

コグニティブ無線アクセスネットワーク実験装置を用いた 複数基地局を介する QoS 経路制御に必要な通信路品質に関する検討

山本 俊明[†] 金 鍾玉[†] 山口 明[†] 小花 貞夫[†]

† 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 適応コミュニケーション研究所

〒619-0288 京都府相楽郡精華町光台 2-2-2

E-mail: †{tos-yama, jokim, yamaguchi, obana}@atr.jp

あらまし 近年、第3世代携帯電話の爆発的な普及、モバイルコンピューティングの普及を支えるホットスポットエリアの拡大、ユビキタスネットワークに向けた近距離通信技術の実用化など、ニーズに応じた様々な無線通信システムが発展している。著者らは、周波数の有効利用をはかりつつ、ユーザが所望する通信容量・通信品質(QoS: Quality of Service)を高品位に提供することを目的として、複数の無線通信システムを適応的に集約、あるいは切り替える制御により端末に多様な通信経路を提供する「コグニティブ無線アクセスネットワーク」の実現に向けた研究を行っている。本稿では、コグニティブ無線アクセスネットワークにおいて効率よいQoS経路制御を実現する階層型QoS経路制御方式について説明し、その制御に必要となる通信路品質の定義について述べる。また、IEEE802.16およびIEEE802.11bの複数無線リンクから構成されるコグニティブ無線アクセスネットワーク実験装置を用いたスループット評価実験により、複数基地局を介する複数通信経路へのトラフィック配分に関する最適解と、それを決定する通信路品質の定義に関して検討を行った。

キーワード コグニティブ無線、QoS、通信路品質、マルチパスルーティング

An Experimental Study on Channel Quality for QoS Route Control in Cognitive Wireless Access Networks

Toshiaki YAMAMOTO[†] Jong-Ok Kim[†] Akira YAMAGUCHI[†] and Sadao OBANA[†]

† Advanced Telecommunications Research Institute International

2-2-2, Hkaridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto, 619-0288 Japan

E-mail: †{tos-yama, jokim, yamaguchi, obana}@atr.jp

Abstract Various wireless communication systems are now being developed according to various users' needs. For example, the 3rd generation mobile phone system has been explosively popularized worldwide, the coverage area of hot spot that encourages the diffusion of the mobile computing has been widely extended, and local connectivity technologies for ubiquitous networks are being realized. The authors have studied on "cognitive wireless access networks" in order to develop the networks that realize both high spectrum efficiency and high quality of service (QoS) for users. Cognitive wireless access networks can provide various communication routes by adaptively aggregating or switching multiple wireless communication systems. In this paper, the hierarchical QoS route control scheme in cognitive wireless access networks is first explained and the definition of communication channel qualities required for the QoS route control is studied. The scheme of traffic distribution to multiple communication routes under multiple base stations is also discussed from the viewpoint of throughput maximization and the fundamental characteristics are examined from the experimental results with the cognitive wireless access network system that consists of IEEE802.16 and IEEE802.11b wireless devices.

Keyword Cognitive Radio, QoS, Channel Quality, Multipath Routing

1.はじめに

近年、第3世代携帯電話の爆発的な普及、モバイルコンピューティングの普及を支えるホットスポットエリアの拡大、ユビキタスネットワークに向けた近距離通信技術の実用化など、ニーズに応じた様々な無線通信システムが発展している。今後、多様な無線通信システムが混在し、用途に応じた使い分けが求められる傾向がますます増大していくものと考えられる[1]。

そうした状況のなか、多様な無線通信システムを統合的に活用する技術として、コグニティブ無線技術に関する研究が活発に行われている[2,3]。コグニティブ無線技術とは、周囲の電波環境を認識し、その状況に応じて無線リソースや通信方式を適応的に使い分け、周波数の有効利用をはかりつつ、ユーザが所望する通信容量・通信品質を満足する技術である。著者らはその実現に向け、(1) 基地局直接アクセス通信と端末リレー通信を統合し、より少ない周波数資源により高速伝送を実現する最適なエンド・エンド通信経路の構築[4,11,12]、(2) 上記で構築された通信経路上での、高い信頼性ときめ細かな品質制御を実現する適応的品質制御と、通信経路状況・アプリケーションなどの要求に応じた適応的な優先制御の提供[5-7,9,10,13,14]、について検討を進めている。本稿は特に後者を実現するためのQoS経路制御技術に関するものである。

