

## 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

谷口 典之<sup>†</sup> アウスト シュテファン<sup>†</sup> 滝沢 泰久<sup>†</sup>

山口 明<sup>†</sup> 小花 貞夫<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 株式会社 国際電気通信基礎技術研究所  
〒 619-0288 京都府相楽郡精華町光台 2-2-2

E-mail: †{taniguti,aust,takizawa,yamaguchi,obana}@atr.jp

**あらまし** 無線通信を利用する機器の増加や、個々の通信で求められる通信帯域の増大による無線リソースの枯渇が懸念されている。これらの問題を解決する技術として、コグニティブ無線が提案されている。コグニティブ無線ネットワークにおいて、基地局および端末は通信環境に応じて、多様な無線システムを適応的に同時利用することが可能である。これら複数の無線リンクを利用して高速かつ安定な通信を行うために、送信パケットを各経路に分配し並列的にデータ送信を行うことが考えられる。しかし、複数の特性の異なる無線リンクに対して、パケットを分配して通信を行う場合、通信速度や振り分けるパケットサイズの違いにより、パケット受信端末に到着する順序に各経路でずれが発生し、同時利用するリンクの性能を十分に活用できない問題がある。そこで本稿では、コグニティブ無線ネットワークにおいて、帯域集約技術による高能率、高品質な無線リンクの実現するために解決すべき課題について考察する。さらに、それらの解決手法について検討し、最後に、我々の提案するパケット分配方式について述べる。

**キーワード** コグニティブ無線, 帯域集約, パケット分配方式

## A Study of Packet Distribution Method for Packet Order Maintenance in Cognitive Radio Network

Noriyuki TANIGUCHI<sup>†</sup>, Stefan AUST<sup>†</sup>, Yasuhisa TAKIZAWA<sup>†</sup>,

Akira YAMAGUCHI<sup>†</sup>, and Sadao OBANA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Advanced Telecommunications Research Institute International  
2-2-2 Hikaridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto, 619-0288, Japan

E-mail: †{taniguti,aust,takizawa,yamaguchi,obana}@atr.jp

**Abstract** Due to the growth of radio devices, wireless communication users have drastically increased. At first the contents demanded from mobile terminal users were very simple. Now, they have wanted the high quality realtime service using movie and voice. Recently, increasing a mobile terminal user and demand to the high quality realtime service bring the shortage of wireless resource. Cognitive radio is one of the technology to solve this problem. Cognitive radio network can adapt the various communication environment by using multiple radio system adaptively. However for using aggregated link efficiently, the order of packet arrivals should be assured at the receiving terminal. In this paper, we consider the packet distribution method to avoid the miss-ordered packet sequence for efficient use of radio resource.

**Key words** Cognitive Radio, Link Aggregation, Packet Distribution Method

### 1. はじめに

現在、無線通信デバイスの普及により、無線通信のユーザが

急激に増加している。これに伴い、モバイル端末から利用可能なコンテンツへの要求も、電子メールや Web ブラウジング等の静的なコンテンツから、音声やビデオを含むマルチメディア

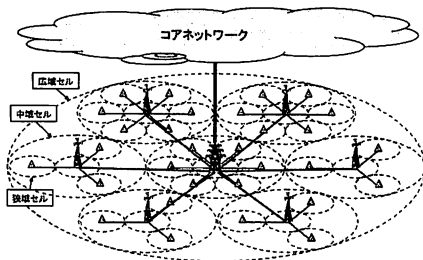


図1 コグニティブ無線のカバレッジ構成

Fig.1 Example of coverage configuration of cognitive radio.

