサービス品質特性

図 4.6(a),(b) に移動ユーザの割合 P_m に対する Class 2,Class3 ユーザの受信データ量特性を示す．図には R_1 と R_2 がそれぞれ 2[Mbps]，2 [Mbps] の場合の特性を示す．図には $P_r = 0.75$，0.5，0.25 の場合の特性をそれぞれ示す．比較のため，図には提案方式の特性とともに，“Band-equal” 方式と “Bit Rate” 方式，“Mobility” 方式を用いた場合の特性を示す．図 4.6(a) より，提案方式は他の方式と比べて，P_m の値によらず Class 3 ユーザの特性が改善することが分かる．例えば，P_r が 0.75 で P_m が 0.875 の場合，提案方式の特性が 14.6[Mbytes] である一方で “Band-equal” 方式，“Bit Rate” 方式，“Mobility” 方式の特性はそれぞれ 7.95[Mbytes]，4.95[Mbytes]，8.5[Mbytes] であることが分かる．これは P_r が大きい場合には，Class 3 ユーザの数が減少するため，式 (4.3) によって割り当てられる Class 3 ユーザのタイムスロット数が増加するからである．図 4.6(a) より，P_r が小さい場合には提案方式の特性

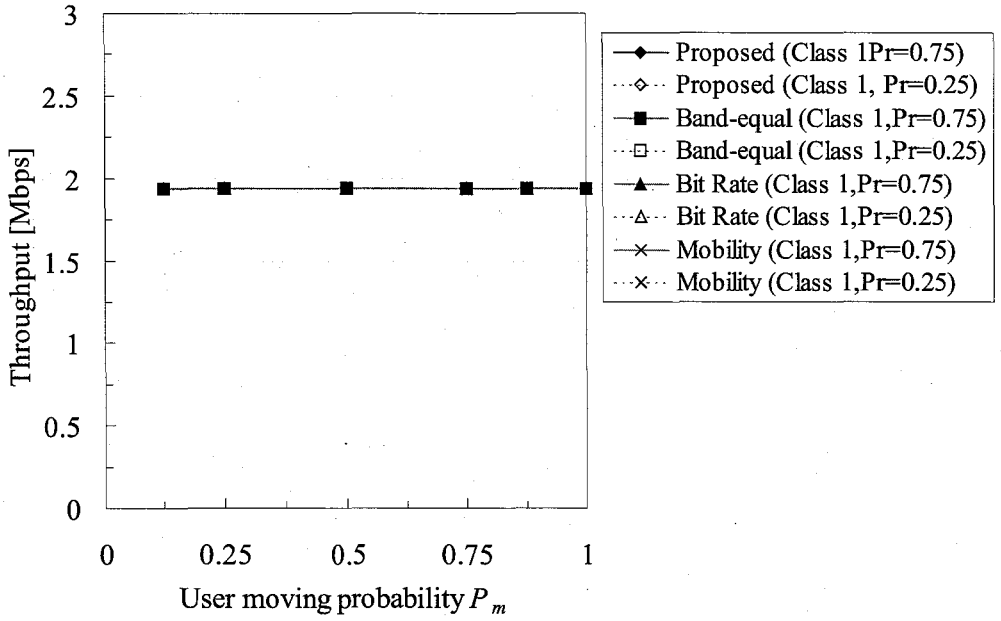


(a) 移動ユーザ（Class 3）

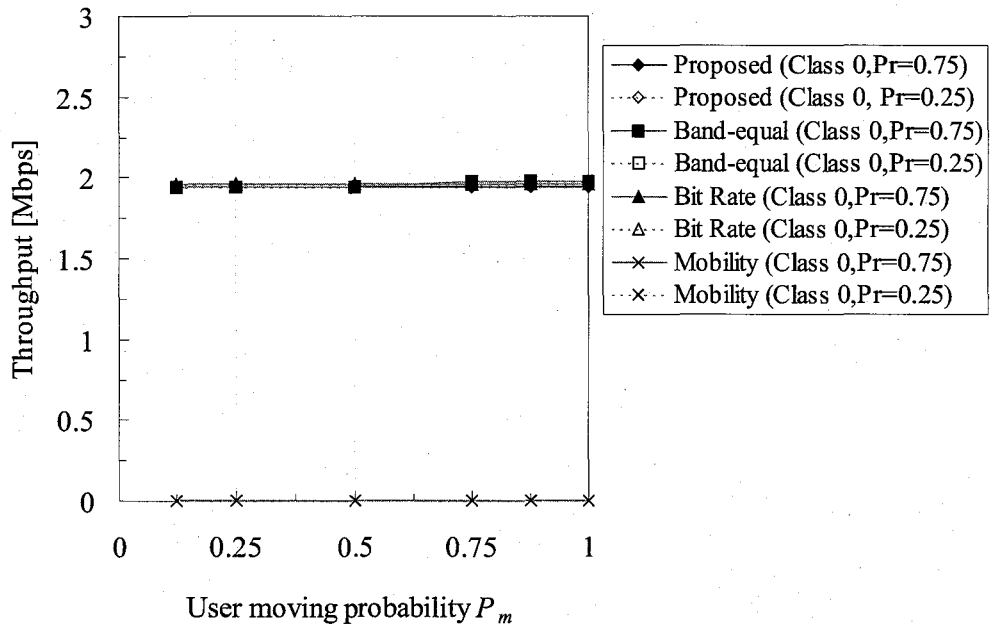


(b) 静止ユーザ (Class 2)

図 4.6: P_m と P_r に対する Class 2，Class 3 ユーザの受信データ量特性



(a) 移動ユーザ（Class 1）



(b) 静止ユーザ (Class 0)

図 4.7: P_m と P_r に対する Class 0，Class 1 ユーザのスループット特性

は劣化するが，従来方式よりも高い特性を示すことが分かる．これは提案方式が Class 0 から Class 2 のユーザが割り当てた余りのタイムスロットを Class 3 ユーザに割り当てるからである．図 4.6(b) より明らかなように，提案方式を用いると Class 2 ユーザの特性は他の方式を用いた場合と同程度であることが分かる．これは提案方式が Class 2 ユーザに対して最低要求タイムスロット u' を満たすようにタイムスロットを割り当てるからである．

図 4.7に移動ユーザの割合 P_m に対する Class 0,Class 1 ユーザのスループット特性を示す．図には R_1 と R_2 がそれぞれ 2[Mbps]，2 [Mbps] の場合の特性を示す．図には $P_r = 0.75$，0.5，0.25 の場合の特性をそれぞれ示す．比較のため，図には提案方式の特性とともに，“Band-equal” 方式と “Bit Rate” 方式，“Mobility” 方式を用いた場合の特性を示す．図より，提案方式を用いた場合の特性は他の方式を用いた場合とほぼ同じであることが分かる．これは提案方式がリアルタイムストリームを利用する Class 0，Class 1 ユーザに対して優先的にタイムスロットを割り当てるからである．本節の結果から，提案方式を用いると移動ユーザの割合 P_m やリアルタイムストリームを要求するユーザの割合 P_r の値よらず，他の方式と比べて高い方式を示すことが分かる．

4.7 結言

本章では，スポット無線アクセスにおけるモビリティとトラヒッククラスに応じた無線リソースマネジメントを行う無線周波数リソースエージェントを提案した．本エージェントは，ユーザの移動状況とトラヒックの種類に応じて設定したサービスクラスに応じてタイムスロットを割り当てる．例えば，滞在時間が小さいユーザが即時性の低いトラヒックを要求している場合，受信データ量が向上するように多くのタイムスロットを割り当てる．本章では無線 LAN に適用した場合について計算機シミュレーションを行った結果，提案方式により，固定的に無線伝送方式を用いる従来方式と比べて，リアルタイムトラヒックを利用するユーザのスループット特性や静止して非リアルタイムトラヒックを利用するユーザの受信データ量特性を劣化させずに，移動しながら非リアルタイムトラヒックを利用するユーザの受信データ量特性が約 2 倍に改善されることを示した．

第 5 章　ユーザ効用を考慮した無線周波数リソースエージェント

5.1　序言

高速伝送が達成可能な無線 LAN (Local Area Network) が急速に普及しているが，複数ユーザによるリソースの共有や通信路品質の劣化によって実効伝送速度は急激に劣下し，サービスに満足するユーザ数が減少する．

実効伝送速度の低下への対策として，効率的な周波数利用を実現する無線リソースマネジメントが検討されている [70]-[71]．しかし，これまでの方式はスループットや誤り率の公平性を達成することを目的としているため，必要な無線リソース量が少ないユーザの満足度が向上する一方で，必要な無線リソース量が多いユーザの満足度が低下する．

ところで，通信サービスに対するユーザの満足度はユーザ効用と呼ばれ，満足度とサービスの品質を対応付ける関数をユーティリティ関数あるいは効用関数 (Utility Function) と呼ぶ．文献 [35][49][51] では WWW (World Wide Web) からデータを取得完了するまでの待ち時間とユーザ満足度の関係を主観評価実験によって測定し，効用関数を導出している．文献 [35][49][51] では，待ち時間が増大するとユーザ満足度は指数的に減少することが示されている．

そこで，本章では文献 [35] に示されたユーザ効用を考慮した無線リソースマネジメントを実現する無線周波数リソースエージェントを提案する．提案する無線周波数リソースエージェントは効用関数からユーザの待ち時間の許容値を計算し，予想される待ち時間が許容値以内に収まるユーザ数が最大になるように無線リソースマネジメントを行う．例えば予想待ち時間が許容値より大きいユーザは，待ち時間の許容値以内にデータを取得できるよう多くの無線リソースを割り当て，予想待ち時間が許容値より十分小さいユーザは，割当無線リソース量を減らす．本章では無線 LAN 環境においてユーザが WWW を利用したときについて計算機シミュレーションを行い，待ち時間に対するユーザ満足度の評価結果から提案方式の有効性を示す．

5.2 ユーザ効用

5.2.1 ユーザ効用の定義

効用 [74] とはミクロ経済学の用語であり，人が財を消費することから得られる満足の大きさを表すものである．これを通信サービスに対するユーザの満足度に適用したものがユーザ効用である．ユーザ効用はサービスの品質によって変化し，ユーザがあるサービスを受けて，そのサービスに満足した場合ユーザ効用は向上し，不満があった場合ユーザ効用は低下する．例えば，WWW 等のデータダウンロード型のアプリケーションにおいて，そのサービス品質は要求したデータのダウンロードが完了するまでの待ち時間に大きく依存しており，待ち時間が短ければユーザ効用は大きく，待ち時間が長ければユーザ効用は小さい [35].

一方，各ユーザ効用の平均値を求め，MOS 値（Mean Opinion Score）として扱うことでシステム評価に用いることができる．MOS 値は被験者数 n，被験者 i の評価値 a_i として次のように求められる．

$$\text{MOS 値} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} a_i \tag{5.1}$$

ここで，サービス品質とそれに対するユーザ効用の MOS 値の関係を数式化したものを効用関数と定義する．効用関数を用いることで，システムに対するユーザの満足度を定量的に評価することが可能となる．

5.2.2 待ち時間に対するユーザ効用

データダウンロードサービスにおいて，要求したデータのダウンロードが完了するまでにかかる待ち時間は，ユーザの満足度を決定する支配的要因の 1 つである．この待ち時間とユーザ効用の関係は主観評価実験により求めることができる．ユーザが実際にウェブブラウジング及びファイルダウンロードを行い，データの取得が完了するまでの待ち時間の違いが満足度にどのような影響を与えるかについての主観評価実験が行われており，待ち時間に対するユーザ効用の MOS 値が算出されている [35][49][51]．この主観評価は，国際電気通信連合通信部門（ITU-R : International Telecommunication Union - Radio communication sector）で動画像の主観評価法として勧告されている ITU-R BT. 500-10[75] に定められた二重刺激

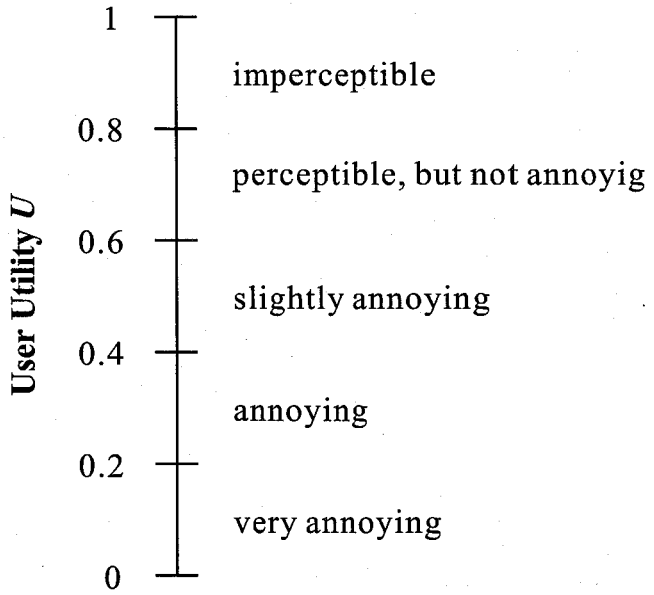


図 5.1: 二重刺激劣化尺度法における 5 段階劣化尺度

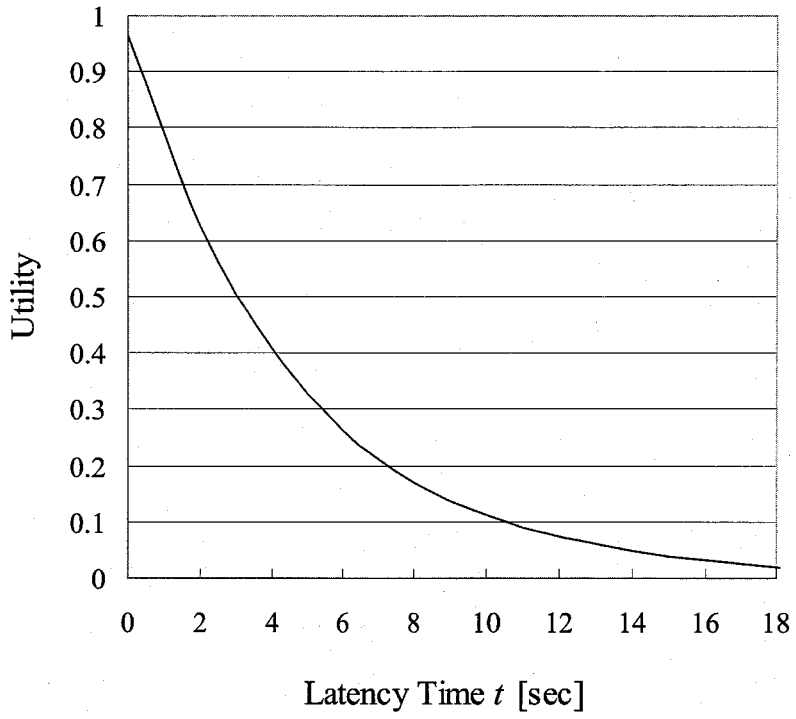


図 5.2: 待ち時間に対するユーザ効用

劣化尺度法（DSIS : Double-stimulus impairment scale）の提示法 Variant II に従って実施されたものである．DSIS Variant II は，絶対品質となる基準画像の提示と評価対象となる評価画像の提示を繰り返す方式であるが，ここでは基準時間の提示と評価時間の提示を繰り返す形にしている．評価方法については，基準と比較した待ち時間に対する劣化の度合いを，図 5.1に示す 5 段階劣化尺度に基づいて判定している．