図1に示すような複数の無線リンクから構成されるコグニティブ無線アクセสนetworkにおいて、多様なアプリケーションの要求に応じた伝送品質を保証するためには、異なる特性をもつ複数の無線伝搬路の品質を正確に把握し、それぞれの特性を活かしたQoS経路制御を行う必要がある。本稿ではまず、複数通信経路へのトラフィック配分をグローバルな基地局選択とローカルなリンク制御の2段階に分けて制御する階層型QoS経路制御方式[13]を紹介し、その制御に必要な通信路品質の定義方法について述べる。また、IEEE802.16[15]とIEEE802.11b[16]の複数無線リンクから構成されるコグニティブ無線アクセสนetwork実験装置を用いた屋内スループット評価実験を行い、スループットを最大化する観点から、複数通信路へのトラフィック配分方法および通信品質の定義方法について検討する。

本論文の構成は以下の通りである。まず第2章では前提とするコグニティブ無線アクセสนetworkの構成について説明し、第3章で階層型QoS制御方式とその制御に必要な通信路品質の定義について述べる。第4章では屋内実験装置を用いたスループット評価により、複数通信経路へのトラフィック配分方法と通信品質の定義方法について検討する。最後に第5章で、まとめと今後の課題について述べる。

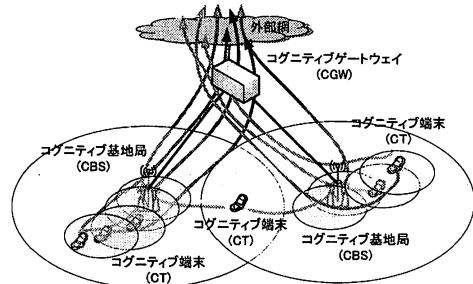


図1. コグニティブ無線アクセสนetwork

2.コグニティブ無線アクセสนetworkにおけるQoS経路制御技術

コグニティブ無線アクセสนetworkにおいて、CBS(Cognitive Base Station)数やCT(Cognitive Terminal)数が増加すると、QoS経路制御の対象となる経路数が爆発的に増加する。また、経路制御に利用する情報として、遅延時間やジッタ、受信電力、伝送レート、パケットエラーレート、再送回数など、非常に多くのパラメータを参照すると考えられる。そのため、特定のノードがCGW(Cognitive GateWay)-CT間の全ての通信経路を対象とした集中的なQoS経路制御を行う場合、多くの経路数と通信品質パラメータがネックとなり、経路制御が非常に複雑となる。効率よくQoS経路制御する方式として、本章では階層型QoS経路制御方式を紹介し、その制御に必要な通信路品質の定義について述べる。

2.1. 階層型QoS経路制御方式^[13]

図2に階層型QoS経路制御方式の概略を示す。まず、CGW-CT間の経路制御を、ローカルな制御である「CBS-CT間に存在する複数無線リンクの集約・切替」と、グローバルな制御である「複数CBSの集約と切替」の2段階に切り分ける。ここで、ローカルなリンク制御の制御対象となる経路を「ローカルパス」、グローバルな制御の制御対象となる経路を「グローバルパス」と定義する。グローバルパスは各1基のCBSを経由するCGW-CT間の仮想的な経路である。