つ、さらには高画質高音質リアルタイムサービスへと変化しつつある。これらのサービスを実現し、ユーザの要求するサービス品質 (QoS: Quality of Service) を満たすために、無線通信においても接続性、信頼性はもとより、大量のデータを短時間で伝送可能な通信帯域の確保が望まれている。このような、無線通信デバイスの普及によるユーザの増加、個々の通信で求められる通信帯域の増大により、近年、無線リソースの枯渇が懸念されている。これらの問題を解決する技術として、コグニティブ無線技術が提案されている。[1]~[4]

コグニティブ無線ネットワークでは、同時利用可能な複数の無線リンクに対し帯域集約を行い、高能率、高品質な無線リンクを実現する[5]。帯域集約とは、通信を行う端末間に複数の通信経路が存在する場合に、送信パケットを各経路に分配し、並列的にデータ送信を行うことで各経路の通信帯域を集約する技術である。帯域集約において、複数の特性の異なるリンクに対してパケットを分配して通信を行う場合、通信速度や振り分けるパケットサイズの違いにより、パケット受信端末に到着する順序に各経路でずれが発生し、同時利用するリンクの性能を十分に活用できない問題がある。また、無線通信環境を考えた場合、各端末がおかれる環境によって、同じ無線リンクであっても通信性能に違いが生じる。そのため、通信状態の悪い端末の通信が、無線リソースを占有する時間が長くなり、同じリンクを共有する他端末のパケット到着順に影響する場合がある。さらには、同じ無線リンクを共有する端末全体としての伝送効率の低下につながる恐れがある。

そこで本稿では、コグニティブ無線ネットワークにおいて、帯域集約技術による高能率、高品質な無線リンクの実現するために必要な課題について検討する。さらに、それらの解決法について考察し、無線リソース有効活用を意識した帯域集約を実現するパケット分配方式の提案を行う。

## 2. コグニティブ無線ネットワーク

コグニティブ無線技術とは、文献[3]において、「無線機が周囲の電波利用環境を認識し、その状況に応じて適宜学習等を取り入れつつ、ネットワーク側の協力を得ながらシステム内、システム間問わず、複数の周波数帯域、タイムスロット等の無線リソース、ならびに通信方式を適宜使い分け、ユーザの所望の通信容量を所望の通信品質で、周波数の有効利用を図りつつ伝

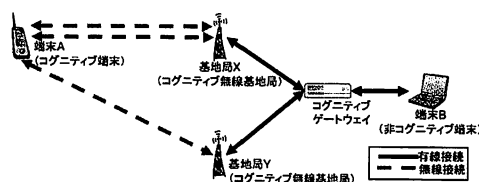


図2 コグニティブ無線ネットワークの最小構成

Fig.2 Configuration of cognitive radio network.

送を行う無線技術」と定義されている。この定義に従い、本稿では多様な無線システムが混在する無線通信環境をコグニティブ無線ネットワークと捉える。すなわち、コグニティブ無線技術は、異なる複数の無線システムを装備した基地局と、同様に異なる複数の無線システムを装備した端末とのネットワークにおいて、複数の無線システムを、無線通信状況に応じて適宜使い分ける、または同時に利用する技術と考える。

コグニティブ無線ネットワークでは、複数無線システムを併用することから、図1に示すように、セルラーに代表される広域セルの移動通信の無線システム、ホットスポットなどで利用される無線LANなどの狭域セルの無線システム、広域/狭域間に位置する中域セルの無線システムなどが、オーバレイするカバレッジ構成となる。狭域セル、中域セルの無線システムは、高トラフィック地域のチャネル容量の補填あるいは、広域セルの電波不感地域の補填としての利用が想定される。

次に、本稿で想定するネットワーク構成について述べる[4],[5]。図2は、基地局と端末の間で、複数の無線システムが適応的に併用される形態を示す。各無線システムが、複数のチャネルを併用する形態も含む。また、単一基地局で要求品質を満足できない場合、複数の基地局に同時に接続する。本稿において、コグニティブ無線ネットワークは、複数の無線システムに対応した端末、基地局から構成する。また、コグニティブゲートウェイを介してコアネットワークに接続される。構成要素の各機能について、以下に述べる。