本章では，文献 [35] の主観評価実験で得られた効用関数をリソースマネジメントに適用する．図 5.2に本章で利用する待ち時間に対する効用関数を示す．

5.3 ユーザ効用を考慮した無線リソースマネジメント

5.3.1 システム構成

図 5.3にユーザ効用を考慮した無線リソースマネジメントに敵したシステム構成図を示す．ユーザがデータを要求するとサイズチェッカ (Size Checker) がユーザの要求データを推測し，推定値を無線周波数リソースエージェントに伝える．無線周波数リソースエージェントが要求データサイズ S と受信 CNRγ に応じて伝送モード m，タイムスロット u を選択する．伝送モード m は IEEE 802.11a に準拠しており [16]，表 5.1に示すような変調方式と符号化率 R から構成された 8 種類のモードから選択される．ここで，k は各変調方式の 1 シンボル当たりのビット数，η[bps/Hz] は周波数利用効率である．次に，パケット処理装置（Packet Processing Unit）は無線周波数リソースエージェントが決定した伝送パラメータをパケットのデータリンクヘッダに挿入する．無線基地局では，このヘッダに従ってタイムスロットマネージャ（Time Slot Manager）によるスロット割り当て，畳み込み符号化器（Convolutional Encoder）による誤り訂正符号化，適応変調器（Adaptive Modulator）による変調が行われ，端末に無線信号が送信される．

端末では，データリンクヘッダに従って復調や復号が行われる．端末の受信信号は適応復調器（Adaptive Demodulator）によって復調され，ビタビ復号化器（Viterbi Decoder）によって誤り訂正復号化が行われる．次に，タイムスロットマネージャによって自局宛のデータリンクフレームが選択され，パケット処理装置によって受信パケットがアプリケーションのデータ単位に組み立てられる．

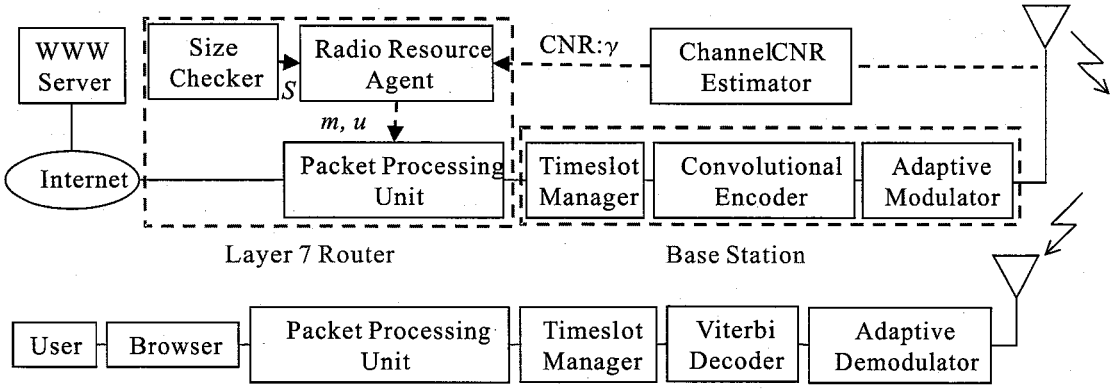


図 5.3: システム構成図

表 5.1: 無線伝送モード

伝送モード m	変調方式 (k)	符号化率 R	η [bps/Hz] $= k \times R$
1	BPSK (1)	1/2	0.5
2	BPSK (1)	3/4	0.75
3	QPSK (2)	1/2	1
4	QPSK (2)	3/4	1.5
5	16QAM (4)	1/2	2
6	16QAM (4)	3/4	3
7	64QAM (6)	2/3	4
8	64QAM (6)	3/4	4.5

5.3.2 リソースマネジメントアルゴリズム

本章で提案するアルゴリズムは，各ユーザの要求データサイズ S と受信 CN 比 γ に応じて，無線伝送モードの選択とスロット割り当てを行うものである．まず，無線周波数リソースエージェントは各ユーザの受信 CN 比の推定値 γ から周波数利用効率 $\beta(m,\gamma)$ が最大となるように伝送モード m を選択する．すなわち，

$$m = \arg[\max\{\beta(m,\gamma)\}] \tag{5.2}$$

を満たす伝送モード m が選択される．ここで，$\beta(m,\gamma)$ は，

$$\beta(m,\gamma) = \eta(m,\gamma)\{1 - P(m,\gamma)\} \tag{5.3}$$

で定義される．ただし，$P(m,\gamma)$ は CN 比が γ[dB] のときに伝送モード m を用いた場合のパケット誤り率である．図 5.4に AWGN 環境下における各伝送モードの周波数利用効率 $\beta(m,\gamma)$ を示す．図 5.4より，例えば，受信 CN 比が 10.0[dB] のとき，$m = 5$ が選択されることがわかる．しかし，受信 CN 比が 12.6[dB] より大きくなると $m = 6$ の周波数利用効率の方が大きくなるので，$m = 6$ が選択される．

次に，無線周波数リソースエージェントは，同時にアクセスしているユーザ各々に割り当てるタイムスロット数を待ち時間に対するユーザの効用を考慮して割り当てる．

提案アルゴリズムでは，待ち時間に対するユーザの満足度はユーザ効用 U によって定義される．本章では，文献 [35] の測定結果から得られた図 5.2の効用関数を利用する．待ち時間 t に対するユーザ効用 U は以下のように表すことができる．

$$U(t) = 0.965e^{-0.216t} \tag{5.4}$$

提案アルゴリズムの目的は，サービスに満足すると感じるユーザ数を最大化することである．本章では不満を感じることなくデータをダウンロードするのに必要なユーザ効用の目標値 U_t を図 5.1から 0.7 と設定する ($U_t = 0.7$).

まず提案アルゴリズムでは，各ユーザの伝送速度が等しくなるようにタイムスロット u を割り当てた場合の，推定待ち時間 T_r を式 (5.5) から計算する．

$$T_r = \Delta t_i + \frac{\Delta S_i}{\eta_i \cdot \Delta f \cdot (u_i/u_{all})} \tag{5.5}$$

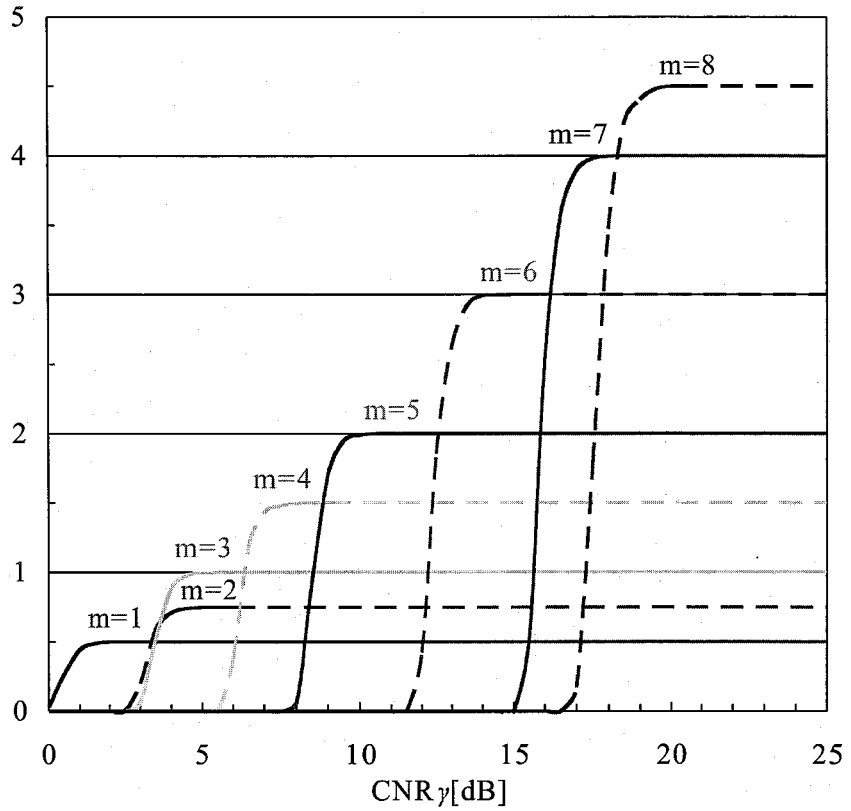


図 5.4: AWGN 環境下における各伝送モードの周波数利用効率

ここで，Δt_i[sec] はその時点までのダウンロードに要した時間，ΔS_i[Bytes] はまだダウンロードが終わっていない残りのデータのサイズ，Δf[Hz] は伝送帯域幅，u_{all} は全体タイムスロット数であり，式 (5.6) と表せる．ダウンロード終了時間を推定する際のスロット数 u は式 (5.7) に基づき決定する．

$$\sum_{i=1}^{n} u_i = u_{all} \tag{5.6}$$

$$u_1 : u_2 : \cdots : u_n = \frac{1}{\eta_1} : \frac{1}{\eta_2} : \cdots : \frac{1}{\eta_n} \tag{5.7}$$

次に，$t = T_r$ のときのユーザ効用の値を式 (5.4)) を用いて計算し，算出した効用の値と目標値 U_t とを比較する．その結果，$U(T_r) < U_t$ であれば，次式を満たす

ようにスロットが割り当てられる．

$$\frac{u_i}{u_{all}} = \frac{\Delta S_i}{\eta_i \cdot \Delta f \cdot (T_t - \Delta t_i)}, \quad \sum_{i=1}^{n} u_i \leq u_{all} \tag{5.8}$$

ここで，T_t は効用が U_t となるときの待ち時間である．このスロット割り当ては n ユーザの間で T_r の小さい順に行われ，スロットが不足するときは行われない．条件を満たさなかったユーザに対しては残りのスロットを式 (5.7) に基づいて残りのユーザ間で伝送速度が等しくなるようにスロットが割り当てられる．以上のアルゴリズムにより，効用の目標値を達成できる可能性のあるユーザに対して優先的に多くのスロットが割り当てられる．

本アルゴリズムは，ユーザが新たにデータを要求する，あるいは，あるユーザのダウンロードが完了することによってサービス利用中のユーザ数が変化するたびに実行される．

5.4 シミュレーション諸元

本章では，1つの無線スポット内で複数のユーザがデータをダウンロードする場合の待ち時間特性について，計算機シミュレーションにより評価を行う．図5.5にシミュレーションモデルを示す．本シミュレーションでは，基地局を中心とする円形のサービススポット内に一様に分布する50人のユーザを仮定し，各々のユーザが互いに独立な指数分布に従う時間間隔でデータを要求するものとした．ただし，ユーザはダウンロード中のデータの受信が完了するまで次のデータを要求しないものとした．WWWデータは有線インターネットを経由してダウンロードされるが，有線リンクの伝送帯域幅は無線リンクに比べて十分広いため，有線リンクでの遅延は無視できるものとし，無線リンクで要する待ち時間のみを考慮した．各々のユーザの受信CN比は基地局からの距離減衰を考慮して24[dB]から4[dB]まで変化するものとした．

表5.2にシミュレーション諸元を示す．WWWのデータサイズはp.d.f.（Probability Distribution Function）が

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma X} \exp\left[\frac{-(\ln X - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \tag{5.9}$$

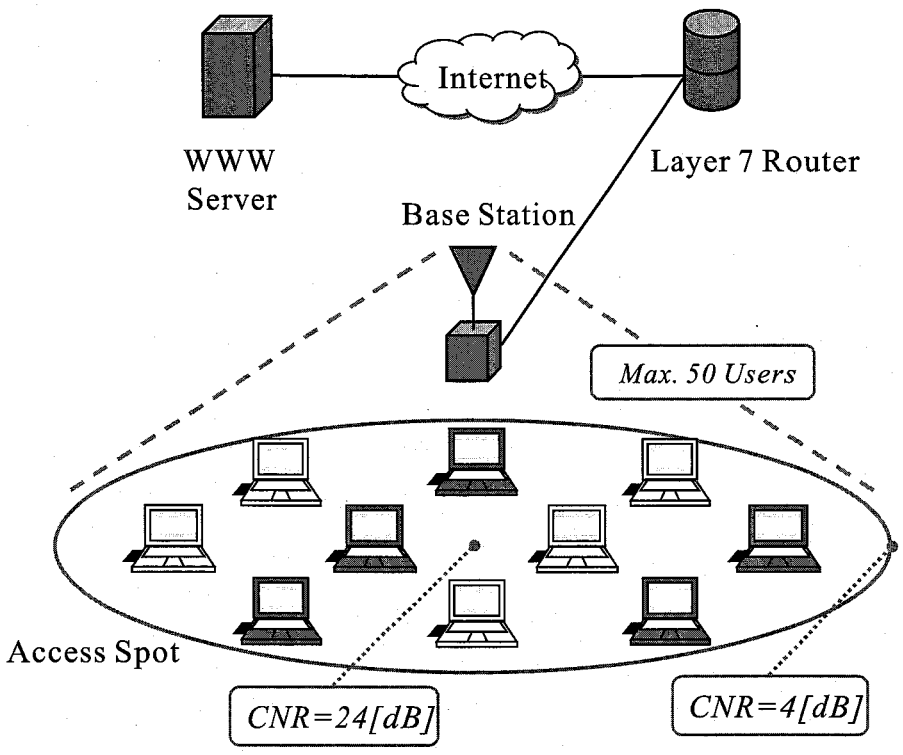


図 5.5: シミュレーションモデル

で表される対数正規分布に従うものとした [76]. 通信路モデルとしては，受信機がマルチパスフェージングを完全に補償できると仮定して，AWGN（Additive White Gaussian Noise）無線通信路を想定した.