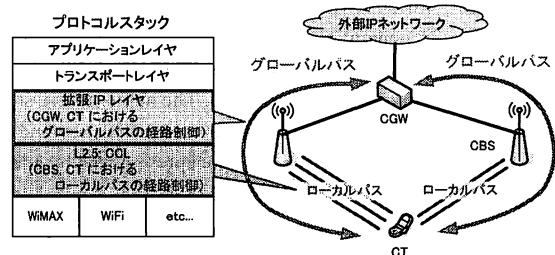


図2. 階層型QoS経路制御方式

図 2 には、コグニティブ無線技術におけるプロトコルスタックも合わせて記載している。ローカルパス制御はCBSまたはCTにおいて、新たに設けたコグニティブコンバージェンスレイヤ（CCL : Cognitive Convergence Layer）にて制御を行う。CBS-CT間のローカル制御はCCLに閉じて制御されるため、より上位のレイヤで制御を行うグローバルな経路制御からは透過的に扱うことができる。一方、グローバルな制御は、複数のローカルリンクを集約した情報に基づき、CGW または CTにおいて、IP レイヤを拡張した拡張 IP レイヤにて制御を行う。CGW および CT は、複数ローカルリンクを集約した情報に基づいて制御を行うため、全てのローカルリンクに関する通信路品質情報を集める必要がなく、情報通知量を削減し、制御負荷を軽減することができる。また、グローバルパスの通信路品質の変動は、ローカルパスの通信路品質の変動に比べ、比較的緩やかであると考えられるため、制御間隔を長くとることができ、制御負荷を軽減することができる。ローカルパスの制御が無線リンクの伝搬路変動をダイレクトに反映した制御であるのに対し、グローバルパスの制御はネットワーク全体の負荷分散を重視した制御となる。

グローバルパスおよびローカルパスのどちらの経路制御においても、トラフィックはサービス毎にキューリングされ、サービスが要求する QoS 値に応じた優先スケジューリングにより、図 3 に示すように各パスへと配分される。ここで、各パスへの配分率を r_n と定義する。ただし、 $\sum r_n = 1$ となるように正规化されている。各通信経路に対する経路制御は、各経路の通信路品質や振り分けキューの状態を考慮し、各アプリケーションの ToS (Type of Service) に応じて設定されたルールに従って行う。そのため、各経路の通信路品質の定義方法や、ToS 毎に設定される通信路品質の利用方法が非常に重要となる。

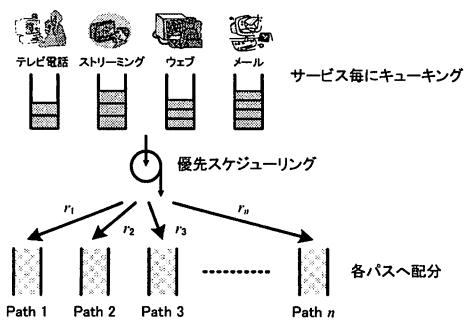


図 3. 複数経路へのトラフィック配分

2.2. 通信路品質の定義

まず、ローカルパスの通信路品質は、対応する無線リンクの伝送路パラメータ(スループット、遅延時間、ジッタ、誤り率、接続端末数等)で定義することができる。また、CGW-CBS 間は有線または固定無線で接続されており、損失を無視できることを仮定する。そのとき、グローバルパスの通信路品質は、図 4 に示すようにグローバルパスを構成する複数のローカルパスの通信路品質を集約したものとして考えることができる。ただし、グローバルパスの通信路品質定義に用いるローカルパスの伝送路パラメータの選択方法や集約ルール、アップデートのタイミングに関しては、各アプリケーションが要求する QoS 値に応じて決定する必要がある。

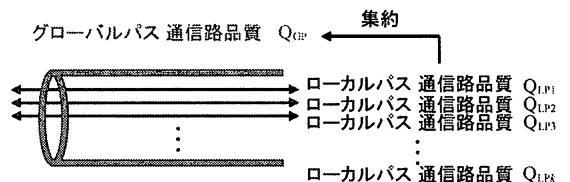


図 4. 複数パス集約時の通信路品質の定義

3. コグニティブ無線アクセスネットワーク実験装置を用いたスループット評価

前章の最後で述べたように、各アプリケーションにとって“最適”となるトラフィック配分を実現するための通信路品質定義や配分ルールはそれぞれ異なる。ここでは評価指標としてスループットに焦点を当て、IEEE802.16 および IEEE802.11b を通信デバイスとして備えるコグニティブ無線アクセスネットワーク実験装置を用いた屋内実証実験を行う。スループット評価実験により、各パスへのトラフィック配分率の最適値と、それを決定する通信路品質定義を明らかにする。