コグニティブ基地局 (Cognitive Base Station: CBS) は、端末および基地局で取得した電波利用状況、通信品質状況、品質要求などに基づき、無線システムを動的かつ最適に決定し、通信経路を構築する。さらに、データを通信経路に適応的に分配、集約する。基地局は、周辺の状況を全体的に把握して、周波数有効利用の視点からこれらの処理を行う。

コグニティブ端末 (Cognitive Access Terminal: CAT) は、周辺の電波利用状況を測定し、基地局に報告する。基地局との連携により通信経路を構築し、データを適切に分配、集約する。

コグニティブゲートウェイ (Cognitive Gateway: CGW) は、コグニティブ無線特有の機能を隠蔽し、コアネットワークと相互接続可能な環境を提供する。

本稿では特に、コグニティブ基地局端末間における複数の無線リンクの集約に焦点をあて、パケット順序維持のためのパケットの分配方式について検討する。

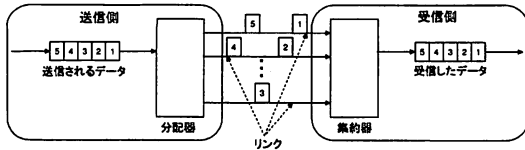


図3 帯域集約機能の構成例

Fig.3 An example of link aggregation configuration.

### 3. 帯域集約

帯域集約技術は、一般に Striping, または Multiplexing と呼ばれ、プロトコルスタックの各層で実現可能である。帯域集約機能の構成例を図3に示す[12]。送信側のデータは、分配器で複数のリンクへ分配される。分配時のデータ単位としてはパケット単位、フラグメント単位などが考えられる。別々のリンクを通して到着したデータは、集約器で並べ替え、または再構成された後、上位層へ渡される。双方向の通信で集約されたリンクを利用するためには、双方の端末または基地局において分配器、および集約器を備える必要がある。

有線・無線を問わず複数の通信経路を同時に利用することで、通信速度や品質の向上を図る帯域集約技術は、これまでも多くの研究がなされている。[7]~[13] 特にデータリンク層における帯域集約については古くから研究されており、その一つに BONDING (Bandwidth On Demand Interoperability Group) [6] が挙げられる。BONDING は、BONDING コンソーシアムによって、回線交換チャネルに対するパケット分配方式の仕様が定められている。有線通信を対象としたデータリンク層での帯域集約手法は、多くの場合、リンク特性や環境が変動しないことを前提としている。そのため、種々のサイズのパケットが混在する場合のパケット分配手法や、大きく順序のずれの発生への対応など、いくつか課題を残している。[8]。

パケット単位でデータの分配を行った場合、リンクごとの遅延時間やパケットサイズの違いから、受信側において到着パケット順序の逆転が発生する。そのため、上位のプロトコルの機能によって、順序が前後したパケットが破棄されたり、無用な再送要求を誘発する原因となり、集約リンクの性能を十分に生かすことができない。

田畑ら[10]は、広帯域固定無線アクセスシステムにおける無線マルチリンクシステムに関して、各チャネルごとのバッファ残量、および総送信量などの情報に基づくパケット分配方式について検討を行っている。この中で、トラフィックの増加に伴い、パケットサイズの違いによるパケット順序への影響が大きくなるため、パケットサイズと速度比率の双方を考慮した制御を行うことがパケット順序維持に効果的であると報告されている。

一方、IP パケットを断片化したフラグメントを分配する単位とした場合、各フラグメントの送信を複数の無線リンクを使って並列的に行うことで帯域の集約を行う。これにより、帯域集約後の各リンクを、複数の物理リンクからなる一つの広帯域な

論理的リンクとみなすことが出来るため、パケット順序の逆転が抑制できる。このためには、分割されたパケットを再構成するために必要な情報を、ヘッダー情報として各フラグメントに付加する必要がある[8]。分割する単位が小さいほど、集約する各リンクの特性に応じた分配が可能であるが、それに比例してヘッダー情報による余分なデータ量が増すことになる。また、フラグメントの到着順序がずれた場合には、遅れたフラグメントの到着を待つ待ち時間、および順序を並び替え、パケットを再構成する時間が必要となる。その結果、遅延時間やジッターが大きくなる要因となり、上位層のプロトコルの機能や動作に影響を与える。そのため、これらを考慮した上で適切なフラグメントサイズを決定する必要がある。