5.5 ユーザ効用特性

5.5.1 ユーザ効用確率分布

図 5.6にユーザ効用の累積確率分布特性を示す．比較のため，図には提案方式（"Utility-based prop"）の特性とともに，"Band-equal" 方式と "Speed-equal" 方式を用いた場合の特性を示す．"Band-equal" 方式はデータを要求している全てのユーザに対して均等にタイムスロットを割り当てる方式である．従って，n 人のユーザがデータを要求している場合には，各ユーザの割当タイムスロット数は $u_i = U/n$ となる．"Speed-equal" 方式は式（5.7）にもとづいて各ユーザの伝送速度が等しくなるようにタイムスロットを割り当てる.

表 5.2: シミュレーション諸元

周波数帯	5.2GHz
伝送帯域幅	12MHz
伝搬路モデル	AWGN
受信 CN 比	4〜24[dB]
スポットサイズ	半径 50m
変調方式	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
誤り訂正符号	畳み込み符号 拘束長 = 7 符号化率 = 1/2, 2/3, 3/4
再送制御	Stop and Wait ARQ
下り多重方式	Dynamic TDM
フレーム長	10[msec]
ユーザの要求間隔	指数分布 (Ave. 30[sec])
ユーザ数	最大 50
データサイズ	対数正規分布 (μ=13, σ=1.3)

図 5.6より，目標とする効用値 $U_t = 0.7$ とした場合には，提案方式を用いることでユーザ効用が 0.7 以上となるユーザ数が増加することが分かる．例えば，提案方式 (“Utility-based prop(U_t=0.7)”) を用いた場合，69%のユーザのが効用がサービスに不満を感じない目安となる 0.7 以上を達成するのに対し，“Band-equal” 方式と “Speed-equal” 方式を用いた場合はそれぞれ 53%と 52%である．これは提案方式ができるだけ多くのユーザの効用が 0.7 以上となるようにタイムスロットを割り当てているからである．また図 5.6より，提案方式において目標となる効用値 U_t をそれぞれ設定すると，その目標値を達成するユーザ数が増加することが分かる．例えば，U_t=0.5 の場合には，提案方式を用いることで効用が 0.5 以上を達成するユーザ数が増大する．

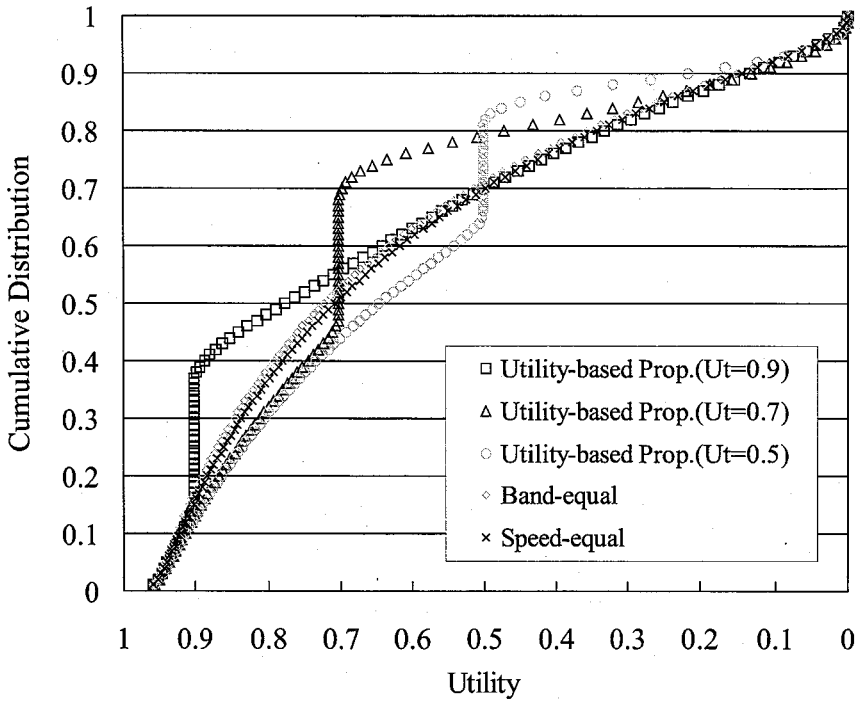


図 5.6: ユーザ効用の累積分布特性

5.5.2 要求データサイズに対するユーザ効用特性

図 5.7に要求データサイズに対するユーザ効用特性を示す．図には U_t=0.7 の場合の提案方式 (“Utility-based prop”) の特性を示す．比較のため，図には提案方式の特性とともに，“Band-equal” 方式と “Speed-equal” 方式を用いた場合の特性を示す．図 5.7より，要求データサイズが 300 [KBytes] 以上 2[MBytes] 以下の場合には, 提案方式を用いると従来方式と比較してユーザ効用が向上することが分かる．例えば，要求データサイズが 800[KBytes] の場合には，提案方式を用いた場合の特性が 0.6 であるのに対し，“Band-equal” 方式と “Speed-equal” 方式を用いた場合の特性はそれぞれ 0.38 と 0.36 になる．これは提案方式がユーザ効用が U_t 以下のユーザの中でより U_t に近いユーザから順番に，タイムスロットを U_t を達成できるよう割り当てるからである．

図 5.7より，要求データサイズが 300[Kbytes] 以下の場合には，提案方式を用いた場合の特性は従来方式と比較してわずかに劣化する．しかし，効用値は 0.7 以上

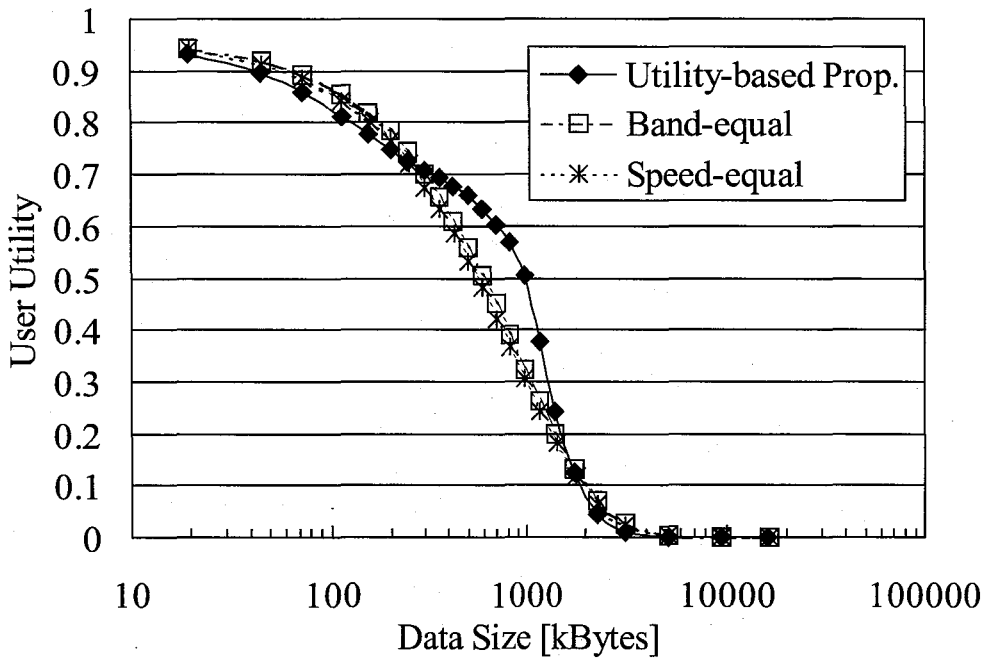


図 5.7: 要求データサイズに対するユーザ効用

であり，サービスに不満を感じるユーザが増加する確率は非常に低い．図 5.7より，要求データサイズが 2[Mbytes] 以上の場合には，提案方式を用いた場合の特性は従来方式と比べてわずかに劣化する．しかし，ユーザ効用は従来方式を用い場合でも強く不満を感じる不満を 0.2 以下であるため，サービスに不満を感じるユーザ数が増大する確率は非常に低い．

5.6 要求データサイズに対する待ち時間特性

図 5.8に要求データサイズに対する平均待ち時間特性を示す．図には U_t=0.7 の場合の提案方式 (“Utility-based prop”) の特性を示す．比較のため，図には提案方式の特性とともに，“Band-equal” 方式と “Speed-equal” 方式を用いた場合の特性を示す．図より，要求データサイズが 2[Mbytes] 以上の場合には，提案方式を用いた場合の待ち時間特性が従来方式と比べて劣化することが分かる．しかし，図 5.7で述べたように，2[Mbytes] 以上の場合にはユーザ効用はほとんど劣化しない．これは待ち時間が大きくなると，ユーザが待ち時間の経過に対して鈍感になるため，満

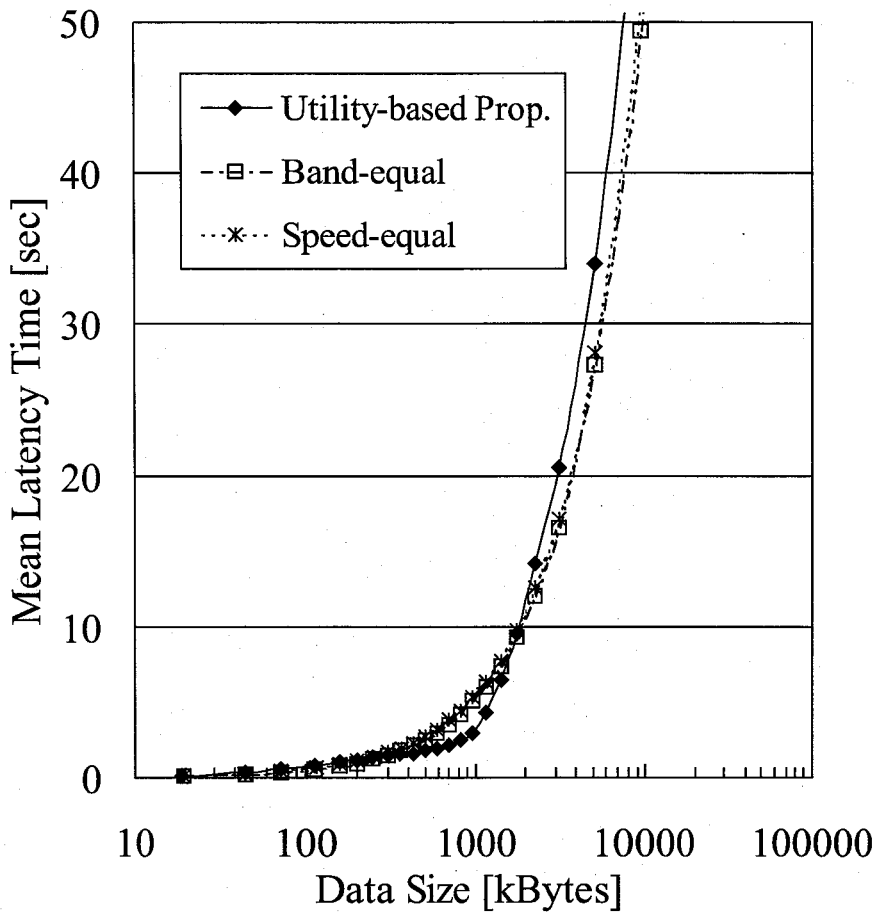


図 5.8: 要求データサイズに対する待ち時間特性

足度の劣化が小さくなるからである．図 5.8より，要求データサイズが 300[Kbytes] 以上 2[Mbytes] 以下の場合には，提案方式を用いた場合の待ち時間特性が従来方式と比べて，改善することが分かる．これは図 5.7におけるユーザ効用が大きく向上している範囲と一致しており，提案方式が割当タイムスロット数をわずかに増加させることでユーザ満足度が大きく向上していることが分かる．

5.7 結言

本章ではユーザ効用を考慮した無線リソースマネジメントを実現する無線周波数リソースエージェントを提案した．提案する無線周波数リソースエージェントは

効用関数からユーザが満足できる待ち時間の許容値を計算し，予想される待ち時間が許容値以内に収まるユーザ数が最大になるように無線リソースマネジメントを行う．無線 LAN 環境においてユーザが WWW を利用する場合について計算機シミュレーションを行い，待ち時間に対するユーザ満足度特性の評価を行った結果より，提案方式を用いることでタイムスロットをユーザ効用を考慮せずに割り当てる従来方式と比べて，データ取得までの待ち時間に対して満足するユーザ数が約 1.4 倍に改善し，本エージェントの有効性を示した．

第 6 章　異種無線ネットワークにおける SIP を利用した無線ネットワークエージェント

6.1　序言

異種無線ネットワーク環境では無線端末が複数の無線インタフェースを利用可能であるため，複数の無線インタフェースを切り替えるハンドオーバ技術のような無線アクセスネットワーク (RAN:Radio Access Network) 間の連携が必要となる．異なる無線アクセスネットワーク間でのバーチカルハンドオーバ (Vertical Hanover) とよばれ，様々な手法が検討されている [77]-[80]．このようなヴァーチカルハンドオーバは端末が利用可能な複数の無線アクセスネットワークの中から 1 つのアクセスネットワークを選択する．この場合，端末が利用するのは 1 つの IP アドレスとそれに対応する無線インタフェースであるため，シングルホーミング・バーチカルハンドオーバと呼ぶことができる．

しかし，異種無線ネットワーク環境において，端末が複数の IP アドレスとそれに対応する複数のネットワークインタフェースを同時に利用可能にするマルチホーミングによって，複数の無線インタフェースを同時に利用することが可能になると，これまでのシングルホーミング・ヴァーチカルハンドオーバと比較して様々な利点が期待される．文献 [81] はマルチホーミングの利点として，多様なアクセスの利用，障害復旧，負荷分散，マルチキャストや端末の利用可能な周波数帯域の増加などを述べている．特に，マルチホーミングを利用することで同時に利用できる無線インタフェースの数が増加するほどスループットの向上が可能となるというように，無線通信環境での厳しい帯域制限による周波数リソースの制約を解決することが可能である．