3.1. 実験概要

実験装置のネットワークは、図 5 および図 9 に示す構成をとるものとし、CBS および CT は無線デバイスとして IEEE802.16 および IEEE802.11b を備える。IEEE802.16 はデータレートを 1.92 Mbps, 3.84 Mbps, 8.64 Mbps の 3 通りに変化させて測定し、IEEE802.11b は 11 Mbps 固定とする。各パスはケーブルで直結され、瞬時変動や短区間変動は考慮しない。いずれの構成においても、CGW から CT に向けて UDP トラフィックを流し、各パスへのトラフィック配分率を変化させながら、合計 IP スループットを測定する。

3.2. CCL におけるローカルパス制御

まず図 5 に示すように、CGW 1 台、CBS 1 台、CT 1 台から構成されるネットワークを考える。CBS-CT 間には IEEE802.16 および IEEE802.11b の 2 つのローカルパスが存在し、前者をローカルパス 1(LP1)、後者をローカルパス 2(LP2)とする。図 6-8 にローカルパス 1 への配分率 η を 0~1 に変化させたときの合計スループットを示す。図 6-8 における IEEE802.16 のデータレートはそれぞれ 1.92 Mbps, 3.84 Mbps, 8.64 Mbps であり、それぞれ 3 通りのネットワーク負荷（図中に表記）を CGW から CT 方向に与えた場合について測定している。

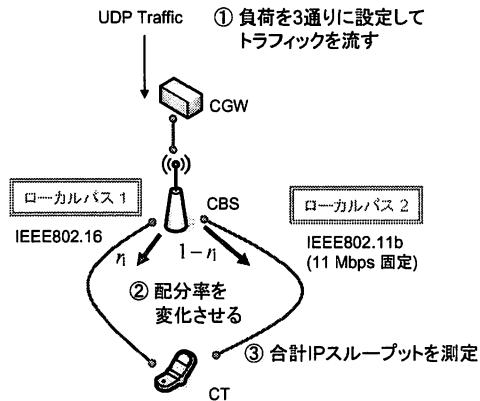


図 5. 単一基地局を介するスループット評価構成

まず図 6-8 より分かるように、ネットワーク負荷がネットワーク全体の合計実効スループットに比べて過大なとき（高負荷時）、もしくは、合計実効スループットと比べて過小なとき（低負荷時）には、合計スループットは比較的広い範囲の η に対して一定の最大値をとる。すなわち、配分率 η に対する変化が緩やかであり、 η が最適値からはずれたとしても合計スループットの低下はわずかである。よって、そのような場合には合計スループット以外の評価指標（遅延や誤り率など）を優先して配分率を決定するのがよい。

一方、ネットワーク負荷とネットワーク全体の合計実効スループットの均衡が取れている場合には、合計スループットは配分率 η の変化に対して敏感に反応し、急峻なカーブを描く。図 6-8 では、それぞれ η が 0.17, 0.3, 0.5 のときに最大値をとる。このとき、ローカルバス 1 とローカルバス 2 の合計実効スループットに対してローカルバス 1 の実効スループットが占める割合は、それぞれ $0.16 (=1.5/(1.5+7.8))$, 0.3, 0.5 であり、合計スループットが最大となる配分率は、各バスの実効スループットの比とほぼ等しいことがわかる。ただし、各バスの実効スループットを、 $\eta=0$ および $\eta=1$ 時のスループットとして予め測定しておく必要がある。次に、

各バスのデータレートの比率で決まる配分率を求めてみると、図 6-8 に対してそれぞれ、0.15 (=1.92/(1.92+11)), 0.26, 0.44 となり、合計スループットが最大となる配分率とわずかに異なっている。ただし、配分率をデータレートの比で決定することによる合計スループットの最大値劣化は 10%以下である。