Alex [11] は、無線 WAN において、各リンクの性能指標に応じてフラグメントを分配する Link Quality Balancing を提案している。性能指標としては、パケットロス率から短期的な利用可能帯域をリンクごとに算出した値を用いる。得られた指標に応じて各リンクの MTU を動的に制御し、フラグメントサイズを調整することで、各リンクが当該パケットの各フラグメントを送信するのにかかる時間を概ね等しくするようにする。これにより、受信側端末でのパケット再構成を遅延無く可能としている。

一方、Jacquet [12] らは、IP パケットを一定サイズでフラグメント化し、それを送信単位とすることでパケットサイズの違いによる影響の抑制を図っている。フラグメント化されたパケットは、再構成に必要な情報を格納したヘッダーが付与され、ストライピングキューと呼ばれるキューに格納される。ストライピングキューから各無線リンクへの分配は Advance Sending と呼ばれる手法により決定される。Advance Sending では、キューの並び順通りではなく、伝送レートごとに設定されたシフト値分後ろのキューを、通信速度の遅いリンクに先に割り当てる。これにより、フラグメント受信時に到着順が逆転するのを避ける。文献[12]において、無線通信を想定した種々のエラーレートが設定されたリンクを用いてシミュレーションを行い、良好な結果を得ている。

これらの研究では、利用可能な無線リンクを全て集約することで、伝送速度の向上やジッターを低く抑えることを目的としている。複数の端末で同じ無線リソースを利用する場合、それぞれの端末の環境によってリンク品質が異なる。そのため、ある端末で通信速度や品質が低いリンクまで集約し利用しようとしたとき、同じ無線リソースを高い品質で利用可能な他の端末の通信に影響を及ぼすと考えられる。しかし、この点に関する検討はなされていない。

そこで本稿では、無線リソースの有効活用に焦点をあて、リンクを共有する端末群全体としての伝送効率の向上を図りつつ、帯域集約を行うことを考える。

### 4. パケット分配方式に関する検討

コグニティブ無線では、周囲の環境に応じて適応的に利用する無線システムを切り替えながら通信を行う。また、無線リンクの特性として、各リンクの品質が動的に変化することが予想

される。よって、分配スケジュールに関しても再スケジュールリングが必要になると考えられる。そこで本稿では、各無線リンクごとに存在するデータリンク層への出力キューに対し、送信開始予想時刻の早い順にフラグメントを分配するものとする。また、複数の出力キューの送信開始予想時刻が同じであった場合、通信速度の速いリンクの出力キューから順に分配する。

このようにして決定したスケジュールにおいて、連続する二つのフラグメント間で、到着順序の逆転が起こった場合に発生する待ち時間について考える。p 個のフラグメントのうち、n 番目のフラグメントを  $F_n (n = 1, 2, \dots, p)$  とする。また、1 フラグメントを最も速いリンクで送るのにかかる時間を  $t_{fast}$ 、最も遅いリンクでおくるのにかかる時間を  $t_{slow}$  とする。フラグメント  $F_{n+1}$  と一つ前のフラグメント  $F_n$  で順序の逆転が起きたとき、 $F_{n+1}$  が  $F_n$  の到着を待つ待ち時間  $T_p$  とする。このとき  $T_p$  は、フラグメント  $F_n$  が最も遅いリンクに分配された直後に、フラグメント  $F_{n+1}$  が最も速いリンクに割り振られた場合に最大となる。このときの最大待ち時間  $T_{Pmax}$  は、 $T_{Pmax} = t_{slow} - t_{fast}$  となる。よって、集約するリンクのうち最も速いリンクと最も遅いリンクの通信速度差が大きいほど待ち時間は長くなる。