ところで，異種無線ネットワーク環境では，それぞれのアクセスネットワークは異なるサブネットに属している場合が多い．従って，異種無線ネットワークの多重を実現するには，それらを第 3 層より上位のレイヤで多重する必要がある．IETF のドラフト [82] ではモバイルルータ (MR:Mobile Router) と Mobile IPv6 を利用

したネットワーク多重方式が提案されている．しかし，複数の無線アクセスネットワークにおける気付アドレス (CoA:Care of Address) を登録するために Mobile IP のプロトコルを変更する必要がある．また，文献 [83] はトランスポート層にネットワーク多重用のプロトコルの実装を提案している．しかし，トランスポート層で専用のプロトコルを利用する必要があるため，TCP (Transmission Control Protocol) and UDP (User Datagaram Protocol) といった既存のトランスポート層プロトコルが利用できなくなる．

そこで本章では，異種無線ネットワーク多重を実現する無線ネットワークエージェントを提案する．提案する無線ネットワークエージェントは，SIP(Session Initiation Protocol)[31] プロトコルを利用して，無線端末上でマルチホームされた異種無線ネットワークを多重する．すなわち，各サービスに対応する複数の SIP セッションに対して，それぞれ異なる RAN を利用するよう割り当てることで異種無線ネットワーク多重を実現する．

本章では，異種無線ネットワーク環境において実験的に提案エージェントによって達成できるスループット特性の評価を行う．さらに，スループットの実験結果から数値計算によって異種無線ネットワークの効率的な多重を実現するために必要な無線ネットワークの選択基準を新たに提案し，提案基準の有効性を示す．

6.2　システム構成

図 6.1に提案方式のネットワーク構成図を示す．提案方式は RAN の選択に SIP プロトコルを利用するため，ネットワーク内には SIP プロキシサーバ (SIP Proxy Server) が設置され，端末である CN (Correspondent Node) と MN (Mobile Node) は SIP クライアントが実装されている．SIP プロキシサーバは SIP のシグナリングメッセージを MN と CN の間で転送する．MN は 2 つの無線インタフェース A と B を有しており，マルチホーミングによって同時に利用可能となっている．各無線インタフェースにはネットワーク上の識別子である SIP の contact URI (Uniform Resource Identifier) がそれぞれ A@networkA.com と B@networkB.com という形式で関連付けられており，それぞれの contact URI は対応する形で IP アドレスを有している．従って，それぞれの無線インタフェースは contact URI，IP アドレス，MAC アドレスを 1 つずつ有している．一方で，CN は 1 つの無線または有線イン

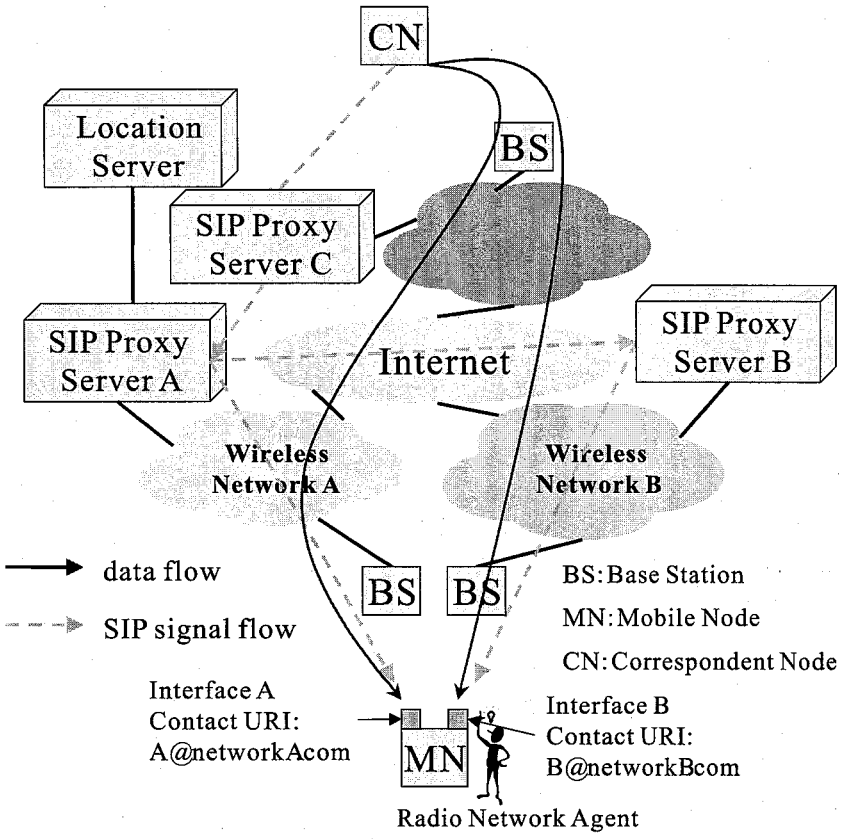


図 6.1: ネットワーク構成図

タフェースのみを有していればよい．MN または CN が SIP セッションを確立しようとする場合は，MN はデータの送受信に利用する無線インタフェースを選択し，それに対応付けられた contact URI を SIP のシグナルフローを利用して CN に送信する．

図 6.2に提案方式のシステム構成を示す．モバイルノード (Mobile Node) は 2 つの無線インタフェースを有している．提案方式では無線ネットワークエージェント (Radio Network Agent) がモバイルノードのアプリケーション層に位置している．無線ネットワークエージェントの役割は，各 SIP セッションに対して柔軟に無線インタフェースを選択することである．提案方式の機能を実現するにはモバイルノードのみが無線周波数エージェントのモジュールを実装していればよい．

図 6.3に無線ネットワークエージェントの構成を示す．コンテクストマネージャ (Context Manager) は様々なコンテクスト情報を収集する．例えば，無線インタ

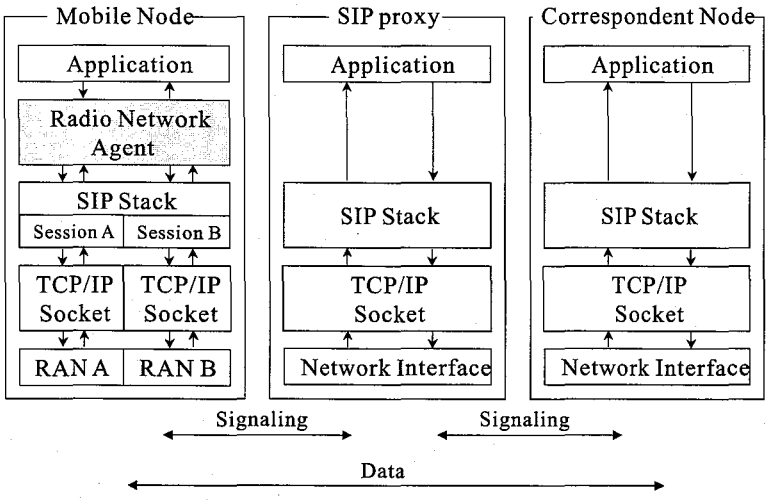


図 6.2: システム構成図

フェースからは無線インタフェースが利用可能であるかというリンク情報 (link condition) を収集し，ユーザの状況 (User Situation) や好み (User Preference) は SIP 上でユーザの振る舞いや状態を記述可能な SIMPLE (SIP for Instant Messaging and Presence Leveraging Extensions) を利用したプレゼンスサービスから収集する．RAN 適応割当アルゴリズム (adaptive RAN allocation algorithm) は各 SIP セッションに対して最も適切な無線インタフェースをそれぞれ割り当てる．アルゴリズムの入力はユーザのコンテクストマネージャが取得したコンテクスト情報や SIP のセッション情報である．セッション情報は SIP セッション確立時に利用される SDP (Session Description Protocol)[84] に記述されている．SDP は利用メディアの情報 (音声/ビデオ/データ) やポート番号，プロトコルの種類 (TCP/UDP)，利用するコーデックの種類 (G.723/H.263) 等が記述可能である．アルゴリズムの出力はどちらの RAN を選択するかという判定結果である．RAN 多重マネージャ (RAN multiplexing manger) は無線インタフェースと contact URI の対応関係を保持しており，割り当てられた無線インタフェースの種類を SIP セッション確立時のシグナリングメッセージ上で contact URI を利用して伝達する．

表 6.1に SIP セッションに対する無線インタフェースの割当例を示す．このように，複数の無線インタフェースが利用可能な場合に，それぞれの無線インタフェースに SIP セッションを割り当てることで，異種無線ネットワーク多重が可能となっ

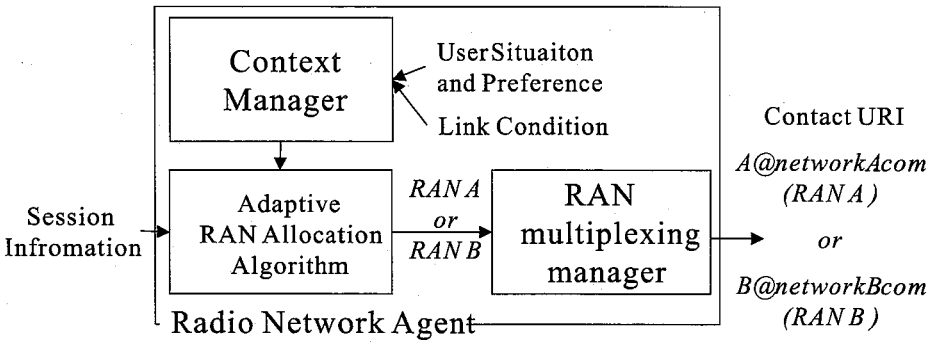


図 6.3: 無線ネットワークエージェントの構成

表 6.1: SIP セッションに対する無線インタフェース割当例

SIP セッション	割当 RAN
セッション 1	RAN A
セッション 2	RAN B
セッション 3	RAN A

ている．この SIP セッションと無線インタフェースの割当は状況に応じて柔軟に変更可能である．

図 6.4に RAN 多重マネージャで管理されている contact URI と無線インタフェースの対応関係を示す．それぞれの無線インタフェースは異なる IP アドレスを割り当てられることでマルチホーミングによる同時利用が可能となっている．SIP スタックはそれぞれの無線インタフェースに contact URI を用意しており，無線ネットワークエージェントが無線インタフェースと contact URI の関係を 1 対 1 に対応付ける．従って，無線ネットワークエージェントがあるサービスに対して RAN A 側の無線インタフェースを選択する場合には，SIP スタックを利用して RAN A 側の無線インタフェースに対応している contact URI である A@networkA.com を利用してセッションの確立を行う．

図 6.5 (a) に CN がセッション MN に対してセッションを確立する場合の提案方式のフローチャートを示す．図には，MN がこのセッションに対して RAN B を選択する場合の例を示す．最初に，CN は SIP プロキシに “Invite ” メッセージを送信

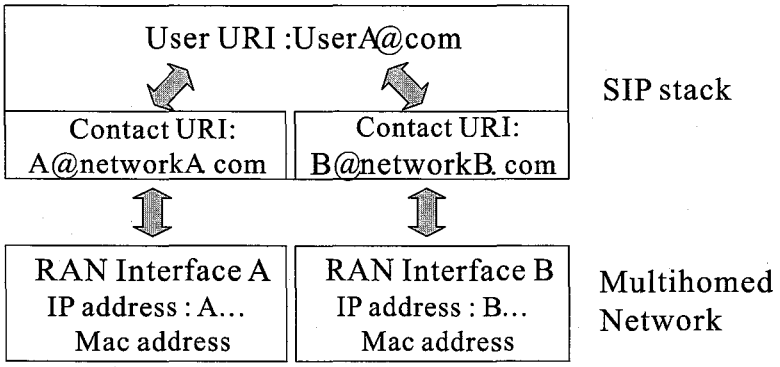
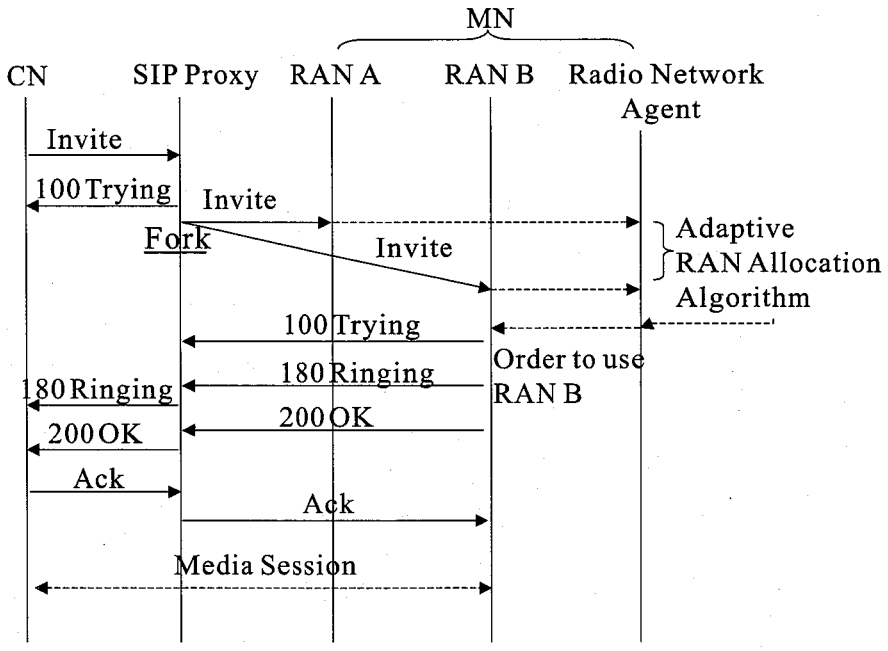