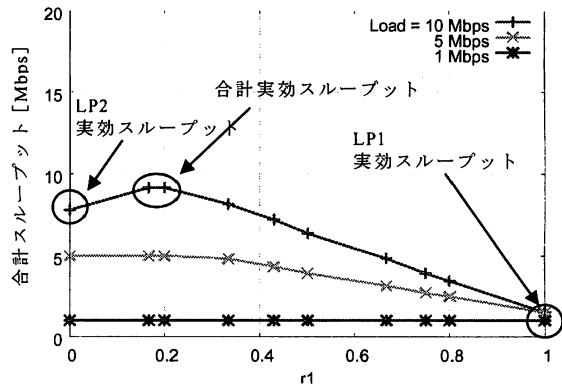


図 6. CGW-CT 間スループット特性（単一基地局）
 (LP1 : 1.92 Mbps, LP2 : 11 Mbps)

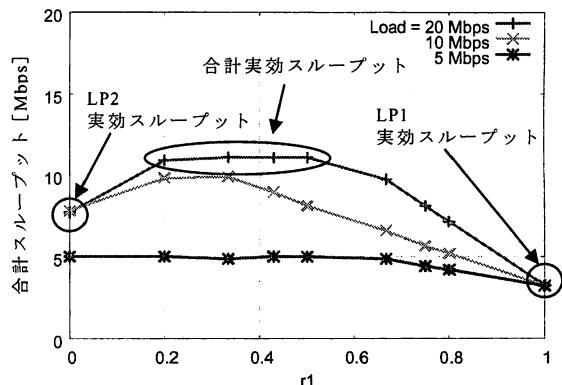


図 7. CGW-CT 間スループット特性（単一基地局）
 (LP1 : 3.84 Mbps, LP2 : 11 Mbps)

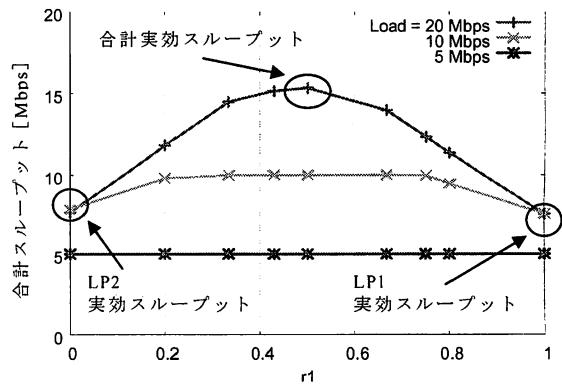


図 8. CGW-CT 間スループット特性（単一基地局）
 (LP1 : 8.64 Mbps, LP2 : 11 Mbps)

以上より、まず、高負荷時および低負荷時には、トライフィックの配分率は合計スループットにあまり影響を与えないため、合計スループット以外の評価指標を考慮して配分率を決定するのがよい。また、ネットワーク負荷とネットワーク全体の合計実効スループットが均衡し、配分率が合計スループットに大きく影響する場合には、各パスの通信路品質を実効スループットで定義し、その比でトライフィックを配分すれば、合計スループットを最大にできることがわかる。また、実効スループットを測定する手間を省くため、データレートの比で配分率を決定したとしても、合計スループットの最大値劣化は10%以下である。

3.3. 拡張IP層におけるグローバルパス制御

次に、図9に示す2台のCBSを介する構成を考える。CBS1-CT間にIEEE802.16およびIEEE802.11bの2つのローカルパスが存在し、CBS2-CT間にIEEE802.11bの1つのローカルパスが存在する。CBS1を経由するグローバルパス1(GP1)と、CBS2を経由するグローバルパス2(GP2)にトライフィックを配分し、合計スループットを測定する。ただし、CBS1-CT間の2つのローカルパスに対するトライフィック配分率については、3.2節で得られた結果を踏まえ、実効スループットの比で決まる配分率に固定している。