次に、順序の逆転が起こらなかった場合に、 $F_n$  が  $F_{n+1}$  を待つ待ち時間  $T_N$  は、 $F_n$  が最も速いリンクで送られ、送り終わる直前に  $F_{n+1}$  が最も遅いリンクに割り当てられたとき最大となる。そのときの待ち時間  $T_{Nmax}$  は、 $T_{Nmax} = t_{slow}$  となる。よって、最も遅いリンクの通信速度に依存することがわかる。この場合、多少の待ち時間が発生しても、通信速度の速いリンクを利用した方が転送時間を短縮できる場合がある。よって、各端末へのパケット送信において、極端に通信速度の遅いリンクの使用を避けることで、セル全体としての通信効率の向上が期待できる。そのため、利用可能な無線リンクにおいて、通信速度が遅いリンクの使用をある程度制限することでこれを避けることを考える。これにより、同じ無線リソースを共有する端末群全体としての通信効率を向上させ、高能率な通信が可能であると考えられる。

## 5. コグニティブ基地局におけるパケット分配方式の提案

本節では、コグニティブ基地局におけるパケット分配の提案方式を示す。

提案手法では、帯域集約をデータリンク層とネットワーク層の間に新たに L2.5 コグニティブ層（以下、L2.5 と記述する）を加える形で行うことを考える。これにより、既存の上位プロトコルやアプリケーションが複数の無線リンクの存在を意識せずに動作可能なように、ネットワーク層以上の層に対する透過性を維持する。同時に、データリンク層以下の層において、無線システムの違いにより生じる制約を、それらに依存した特性を持つ一つの論理的なリンクとして扱うことを可能にする。本稿で提案するパケット分配方式の構成を図 4 に示す。

L2.5 では、まず、ネットワーク層より受け取った IP パケットを一定サイズにフラグメント化する。これにパケットを再構成

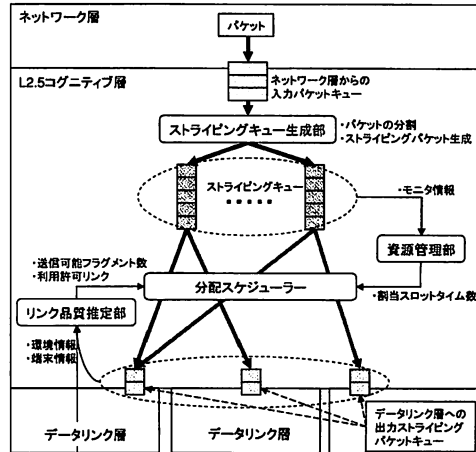


図 4 提案方式の構成

Fig. 4 Structure of proposed method.

する際に必要な情報を格納したヘッダーを付与する。ヘッダー情報が付与された各フラグメントをストライピングパケットと呼ぶものとする。ストライピングパケットは、一旦ストライピングキューへ格納された後、分配スケジューラによって、各無線リンク毎に存在するデータリンク層への出力キューへ分配される。パケット単位ではなくフラグメント単位で分配を行うことにより、パケット間の順序逆転の発生を抑制する。同時に、個々のパケットの伝送時間を短縮することでフロー全体の伝送速度の向上を図る。

図 4 において、L2.5 は、ネットワーク層からの入力キュー、データリンク層への出力キュー、およびストライピングキューの 3 つの異なるキューと、ストライピングキュー生成部、リンク品質推定部、資源管理部、分配スケジューラの 4 つのモジュールで構成される。以下、各モジュールの動作について述べる。

### 5.1 ストライピングキュー生成部

ストライピングキュー生成部は、ネットワーク層より受け取った IP パケットのヘッダー情報から宛先を読み取り、該当する宛先端末用のストライピングキューへ格納する。該当する宛先端末用のストライピングキューが存在しない場合は、新たにストライピングキューを生成する。また、一定時間使われなかったとき、これを削除する。