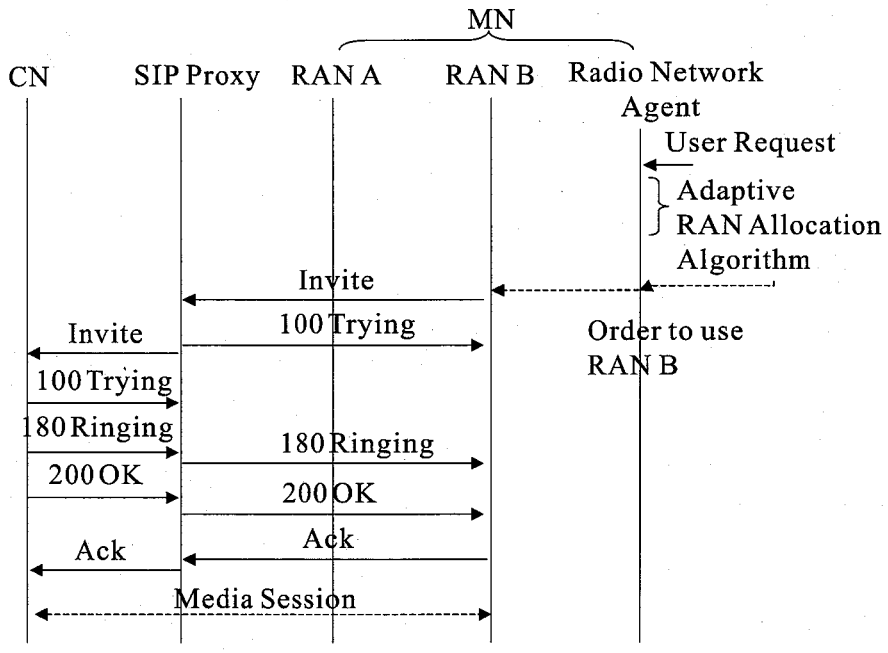
図 6.4: Contact URI と無線インタフェースの対応関係

する．SIP プロキシは MN の有するすべてのインタフェースに送信するため，このメッセージを各 Contact URI 宛に分岐 (Fork) し MN に送信する．この際，“ Invite” メッセージの分岐には SIP プロキシで CPL (Call Processing Language)[85] が利用される．無線ネットワークエージェントが SIP プロキシから各無線インタフェースに送信された “ Invite” メッセージを受信すると，RAN 適応割当アルゴリズムの計算を開始する．図では，無線ネットワークエージェントがアルゴリズムの計算の結果として RAN B を選択し，RAN B 側の無線インタフェースから “ 100 Trying” メッセージを送信する．MN が “ Ack” を RAN B (contact URI: B@networkB.com) から受信すると，通信セッション (Media Session) が CN と MN の間で RAN B 経由で確立される．図 6.5(b) に MN が CN に対してセッションを確立する場合のフローチャートを示す．この場合，無線ネットワークエージェントは最初に RAN 適応割当アルゴリズムを計算する．次に，割り当てられた RAN B に対応する contact URI (B@networkB.com) から MN は “Invite” メッセージを送信する．

このように各 SIP セッションに対して RAN を割り当てることで，MN は複数の無線アクセスネットワークを同時に利用可能となる．利用可能な無線インタフェースが変化した場合には，無線ネットワークエージェントはアルゴリズムの再計算を行い，SIP セッションの更新を行う “Re-Invite” を実行することで無線ネットワークの変更を行う．提案方式では SIP プロキシと MN がシグナリングのやりとりをおこなうことで RAN の割当が可能であるため，CN は MN が複数の無線インタフェースを有していることを事前に知っておく必要はない．



(a)CN が MN に対して接続要求する場合



(b)MN が CN に対して接続要求する場合

図 6.5: 提案方式のフローチャート

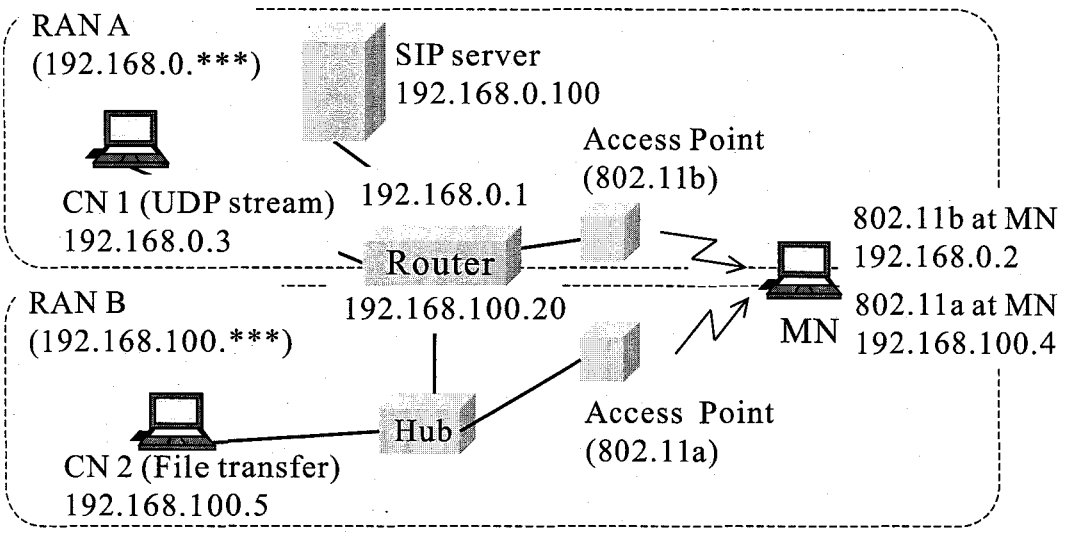


図 6.6: 実験構成図

6.3　異種無線ネットワーク多重実験

本章では端末が 2 つの無線インタフェースを利用可能な状況を想定し，実験によってスループット特性について評価を行った．図 6.6に実験構成を示す．2 つのプライベートネットワーク RAN A と RAN B がルータを介して接続している．Windows 2000 上で実装された SIP サーバが CN と MN 間の接続を確立する．本実験ではサービスを MN に提供する CN を 2 つ用意する．CN 1 は UDP ストリームを提供し，CN 2 は TCP を利用したファイル転送を提供する．簡単のため，MN は 2 つの PC 端末によって構成される．RAN A に属する MN の端末には IEEE 802.11b の無線 LAN を用意し，RAN B に属する MN の端末には IEEE 802.11a の無線 LAN を用意する．

表 6.2に実験システムの諸元を示す．IEEE 802.11b と 802.11a の伝送速度はそれぞれ 11[Mbps] と 36[Mbps] で固定した．本実験では MN は同時に 2 つのサービスを利用する．1 つ目のサービスであるセッション 1 はビットレート R_1 の UDP ストリームである．もうひとつのサービスであるセッション 2 は TCP ベースのファイル転送サービスであり，転送するデータサイズは 5[Mbytes] とした．

表 6.2: 実験諸元

周波数帯 (802.11b)	2.4GHz
伝送モード (802.11b)	11[Mbps]
周波数帯 (802.11a)	5.2GHz
伝送モード (802.11a)	36[Mbps]
利用サービス 1	UDP ストリーム
利用サービス 2	ファイル転送 (TCP) 5[Mbytes]

表 6.3: RAN 割当ポリシ

	11b only (Single homing)	11a only (Single homing)	Case 1 (Dual homing)	Case 2 (Dual homing)
Session 1 (UDP Stream)	802.11b (RAN A)	802.11a (RAN B)	802.11b (RAN A)	802.11a (RAN B)
Session 2 (File Transfer)	802.11b (RAN A)	802.11a (RAN B)	802.11a (RAN B)	802.11b (RAN A)

6.4 実験によるスループット特性

図 6.7に MN の各サービスに対するスループット特性を示す．図には，セッション 1 の UDP ストリームが R_1=5Mbps の場合のセッション 1 (UDP ストリーム) とセッション 2 (ファイル転送) の特性を示す．図 6.7には 2 つの無線ネットワーク多重するデュアルホーミング (Dual homing) の特性である “Case 1” と “Case 2” を示す．また，SIP を利用して 1 つの無線ネットワークのみを選択する場合の特性である “11b only” 方式と “11a only” 方式の特性を比較のため同時に示す．表 6.3にそれらの RAN 割当ポリシを示す．従来方式である “11b only” 方式と “11a only” 方式は 2 つのサービスに対してそれぞれ 802.11b と 802.11a のみを利用する．

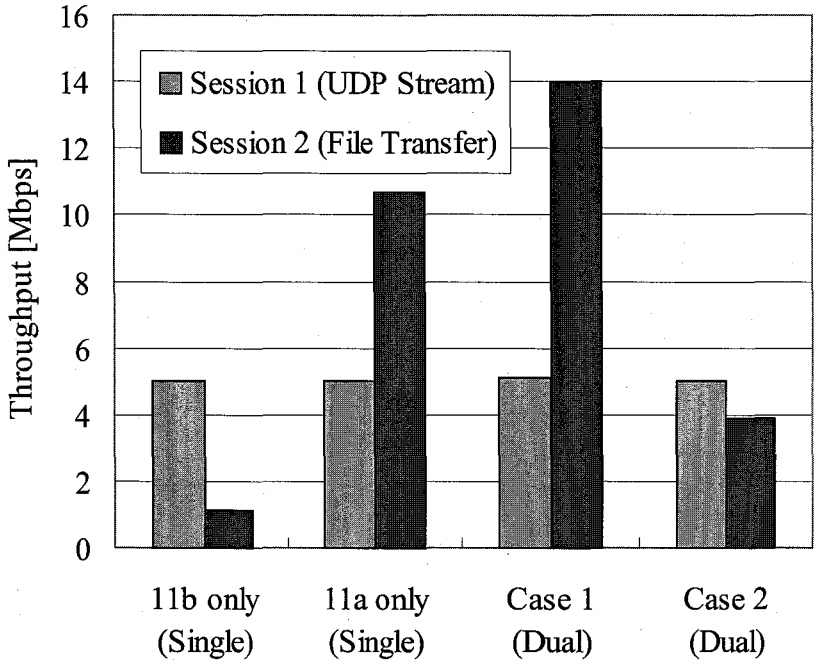
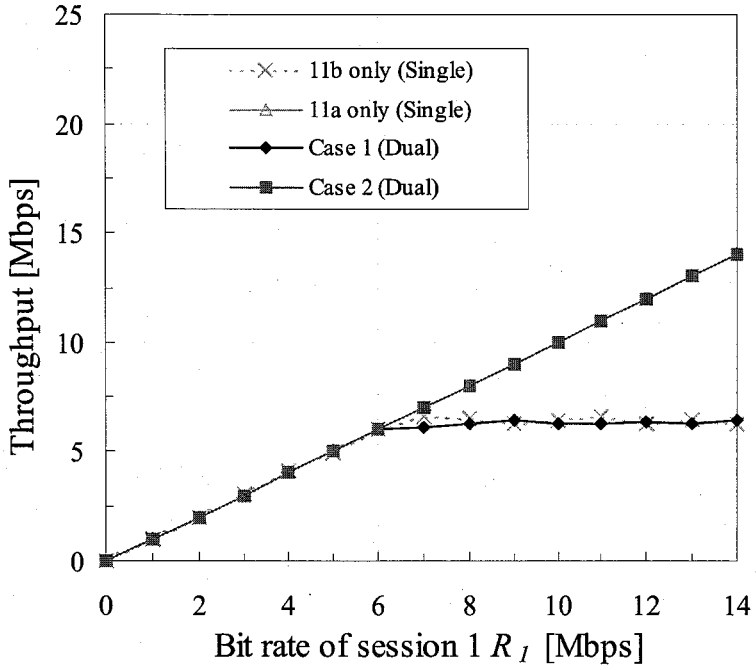


図 6.7: 各サービスに対するスループット特性 (R_1=5Mbps)

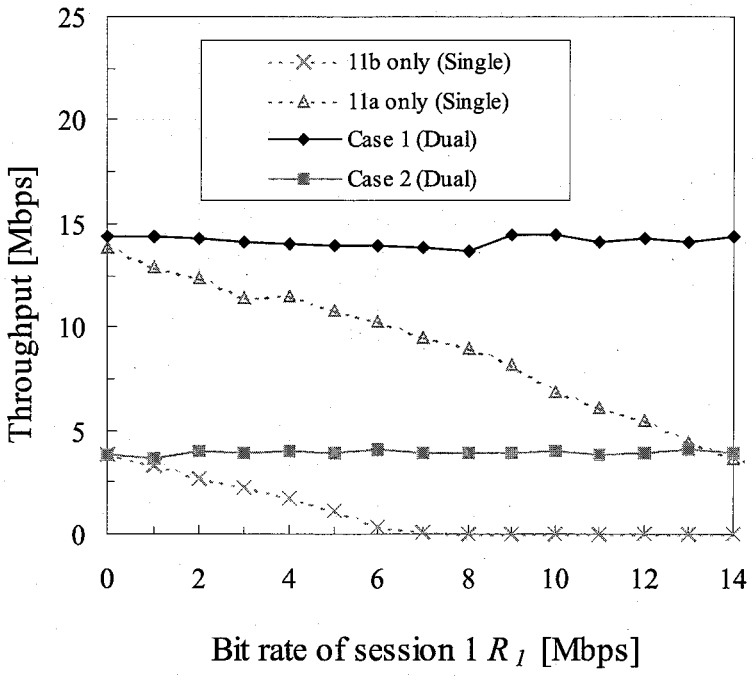
図 6.7より，セッション 1 のスループット特性は "Case 1" と "Case 2" を用いた場合と，"11b only" 方式と "11a only" 方式を用いた場合でほぼ同じである．しかし，セッション 2 のスループット特性は "Case 1" を用いた場合に最も高いを示すことが分かる．これは，"Case 1" は 2 つの RAN を同時に利用することで周波数利用効率を向上しているからである．

従って，R_1=5Mbps の場合には，"Case 1" を用いることでセッション 1 とセッション 2 に対して，最も高い特性を達成可能であることが分かる．

図 6.8(a)，(b) にセッション 1 のビットレート R_1 に対する各サービスのスループット特性を示す．比較のため，図には "Case 1" と "Case 2" の特性とともに "11b only" 方式と "11a only" 方式の特性を示す．図 6.8(a) より，"Case 2" を用いた場合，セッション 1 に対するスループット特性は R_1 の値によらず他の方式より高い特性を示すことが分かる．R_1 が 6[Mbps] 以下の場合には，"Case 1" と "11b only" を用いた場合の特性は "Case 2" を用いた場合とほぼ同等の特性を示す．しかし，R_1 が 6[Mbps] 以上の場合には "Case 1" と "11b only" 方式の特性は劣化する．これは，"Case 2" がより高速な IEEE 802.11b をセッション 1 に対して割り当てるか