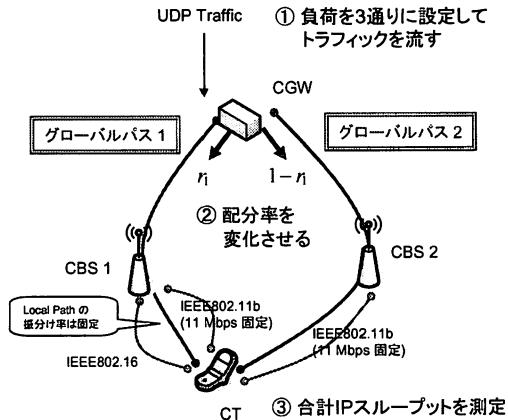


図9. 複数基地局を介するスループット評価構成

図10-12に、グローバルパス1への配分率 r_1 を0~1に変化させたときの合計スループットを示す。図10-12においては3.2節と同様、IEEE802.16のデータレートを1.92Mbps, 3.84Mbps, 8.64Mbpsの3通り(グローバルパス1のデータレートとしては、それぞれ12.9Mbps, 14.84Mbps, 19.64Mbps)に設定し、それぞれ3通りのネットワーク負荷(図中に表記)について測定している。

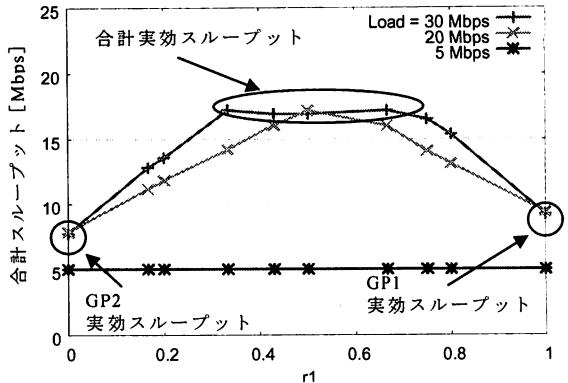


図10. CGW-CT間スループット特性(複数基地局)
(GP1: 12.9 Mbps, GP2: 11 Mbps)

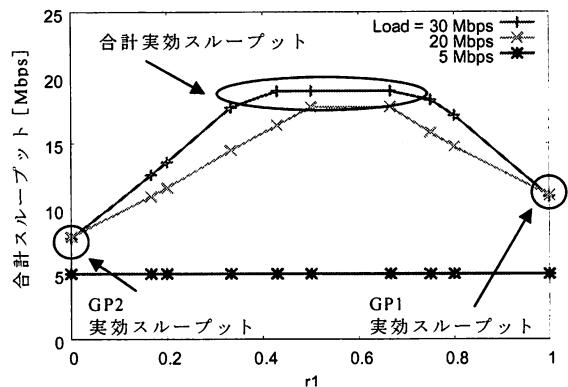


図11. CGW-CT間スループット特性(複数基地局)
(GP1: 14.84 Mbps, GP2: 11 Mbps)

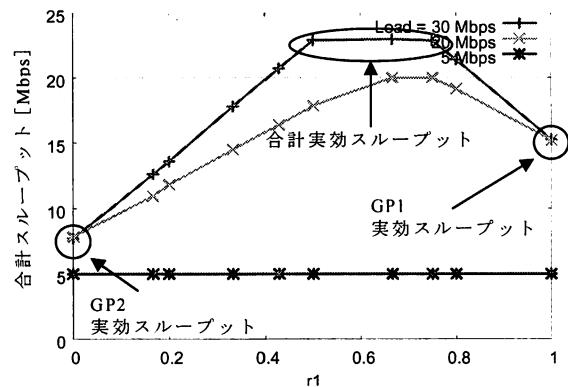


図12. CGW-CT間スループット特性(複数基地局)
(GP1: 19.64 Mbps, GP2: 11 Mbps)

図10-12よりわかるように、全体的な傾向はローカルパスでのトライフィック配分のときとほぼ同様である。つまり、高負荷時および低負荷時には、トライフィック

の配分率は合計スループットにあまり影響を与えない。一方、ネットワーク負荷とネットワーク全体の合計実効スループットが均衡する場合には、グローバルパスでのトラフィック配分率が合計スループットに大きく影響する。図 10-12において、それぞれ々が 0.54 (=9.2/(9.2+7.7)), 0.59, 0.66 のときに合計スループットが最大となり、これは各グローバルパスの実効スループットの比で決まる配分率と等しい。また、その際、グローバルパス 1 の実効スループットは、2 つのローカルパスの実効スループットの単純加算で定義すればよいことがわかる。一方、実効スループットの代わりにデータレートの比で配分率を算出すると、それぞれ 0.54, 0.575, 0.64 であり、上記の値とほぼ同じであり、合計スループットの最大値はほとんど劣化しない。