(a) セッション 1 (UDP ストリーム) の特性



(b) セッション 2 (ファイル転送) の特性

図 6.8: セッション 1 のビットレート R_1 に対するスループット特性

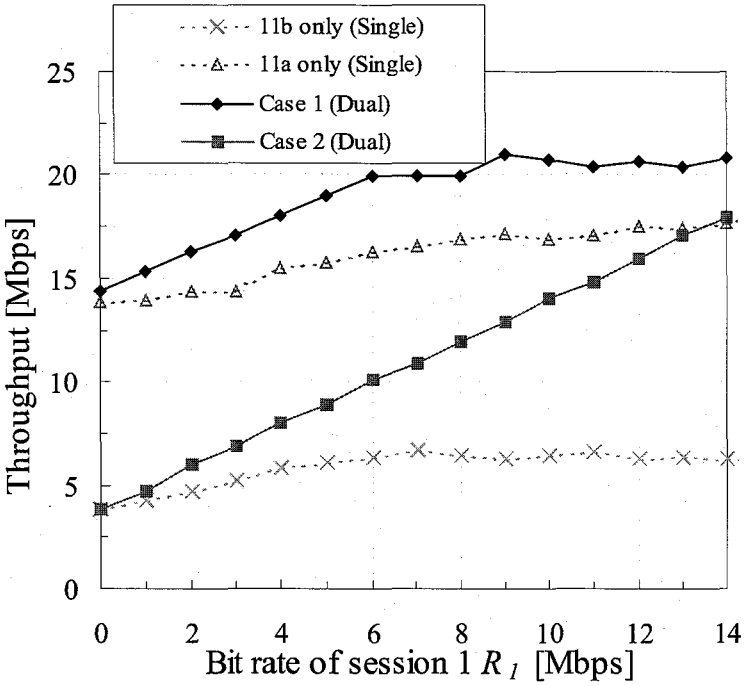


図 6.9: セッション 1 のビットレート R_1 に対するセッション 1 とセッション 2 の合計スループット特性

らである．

図 6.8(b) より，“Case 1” を用いると 1 つの無線ネットワークのみを利用する従来方式と比べて，R_1 の値によらずセッション 2 に対するスループット特性が向上することが分かる．R_1 の値が小さい場合には “11a only” 方式も “Case 2” や “11b only” と比べて高い特性を示すが，R_1 の値が大きくなると特性が急激に劣化する．これは，“Case 1” は 802.11a の無線リンクに対してセッション 1 のみ割り当てるが，“11a only” 方式は 802.11a の無線リンクをセッション 1 とセッション 2 で共有するからである．図 6.8(a)，(b) よりセッション 1 に対しては “Case 2” が最も高い特性を示し，“Case 1” がセッション 2 に対して最も高い特性を示すことが分かる．

図 6.9にセッション 1 のビットレート R_1 に対するセッション 1 とセッション 2 の合計スループットと特性を示す．比較のため，図には “Case 1” と “Case 2” の特性とともに “11b only” 方式と “11a only” 方式の特性を示す．図 6.9より，ビットレート R_1 に関わらず，“Case 1” が最も高い特性を示すことが分かる．これは，

"Case 1" が 2 つの RAN である IEEE 802.11b と 802.11a を同時に利用できることでスループット特性の改善を実現しているからである．また，図 6.9より，"Case 1" を用いると "Case 2" よりも高い特性を示す．これは，"Case 1" はより高速な 802.11a をコネクション型の TCP を利用するセッション 2 に割り当てるのに対し，"Case 2" は高速な 802.11a をコネクションレス型の UDP ストリームを利用するセッション 1 に対して割り当てるため，"Case 2" を用いた場合には利用されない無線リソースが発生し，周波数利用効率が低下するからである．

6.5 RAN 適応割当アルゴリズムにおける割当基準に関する考察

本節では，前節で得られた実験結果をもとに数値計算を行い，RAN 適応割当アルゴリズムにおける割当基準について考察を行う．MN は利用可能な帯域幅がそれぞれ R_A[Mbps] と R_B[Mbps] である 802.11a と 802.11b の無線ネットワークを利用しており，802.11a の利用可能帯域が 802.11b の利用可能帯域より大きいものとする ($R_A \geq R_B$)．MN はセッション 1 とセッション 2 の 2 つのサービスを同時に利用するものとし，それぞれ UDP ストリームと TCP ベースのファイル転送とする．本節では，表 6.3で述べた 4 つの割当ポリシの選択基準について数値計算を行う．図 6.8より，R_1 の値が 802.11b の利用可能帯域幅である R_B[Mbps] より小さい場合には，"11b only" 方式を利用した場合のセッション 1 のスループット T_{UDP} は R_1 と等しくなる．一方で，R_1 の値が R_B より大きくなる場合には，セッション 1 のスループット特性 T_{UDP} は R_B にほぼ等しくなる．図 6.8 (b) より，"11b only" 方式を利用した場合のセッション 2 のスループット特性 T_{File} [Mbps] は 802.11b の基地局に TCP スループットと UDP スループットが混在するため，$R_B - R_1$ となる．これは，TCP と UDP の混在環境では，TCP プロトコルが輻輳制御を行い TCP を利用するセッション 2 のパケットの送信レートを下げるからである．

これらの結果より，"11b only" 方式を利用した場合のセッション 1 とセッション 2 のスループット特性 T_{UDP}，T_{File} はそれぞれ次式のように表すことができる．

$$T_{UDP} = \begin{cases} R_1 & (R_1 \leq R_B) \\ R_B & (R_1 \geq R_B) \end{cases} \tag{6.1}$$

$$T_{File} = \begin{cases} R_B - R_1 & (R_1 \leq R_B) \\ 0 & (R_1 \geq R_B) \end{cases} \tag{6.2}$$

“11a only” 方式を利用した場合のセッション 1 とセッション 2 のスループット特性 T_{UDP}，T_{File} はそれぞれ次式のように表すことができる．

$$T_{UDP} = \begin{cases} R_1 & (R_1 \leq R_A) \\ R_A & (R_1 \geq R_A) \end{cases} \tag{6.3}$$

$$T_{File} = \begin{cases} R_A - R_1 & (R_1 \leq R_A) \\ 0 & (R_1 \geq R_A) \end{cases} \tag{6.4}$$

“Case 1” を利用した場合のセッション 1 とセッション 2 のスループット特性 T_{UDP}，T_{File} はそれぞれ次式のように表すことができる．

$$T_{UDP} = \begin{cases} R_1 & (R_1 \leq R_B) \\ R_B & (R_1 \geq R_B) \end{cases} \tag{6.5}$$

$$T_{File} = R_A \tag{6.6}$$

“Case 2” を利用した場合のセッション 1 とセッション 2 のスループット特性 T_{UDP}，T_{File} はそれぞれ次式のように表すことができる

$$T_{UDP} = \begin{cases} R_1 & (R_1 \leq R_A) \\ R_A & (R_1 \geq R_A) \end{cases} \tag{6.7}$$

$$T_{File} = R_B \tag{6.8}$$

本章ではユーザの満足度を各サービスに対するスループット特性から評価する．ユーザが 2 つのサービスを利用する場合には，ユーザ満足度はどちらのサービスを

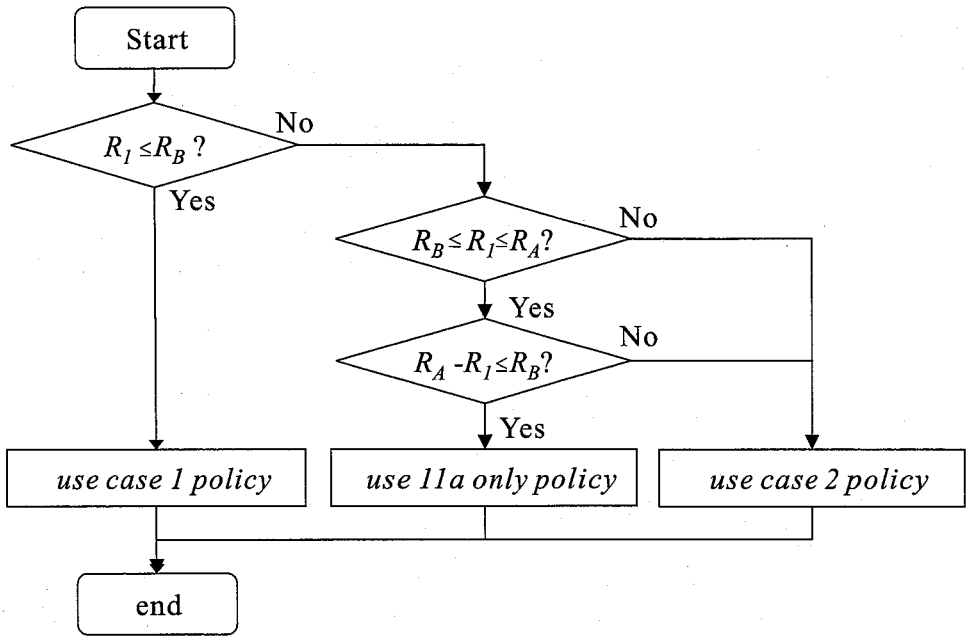


図 6.10: シナリオ 1 の場合の RAN 適応割当アルゴリズム

より重要だと考えているかに大きく依存するため，本章では以下の 2 つのシナリオに対する RAN 適応割当アルゴリズムの割当基準を検討する．

最初のシナリオであるシナリオ 1 では，ユーザはファイル転送 (セッション 2) よりも UDP ストリーム (セッション 1) が重要だと考えている場合を想定する．このシナリオにおける RAN 適応割当アルゴリズムはセッション 1 のスループットを最大化し，次に残りの無線リソースでセッション 2 のスループットを最大化することが求められる．式 (6.1)-(6.8) より，シナリオ 1 の場合の RAN 適応割当アルゴリズムのフローチャートは図 6.10のようになる．

図 6.11にシナリオ 1 における RAN 適応割当アルゴリズムの基準を示す．図には R_B=6[Mbps] の場合の特性を示す．図 6.11より，802.11a の利用可能帯域 R_A が 12[Mbps] 以下の場合には，UDP ストリーム (セッション 1) のビットレート R_1 に応じて “Case 1” と “Case 2” を選択することで，ユーザ満足度を最大化できることが分かる．図 6.11より，802.11a の利用可能帯域 R_A が 12[Mbps] 以上の場合には，UDP ストリーム (セッション 1) のビットレート R_1 に応じて “Case 1” と “11a only”，“Case 2” を選択することで，ユーザ満足度を最大化できることが分かる．

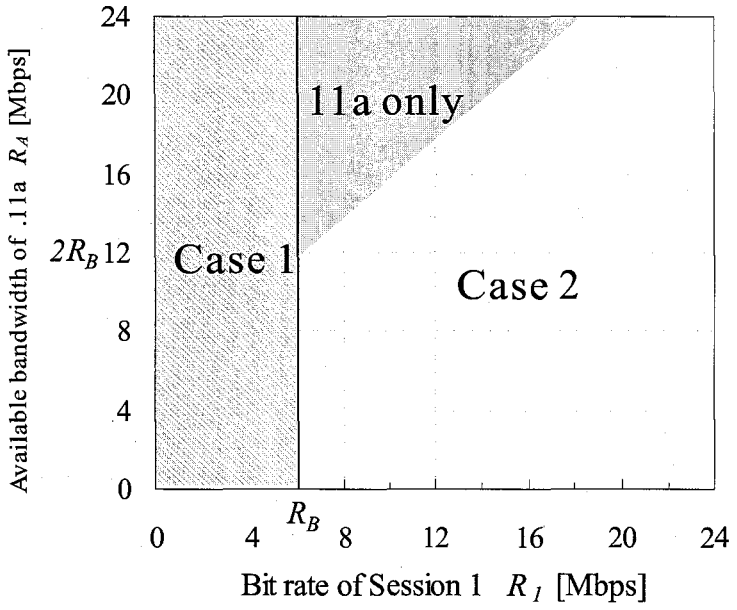


図 6.11: シナリオ 1 における RAN 適応割当の基準 (UDP 重視シナリオ)

例えば R_A=20[Mbps] の場合にユーザの満足度を最大化するには，R_1 が 6[Mbps] 以下であれば "Case 1" を選択し，R_1 が 6[Mbps] 以上 14[Mbps] 以下の場合には "11a only" 方式を選択し，R_1 が 14[Mbps] 以上であれば "Case 2" を選択すればよいことが分かる．

次に，2 つ目のシナリオであるシナリオ 2 では，ユーザは UDP ストリーム (セッション 1) よりもファイル転送 (セッション 2) が重要だと考えている場合を想定する．このシナリオにおける RAN 適応割当アルゴリズムはセッション 2 のスループットを最大化し，次に残りの無線リソースでセッション 1 のスループットを最大化することが求められる．式 (6.2)，(6.4)，(6.6)，(6.8) より，802.11a の利用可能帯域 R_A は 802.11b の利用可能帯域 R_B よりも大きいので，"Case 1" を選択することでセッション 2 のスループット特性が最大化されることが分かる．従って，シナリオ 2 では "Case 1" を選択することでユーザの満足度を最大化できる．図 6.12 にシナリオ 2 における RAN 適応割当アルゴリズムの基準を示す．

図 6.11，6.12より，RAN 適応割当アルゴリズムにおいて 802.11a の利用可能帯域 R_A[Mbps]，802.11b の利用可能帯域 802.11b R_B[Mbps]，UDP ストリームのビッ

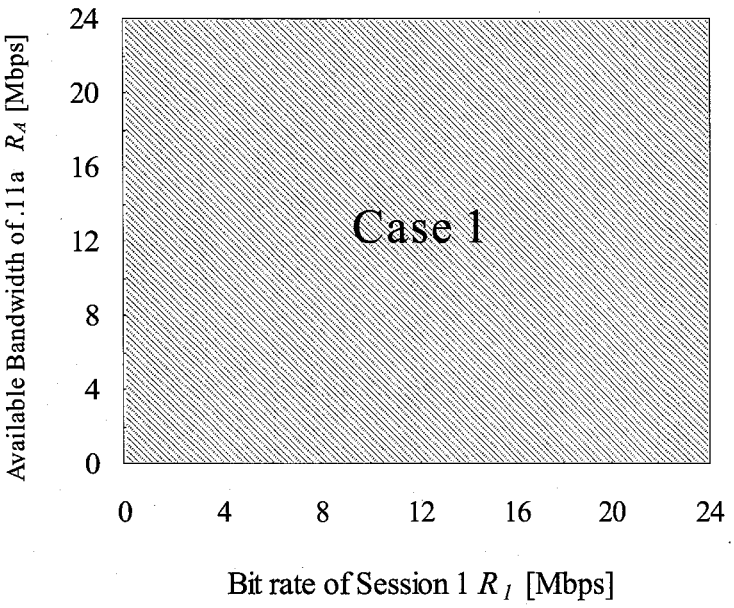


図 6.12: シナリオ 2 における RAN 適応割当の基準（ファイル転送重視シナリオ）

トレート R_1[Mbps]，2 つのサービスのうちどちらか重要かというユーザの好みという 4 つの基準に応じて各 SIP セッションに適切な RAN の割当を割り当てることで，ユーザの満足度を向上できることが分かった．

6.6 結言

本章では，異種無線ネットワーク多重を実現する無線ネットワークエージェントを提案した．提案方式は無線ネットワークエージェントが，無線端末上でマルチホームされた異種無線ネットワークを SIP プロトコルを利用して多重する．すなわち，各サービスに対応する複数の SIP セッションに対して，それぞれ異なる無線ネットワークを利用するよう割り当てることで異種無線ネットワーク多重を実現する．本章では，異種無線ネットワークにおける実験を実施し，得られたスループット特性より，1 つの無線ネットワークのみを利用する従来方式と比べて大幅なスループット改善効果が得られることを示した．さらにスループットの実験結果から数値計算によってユーザの満足度を向上するために必要な無線ネットワークの割当基準を新たに提案し，その有効性をユーザ満足度の観点から明らかにした．

第7章　結論

本論文では，ユーザの状況や環境を把握し，それぞれのユーザに最適な無線リソースを割り当てることでユーザのサービスに対する満足度を向上させる，ユーザセントリック無線リソースマネジメントを実現する電波エージェントに関する研究を行った成果をまとめた．以下に，本研究で得られた成果をまとめる．

第3章では，ユーザモビリティを考慮した無線周波数リソースエージェントを提案した．本エージェントは，スポット無線アクセスにおけるユーザの滞在時間に応じて変調方式を選択し，滞在時間の小さいユーザの受信データ量の劣化を軽減できる．本章では計算機シミュレーションを用いて，ライスフェージング通信路における受信データ量特性について評価を行った．その結果，

- 提案方式を用いると変調方式を固定的に用いる従来方式と比べて，滞在時間の小さいユーザに高速な変調方式を割り当てることで受信データ量特性が約1.4倍に改善できることを明らかにした．

- 提案方式を用いると，通信路品質が良好である場合，変調方式を固定的に用いる従来方式と比べて，受信データ量特性を向上できることを明らかにした．一方，通信路品質が劣化した場合にも受信データ量特性の劣化が非常に小さいことを明らかにした．

第4章では，ユーザモビリティとトラヒッククラスに応じた無線周波数リソースエージェントを提案した．本システムはビデオストリームの種類とユーザの移動状況に応じたサービスクラスを設定し，それに応じて無線リソースの割当を無線周波数リソースエージェントが行うことで，ユーザの移動状況に関わらず，リアルタイム性の低いトラヒックのサービス品質を改善できる．本章では計算機シミュレーションを用いてライスフェージング環境における，リアルタイムトラヒックに対してスループットの評価を行い，非リアルタイムトラヒックの受信データ量特性について評価を行った．その結果，

- 提案方式を用いると，タイムスロットを固定的に割り当てる従来方式と比べて，リアルタイムストリームを利用するユーザのスループット特性や静止して

非リアルタイムトラヒックを利用するユーザの受信データ量特性を劣化させずに，移動しながら非リアルタイムストリームを利用するユーザの受信データ量特性を約2倍に改善できることを明らかにした．

- 移動しながら非リアルタイムストリームを利用するユーザの割合が小さい場合，タイムスロットを固定的に割り当てる従来方式と比べて，提案方式により移動しながら非リアルタイムストリームを利用する受信データ量特性を約1.6倍に改善した．また，非リアルタイムストリームを利用するユーザの割合が大きい場合にも若干の改善が得られることを明らかにした．

第5章では，ユーザ効用を考慮した無線周波数リソースエージェントを提案した．本エージェントはユーザ満足度を表す効用関数を用いて無線リソースマネジメントを行い，サービスに対して満足していると感じるユーザ数を向上する．本章では計算機シミュレーションを用いて，WWWサービスにおける待ち時間に対するユーザ満足度について評価を行った．その結果，

- 提案方式を用いると，ユーザ効用を考慮せずにタイムスロットを割り当てる従来方式と比べて，WWWサービスにおいてデータを取得するまでの待ち時間に満足するユーザ数が約1.4倍に改善することを明らかにした．

- 提案方式は，待ち時間が非常に大きいユーザに割り当てられていた周波数リソースを，ユーザの満足度が目標値を達成していないユーザのうち待ち時間の小さいユーザに割り当てたとしても，待ち時間に対するユーザの主観を利用すれば，待ち時間の大きいユーザの満足度の劣化は無視できる程度であることを示した．

第6章では，多様な無線アクセスネットワークによって構築される異種無線ネットワーク環境において，SIPを利用した無線ネットワークエージェントを提案した．本エージェントを端末に実装することで，端末における異種無線アクセスネットワークの同時利用を実現することができ，無線アクセスネットワークの周波数利用効率を改善できる．本章では実験によりスループットを測定し，本エージェントの有効性について評価を行った．実験結果より，

- 提案方式を用いると，1つの無線ネットワークのみを利用する従来方式と比べて，周波数利用効率が改善できることを明らかにした.

また，スループットの実験結果と数値計算を用い，

- 複数の無線ネットワークをユーザの利用する複数のサービスに割り当てる場合，それぞれの無線ネットワークの利用可能帯域やサービスの要求するビットレート，ユーザの好み等の基準に応じて適切な無線ネットワークを割り当てるための選択基準を提案し，それを用いて無線ネットワーク多重を行ったとき，ユーザの満足度を向上できることを明らかにした.

参考文献

[1] “通信利用動向調査,” 総務省, May. 2005.

[2] ローレンス・レッシグ, “コモンズ,” pp.49-83, 翔泳社, Nov. 2002.

[3] W. R. Stevens, “TCP/IP Illustrated, Volume 1 -The Protocols,” pp.229-262, Addison-Wesley, Jan. 1994.

[4] B.Carpenter “Architectural Principles of the Internet”, IETF RFC 1958, June 1996.

[5] “i モードサービス特集,” NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, vol.7, no.2, pp.6-32, July 1999.

[6] “春を待つ新生ブラウザフォン,” 日経コミュニケーション, no.359, pp.70-87, Feb. 2002.

[7] “ICT 関連データ集,” 総務省　情報通信統計データベース, 2005.

[8] http://www.itu.int/ITU-R/, International Telecommunication Union Radiocommunication Sector.

[9] 佐和橋衛，樋口健一，新博行，三木信彦，　“W-CDMA 高速パケット無線アクセスとリンク特性,” 信学論 B, vol.J84-B, No.10, pp.1725-1745, Sep. 2001 年 10 月

[10] F. Watanabe,　“IMT-2000 and Beyond IMT-Radio Technologies toward Future Mobile Communications-,” IEICE Trans. Commun., vol. E84-B, No. 9, pp2341-2347, Sep.2001,

[11] 阪田史郎, “ワイヤレス・ユビキタス,” 秀和システム，pp196-227，2004 年 8 月

[12] 竹下隆史, 村山公保, 荒井透, 苅田幸雄, “マスタリング TCP/IP -入門編,” オーム社, pp.44-57, pp.86-91, pp.16-30, June 1998.

[13] 守倉正博，松江英明，“IEEE 802.11 準拠無線 LAN の動向,” 信学論 B, vol.J84-B, No.11, pp.1918-1927, Sep. 2001 年 11 月.

[14] 松江英明，守倉正博監修 “802.11 高速無線 LAN 教科書,” IDG ジャパン，2003 年 3 月.

[15] Wirelss LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layr (PHY) Specifications: High-speed Physical Layer Extension in the 2.4GHz band, IEEE Std. 802.11b-1999.

[16] Wirelss LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layr (PHY) Specifications: High-speed Physical Layer Extension in the 5GHz band, IEEE Std. 802.11a-1999.

[17] 原田益水, “テレビジョン技術のすべて,” 電波新聞社, Nov. 2002.

[18] “地上デジタル放送,” 映像情報メディア学会誌, vol.53, no.11, pp.1455-1484, Nov. 1999.

[19] R. Van Nee, and R.Prasad, “OFDM for Wireless Multimedia Communications,” Artech House Publishing, 2000.

[20] “第 3 世代携帯電話 vs. ホットスポット,” 日経コミュニケーション, no.353, pp.114-122, Nov. 2001.

[21] http://www.its.go.jp/ITS/, 国土交通省道路局.

[22] 津川定之, “高度道路交通システムにおける通信システム,” vol.J82-B, no.11, pp.1958-1965, Nov. 1999.

[23] A. Ghosh, D. Wolter, J. Adrews and R. Chen, “Broadband Wireless Access with Wimax/802.16: Current Performance Benchmarks and Future Potential,” IEEE Communication Magazine, pp.129-136, Feb.2005.

[24] “狭域通信 (DSRC) システム標準規格,” (社) 電波産業会, STD-T75, Nov. 2001.

[25] “固定と携帯の融合「FMC」最前線,” 日経コミュニケーション, pp.52-62, 2005 年 5 月.

[26] “世界で本格化する「FMC」,” 日経コミュニケーション, pp.90-95, 2005 年 8 月

[27] K. Ahamavaara, H. Haverinen, and R. Pichna, “Interworking Architecture Between 3GPP and WLAN systems”, IEEE Common. Mag, pp.74-pp.81, Nov. 2003.

[28] F. Marquez, M. Rodriguez, T. Valladares, T. Miguel and L. Galindo, “Interworking of IP Multimedia Core Networks Between 3GPP and WLAN, ”IEEE Wireless Communications, pp.58-pp.65, June. 2005.

[29] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu and P. Thubert, “Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol,” IETF RFC 3963, Jan. 2005.

[30] K. Evensen, “CALM versus DSRC, complementary technologies,” Proc. ITS congress2003., PS 039, Madrid, Spain, Nov. 2003.

[31] J. Rosenberg, et.al, “SIP: Session Initiation Protocol”, IETF RFC 3261, June 2002,

[32] “世界のメガキャリア電話網の次を語る,” 日経コミュニケーション, pp.44-66, 2005 年 7 月

[33] http://www.skype.com/intl/ja/

[34] http://www.softether.com/jp/vpn2/

[35] K. Nomura, K. Yamori, E. Takahashi, T. Miyoshi and Y. Tanaka, “Waiting Time versus Utility to Download Images,” APSITT2001, pp.128-132, Kathmandu, Nepal/ Atami, Japan, Nov. 2001.

[36] 福田健太郎，若宮直紀，村田正幸，宮原秀夫，“帯域予約型ネットワークに適した MPEG-2 動画像における品質と帯域の関係,” 信学論 B, vol.J82-B, No.3, pp.358-367, Mar. 1999.

[37] Y. Minoda, K. Tsukamoto, and S. Komaki, "Adaptive Wireless Transmission Scheme considering Stay Time in Spot mobile access," IEICE Trans., Commun., Special Section on Mobile Multimedia Communications, vol.E87-B, no.5, pp.1235-1241, May 2004.

[38] Y. Minoda, R. Shinkuma, K. Tsukamoto, and S. Komaki, "Radio Resource Management Scheme for Road-to-Vehicle Spot Communication System," Pro. of ITST2002, pp.367-372, Seoul, Korea, Nov. 2002.

[39] Y. Minoda, K. Tsukamoto, and S. Komaki, "Dwell Time Priority Algorithm for Adaptive Resource Allocation in Spot Type Road-to-Vehicle Communication System," Proc. of ITST2004, Singapore, July 2004.

[40] 蓑田佑紀, 新熊亮一, 塚本勝俊, 小牧省三, "ホットスポット通信における滞在時間に適応したリソースマネジメントを行う電波エージェント," 平14年信学春期総合大会, B-15-8, p.798, Mar. 2002.

[41] 蓑田佑紀, 新熊亮一, 塚本勝俊, 小牧省三, "スポット無線通信における滞在時間に適応したリソースマネジメント方式," 信学技報, MoMuC2002-05, pp77-82, May 2002.

[42] 蓑田佑紀, 塚本勝俊, 小牧省三, "無線スポットアクセスにおける滞在時間優先度に基づいたリソースマネジメント方式," 信学技報, MoMuC2004-01, pp15-20, Jan. 2004

[43] Y. Minoda, K. Tsukamoto, and S. Komaki, "Adaptive Resource Allocation for Video Stream Based on Video Stream Character and User Mobility in Wireless LAN," IEICE Trans. Fund., Special section on Multi-dimensional Mobile Information Networks, vol.E88-A, no.7, pp.1881-1888, July 2005.

[44] Y. Minoda, T. Kaji, Y. Handa, K. Tsukamoto, and S. Komaki, "Radio Agent Realizing User Utility-based Resource Allocation for Spot RVC system", Proc. of ITST 2005, pp.273-276, France June. 2005.

[45] Y. Minoda, K. Tsukamoto, and S. Komaki, "Radio Network Agent for Simultaneous Use of Multiple RANs with SIP and Multihoing", Proc. of WPMC 2005, pp.1474-1477, Denmark, Sep.2005.

[46] T. Kaji, Y. Minoda, K. Tsukamoto, and S. Komaki, "Radio agent realizing user utility-based resource allocation in wireless spot access," Proc. of International Symposium on Communications and Information Technologies 2004 (ISCIT2004), pp.286-289, Sapporo, Japan, Oct. 2004.

[47] 梶孝規, 蓑田佑紀, 塚本勝俊, 小牧省三, "無線 LAN スポットアクセスにおけるデータサイズを考慮した周波数割り当て方式," 信学技報, MoMuC2003, vol.103, no.289, pp.31-36, Sep. 2003.

[48] 梶孝規, 蓑田佑紀, 新熊亮一, 塚本勝俊, 小牧省三, "スポット WWW アクセスにおける待ち時間短縮のための無線リソースマネジメント方式," 電子情報通信学会 2003 年総合大会, Mar. 2003.