以上より、複数ローカルパスから構成されるグローバルパスの通信路品質は、各ローカルパスの実効スループットもしくはデータレートの合計値で定義すれば、合計スループットを最大にできることがわかる。

4.まとめ

本稿では、コグニティブ無線アクセสนットワークに階層型 QoS 経路制御を適用し、複数基地局を介した複数通信路へのトラフィック配分方法と、その制御に必要な通信路品質の定義方法について検討した。IEEE802.16 と IEEE802.11b の複数無線リンクから構成されるコグニティブ無線アクセสนットワーク実験装置を用いたスループット評価により、グローバルパスの通信路品質を各ローカルパスの実効スループットの合計値で定義し、各パスへのトラフィック配分を実効スループットの比に応じて制御すると、合計スループットを最大にできることがわかった。また、実効スループットの代わりにデータレートを用いることで、最大スループットの劣化を 10% 以内に抑えつつ、実効スループットを測定する手間が省くことができる。

今後の課題として、各アプリケーションが QoS 制御に要求する指標（遅延、ジッタ、誤り率、順序等）とその定量値を明確にし、その要求を満たすトラフィック配分ルールの策定と通信路品質の定義を行う。また、伝搬路変動を考慮し、それに応じたトラフィック分配の動的制御方法と、通信路品質のアップデートタイミング等について検討する。

謝 辞

本研究は、総務省から委託されている「コグニティブ無線通信技術の研究開発」によるものである。

文 獻

- [1] ITU-R Rec.M.1645, “Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000”
- [2] 野原他，“電波資源拡大のためのコグニティブ無線通信に関する研究”，信学技報，SR2006-11, pp.57-64, Apr. 2006.
- [3] 横木他，“コグニティブ無線通信に関する研究開発～これまでの研究成果～”，信学技報，SR2006-22, pp.59-65, Jul. 2006.
- [4] 山口他，“コグニティブ無線技術における通信経路制御技術の基礎検討”，通信総大，B-5-126, Mar. 2006.
- [5] 福原他，“コグニティブ無線システムにおける QoS 制御に関する一検討”，信学技報，IN2006-3, pp. 13-18, May. 2006.
- [6] 谷口他，“コグニティブ無線ネットワークにおけるパケット順序維持のためのパケット分配方式の検討”，情処研報，2006-MBL-37(11), pp. 55-60, May 2006.
- [7] 谷口他，“コグニティブ無線ネットワークにおけるパケット分配方式に関する一検討”，信学技報，MoMuC2006-50, pp. 79-84, Sep. 2006.
- [8] 西浦他，“コグニティブ無線アクセสนットワークシステムアーキテクチャの提案”，信学技報，SR2006-46, pp.33-39, Nov. 2006.
- [9] 西浦他，“コグニティブ無線アクセสนットワークにおける QoS ルーティングフレームワークについて”，信学技報，MoMuC2006-61, pp.1-5, Jan. 2007.
- [10] Jong-Ok Kim et al., “Traffic Distribution Based on Airtime-Fairness for Multi-Radio Cognitive networks”，信学技報，MoMuC2006-69, pp.47-52, Jan. 2007.
- [11] 山口他，“コグニティブ無線通信における通信経路制御技術”，信学技報，SR2006-82, pp.9-15, Mar. 2007.
- [12] 西浦他，“コグニティブ無線アクセสนットワークにおける端末中継経路構築法の提案”，電子情報通信学会，2007 年総合大会，B-17-13, Mar. 2007.
- [13] 山本他，“コグニティブ無線における階層型 QoS 経路制御方式の提案”，電子情報通信学会，2007 年総合大会，B-17-15, Mar. 2007.
- [14] 谷口他，“コグニティブ無線における集約リンク数の違いによる伝送性能への影響に関する検討”，電子情報通信学会，2007 年総合大会，B-17-29, Mar. 2007.
- [15] <http://grouper.ieee.org/groups/802/16/>
- [16] <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>