[49] 飯田有慈, 蓑田佑紀, 梶孝規, 塚本勝俊, 小牧省三, "ユーザ効用に基づく無線リソースマネジメントのための効用関数の測定" 電子情報通信学会総合大会, B-15-4, pp.706, Mar. 2005

[50] 飯田有慈, 蓑田佑紀, 塚本勝俊, 小牧省三, "待ち時間に対するユーザ効用の測定と無線リソースマネジメントへの適用方式", 信学技報, MoMuC 2005-04, pp.19-24 May. 2005.

[51] 飯田有慈, 蓑田佑紀, 塚本勝俊, 小牧省三, "無線サービスの待ち時間に対する効用の測定とそのユーザ利用状況との関係に関する検討" 情報通信学会大会予稿集 June.2005

[52] 飯田有慈, 蓑田佑紀, 東野武史, 塚本勝俊, 小牧省三, "無線 LAN におけるユーザ効用の公平性を考慮した QoS 制御方式の提案, " 信学技報, MoMuC 2005-11, pp.37-41 Nov. 2005.

[53] K. Kawaguchi, Y. Minoda, K. Tsukamoto and S. Komaki "An Idea of Handover Algorithm for Adaptive selection Agent of Wireless Service with SIP",

Proc. of APWCS 2005, pp.100-104 Sep.2005.

[54] 川口晃平, 蓑田佑紀, 塚本勝俊, 小牧省三, "SIP プリファレンスを利用した無線メディア選択エージェントの提案," 電子情報通信学会総合大会, B-15-29, pp. 822 Mar. 2004

[55] 川口晃平, 蓑田佑紀, 塚本勝俊, 小牧省三 "SIP プリファレンスを利用した無線メディア選択エージェントの一検討, " 信学技報, MoMuC 2004-42, pp.13-18, July. 2004

[56] 植田泰輔, 蓑田佑紀, 川口晃平, 塚本勝俊, 小牧省三, "SIP を用いた無線メディア選択エージェントへのメディアハンドオーバ機能の実装と評価, " 電子情報通信学会総合大会, B-15-3, pp.704, Mar. 2005

[57] 植田泰輔, 蓑田佑紀, 川口晃平, 塚本勝俊, 小牧省三, "メディアハンドオーバを実現する SIP を用いた無線メディア選択エージェント," 信学技報, MoMuC 2005-11, pp.57-62 May. 2005.

[58] 田嶋　克行, 蓑田　佑紀, 梶原　亮, 塚本勝俊, 小牧省三, "WoIP 内線システムのハンドオーバ時間と通話品質測定実験," 電子情報通信学会総合大会, B-15-4, pp.705, Mar. 2005

[59] 田嶋 克行, 蓑田佑紀, 梶原　亮, 塚本勝俊, 小牧省三, "無線 LAN で構築した WoIP システムのハンドオーバ時間に関する一検討," 信学技報, MoMuC 2005-02, pp.7-12 May. 2005.

[60] 小牧省三編, "無線 LAN とユビキタスネットワーク," 丸善, pp.280-296, Jan. 2004.

[61] S.Komaki, "Microwave Technologies for Software Radio Networks," APMC 2003, vol.3 pp.1780-pp.1785, Nov. 2003.

[62] "ユーザセントリック移動通信技術特集：欧州研究所における研究アクティビティ," NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, Vol.6 No.1 2004 年 6 月.

[63] WWRF:Wireless World Research Forum WG2, Service Infrastructure of the Wireless World, http://www.wireless-world-resarch.org/

[64] S. Arbanowski, P. Ballon, K. David, O. Droegehorn, H. Eertink, W. Kellerer, H. Kranenburg and R. Popescu-Zeltein, "I-centric Communications: Personalization, Ambient Awareness, and Adaptability for Future Mobile Services," IEEE Common. Mag, pp.63-pp.69, Sep. 2004.

[65] 藤田一郎, "まるごと図解 最新 Java がわかる," 技術評論社, Dec. 1999.

[66] 山本幹, "アクティブネットワークの技術動向," 信学論 B, vol.J84-B, no.8, pp.1401-1412, Aug. 2001.

[67] S. Shakkottai, T. Rappaport and P. Karlsson, "Cross-Layer Design for Wireless Networks," IEEE Commun. Mag., pp.74-80. vol.41, no.10, Oct.2003,

[68] G. Carneriro, J. Ruela and M. Ricardo, "Cross-Layer Design in 4G Wireless Terminals," IEEE Wireless Commun., pp.7-13, vol.11, no,2, Mar.2003.

[69] M. Schaarand S. Shankar N, "Cross-Layer Wireless Multimedia Transmission:challenges, principles, and new paradigms," IEEE Wireless Commun., pp.50-58, vol.12, no.4, Aug.2005.

[70] C. Chien, M. B. Srivatava, R. Jain, P. Lettieri, V. Aggarawl, and R.Sternowski, "Adaptive Radio for Multimedia Wireless Links," IEEE J. Sel. Areas in Communication., vol.17, no.5, pp.793-813, May 1999.

[71] W.Kellerer, L. Choi, and E. Steinbach, "Cross-layer adaptation for optimized B3G service provisioning," Proc. WPMC2003, vol.2 pp.57-61, Yokosuka, Japan, Oct. 2003.

[72] IEEE Draft Standard 802.11e/D13.0 Jan. 2005,

[73] H. Yoshioka, M. Nakatsugawa, and S. Kubota "An Effective Data Transmission Control Method for Mobile Terminals in Spot Communication Systems," IEICE Trans., vol. E83-A, No. 7, July.2000, pp1328-1337

[74] ハル・ヴァリアン, “入門ミクロ経済学 第5版,” 勁草書房, Apr. 2000.

[75] “Method for the subjective assessment of the quality of television pictures,” International Telecommunication Union Radiocommunication Sector, ITU-R Recommendation 500-10, Mar. 2000.

[76] 名部正彦, 馬場健一, 村田正幸, 宮原秀夫, “インターネット・アクセスネットワーク設計のためのWWWトラヒックの分析とモデル化,” 信学論B, vol.J80-B-1, No.6, pp.428-437, June 1997.

[77] Q. Zang, C. Guo, and W. Zhu, “Efficient mobility management for vertical handoff between WWAN and WLAN” , pp.102-108, Nov.2003.

[78] 小佐井潤, 武藤健二, 松ヶ谷和沖, 難波秀彰, “車載ルータによるシームレスローミングの実現,” 信学技報, ITS2003-20, pp31-36, Sep.2003.

[79] L. Ma, F. Yu, V. Leung, T. Randahawa, “A New Method to Support UMTS/WLAN Vertical Handover Using SCTP”, IEEE Wireless Communications, pp.44-51, Aug. 2004.

[80] W. Wu, N. Banerjee, K. Basu and S. Das, “SIP-based vertical handoff between WWANs and WLANs ”, IEEE Wireless Communications, pp.66-72, June. 2005.

[81] T. Ernst, N. Monavont, R. Wakikawa, et. al, “Goals and Benefits of Multihoming” IETF draft, draft-ernst-generic-goals-and-benefits-01.txt, Feb.2005.

[82] P.Valitalo, et.al, “Multihoming of (1,1,*) Configured Networks in Network Mobility Support” IETF draft, draft-valitalo-nemo-multihoming-00.txt, Mar.2005.

[83] L. Magalhaes, and R. Kravets,“End-to-end inverse multiplexing for mobile hosts,” Journal of Brazilian computer society, vol.7, no.2 pp52-62, 2001.

[84] M. Handley and V. Jacobson, “SDP: Session Description Protocol”, IETF RFC 2327, Apr. 1998,

[85] J. Lennox, X. Wu and H. Schulzrinne, " Call Processing Language (CPL): A Language for User Control of Internet Telephony Services", IETF RFC 3880, Oct. 2004,

本論文に関する原著論文

A 学会論文

1. Yuki Minoda, Katsutoshi Tsukamoto, and Shozo Komaki, "Adaptive Wireless Transmission Scheme considering Stay Time in Spot mobile access," IEICE Trans., Commun., Special Section on Mobile Multimedia Communications, vol.E87-B, no.5, pp.1235-1241, May 2004.

2. Yuki Minoda, Katsutoshi Tsukamoto, and Shozo Komaki, "Adaptive Resource Allocation for Video Stream Based on Video Stream Character and User Mobility in Wireless LAN," IEICE Trans. Fund., Special section on Multi-dimensional Mobile Information Networks, vol.E88-A, no.7, pp.1881-1888, July 2005.

B 国際会議発表

1. Yuki Minoda, Ryoichi Shinkuma, Katsutoshi Tsukamoto, and Shozo Komaki, "Radio Resource Management Scheme for Road-to-Vehicle Spot Communication System," Pro. of ITST2002, pp.367-372, Seoul, Korea, Nov. 2002.

2. Yuki Minoda, Katsutoshi Tsukamoto, and Shozo Komaki, "Dwell Time Priority Algorithm for Adaptive Resource Allocation in Spot Type Road-to-Vehicle Communication System," Proc. of ITST2004, pp.171-176, Singapore, July 2004.

3. Yuki Minoda, Takanori Kaji, Yuji Handa, Katsutoshi Tsukamoto, and Shozo Komaki, "Radio Agent Realizing User Utility-based Resource Allocation for Spot RVC system", Proc. of ITST 2005, pp.273-276, France June. 2005.

4. Yuki Minoda, Katsutoshi Tsukamoto, and Shozo Komaki, "Radio Network Agent for Simultaneous Use of Multiple RANs with SIP and Multihoming",

Proc. of WPMC 2005, pp.1474-1477, Denmark, Sep.2005.

5. Takanori Kaji, Yuki Minoda, Katsutoshi Tsukamoto, and Shozo Komaki, "Radio agent realizing user utility-based resource allocation in wireless spot access," Proc. of International Symposium on Communications and Information Technologies 2004 (ISCIT2004), pp.286-289, Sapporo, Japan, Oct. 2004.

6. Kohei Kawaguchi, Yuki Minoda, Katsutoshi Tsukamoto and Shozo Komaki "An Idea of Handover Algorithm for Adaptive selection Agent of Wireless Service with SIP", Proc. of APWCS 2005, pp.100-104 Sep.2005.

C 国内口頭発表

1. 蓑田佑紀, 新熊亮一, 塚本勝俊, 小牧省三, "ホットスポット通信における滞在時間に適応したリソースマネジメントを行う電波エージェント," 平 14 年信学春期総合大会, B-15-8, p.798, Mar. 2002.

2. 梶孝規, 蓑田佑紀, 新熊亮一, 塚本勝俊, 小牧省三, "スポット WWW アクセスにおける待ち時間短縮のための無線リソースマネジメント方式," 電子情報通信学会 2003 年総合大会, B-15-12, p.823, Mar. 2003.

3. 川口晃平, 蓑田佑紀, 塚本勝俊, 小牧省三, "SIP プリファレンスを利用した無線メディア選択エージェントの提案," 電子情報通信学会総合大会, B-15-29, pp. 822 Mar. 2004

4. 植田泰輔, 蓑田佑紀, 川口晃平, 塚本勝俊, 小牧省三, "SIP を用いた無線メディア選択エージェントへのメディアハンドオーバ機能の実装と評価, " 電子情報通信学会総合大会, B-15-3, pp.704, Mar. 2005

5. 田嶋　克行, 蓑田　佑紀, 梶原　亮, 塚本勝俊, 小牧省三, "WoIP 内線システムのハンドオーバ時間と通話品質測定実験," 電子情報通信学会総合大会, B-15-4, pp.705, Mar. 2005

6. 飯田有慈，蓑田佑紀，梶孝規，塚本勝俊，小牧省三，“ユーザ効用に基づく無線リソースマネジメントのための効用関数の測定” 電子情報通信学会総合大会, B-15-4, pp.706, Mar. 2005

D 国内研究会発表

1. 蓑田佑紀, 新熊亮一, 塚本勝俊, 小牧省三, “スポット無線通信における滞在時間に適応したリソースマネジメント方式,” 信学技報, MoMuC2002-05, pp77-82, May 2002.

2. 蓑田佑紀, 塚本勝俊, 小牧省三, “無線スポットアクセスにおける滞在時間優先度に基づいたリソースマネジメント方式, ” 信学技報, MoMuC2004-01, pp15-20, Jan. 2004

3. 梶孝規, 蓑田佑紀, 塚本勝俊, 小牧省三, “無線 LAN スポットアクセスにおけるデータサイズを考慮した周波数割り当て方式,” 信学技報, MoMuC2003, vol.103, no.289, pp.31-36, Sep. 2003.

4. 川口晃平, 蓑田佑紀, 塚本勝俊, 小牧省三 “SIP プリファレンスを利用した無線メディア選択エージェントの一検討, ” 信学技報, MoMuC 2004-42, pp.13-18, July. 2004

5. 植田泰輔, 蓑田佑紀, 川口晃平, 塚本勝俊, 小牧省三, “メディアハンドオーバを実現する SIP を用いた無線メディア選択エージェント,” 信学技報, MoMuC 2005-11, pp.57-62 May. 2005.

6. 田嶋 克行, 蓑田佑紀, 梶原 亮, 塚本勝俊, 小牧省三, “無線 LAN で構築した WoIP システムのハンドオーバ時間に関する一検討,” 信学技報, MoMuC 2005-02, pp.7-12 May. 2005.

7. 飯田有慈, 蓑田佑紀, 塚本勝俊, 小牧省三, “待ち時間に対するユーザ効用の測定と無線リソースマネジメントへの適用方式”, 信学技報, MoMuC 2005-04, pp.19-24 May. 2005.

8. 東野武史，蓑田佑紀，今尾勝崇，村越昭彦，ルンホンハイ，塚本勝俊，小牧省三，“ブロードバンドユビキタスのためのソフトウェア無線ネットワークと電波エージェント，”YRP 移動体通信産学交流シンポジウム June.2005.

9. 飯田有慈, 蓑田佑紀, 塚本勝俊, 小牧省三, “無線サービスの待ち時間に対する効用の測定とそのユーザ利用状況との関係に関する検討” 情報通信学会大会予稿集　June.2005

10. 飯田有慈, 蓑田佑紀, 東野武史，塚本勝俊, 小牧省三, “無線 LAN におけるユーザ効用の公平性を考慮した QoS 制御方式の提案，” 信学技報, MoMuC 2005-11, pp.37-41 Nov. 2005.