ストライピングキューへのパケットの格納は、パケットを一定サイズでフラグメント化し、各フラグメントへストライピングヘッダーを付加した後に行う。ストライピングヘッダーには、受信側端末において、フラグメント化されたパケットを再構成するために必要なシーケンス番号や識別子などの情報を格納する。ストライピングキューから無線リンクごとに存在するデータリンク層への出力キューへのストライピングパケットの転送は、分配スケジューラによって行われる。このように、ストライピングキューを宛先端末ごとに用意し、パケットの送信を許可するキューを切り替えることで、特定の端末が基地局の無線リソースを長時間占有するのを防ぐ。どのストライピングキュー

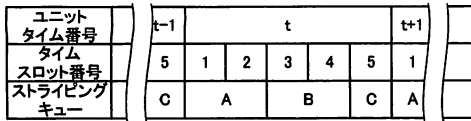


図 5 時間単位の割当例

Fig. 5 Example of assignment of unit time and time slot.

がデータリンク層への出力キューへストライピングパケットを送出するかは、資源管理部によって管理される。

### 5.2 資源管理部

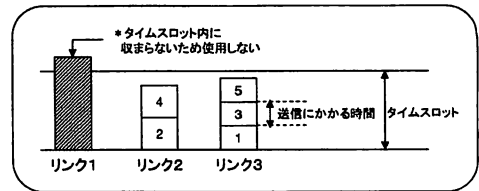
資源管理部は、ストライピングキューが出力キューへフラグメントを転送する順序を決定、管理する。スケジューリングを行う時間単位としてユニットタイムとタイムスロットを用いる。タイムスロットは、ユニットタイムを一定時間で細かく分割したものであり、これをどの程度割り当てるかで、各ストライピングキューが基地局の無線リソースを占有する時間を制御する。ユニットタイムは、スケジューリングを行う時間の幅であり、周期を決定する。これらの時間単位の割当例を図5に示す。

ユニットタイム内に、タイムスロットを各ストライピングキューに1つ以上割り当てることにより、ユニットタイムで設定された時間内に、次の送信機会を得ることができる。よって、特定の端末への通信が集中した場合にも、他の端末宛のストライピングキューはストライピングパケットを送出可能となる。これにより、VoIP など遅延保障の必要なパケットに対するQoS要求への対応を図る。これらの保障が必要とされない場合は、ユニットタイムによる制限を設けずに、到着パケットサイズに応じたタイムスロット数を割り当てることで、ベストエフォート的な動作をすることも可能である。

割り当てるタイムスロット数は、各ストライピングキューへのストライピングパケットの平均到着時間間隔や、ストライピングキューのキューサイズの変動を監視し、これらの情報を元に決定する。しかし、ストライピングキューがキューにある全てのストライピングパケットを送信するのに必要なタイムスロットが得られない場合、同一パケットのフラグメントが二つのユニットタイムに分かれる。その結果、パケットの到着までに要する時間が1ユニットタイム分増加する。そのため、これらの値を適切に設定する必要がある。また、QoSクラス間のスケジューリングについては、今後さらに検討する。

### 5.3 リンク品質推定部

リンク品質推定部では、宛先端末の通信における伝送レートやスループットといった履歴情報や、RSSIの遷移、移動速度といった宛先端末から受け取る環境情報を元に各無線リンクの通信速度を推定する。推定した結果を元に、宛先端末に対して一つのフラグメントの送信にかかる時間を算出する。算出結果から、割り当てられたタイムスロットで送信可能なフラグメント数を算出し、分配スケジューラに伝える。また、一つのストライピングパケットの送信にかかる時間が、割り当てられたタイムスロットを超える場合、その宛先端末に対する通信において、そのリンクを集約の対象から外すものとする。動作イメー



宛先端末	A	B	C
取得スロット内で送信可能なフラグメント数	リンク1: 0 リンク2: 2 リンク3: 3 合計: 5	リンク1: 2 リンク2: 1 リンク3: 3 合計: 6	リンク1: 3 リンク2: 1 リンク3: 1 合計: 5

図 6 リンク品質推定例

Fig. 6 Example of link quality estimation.

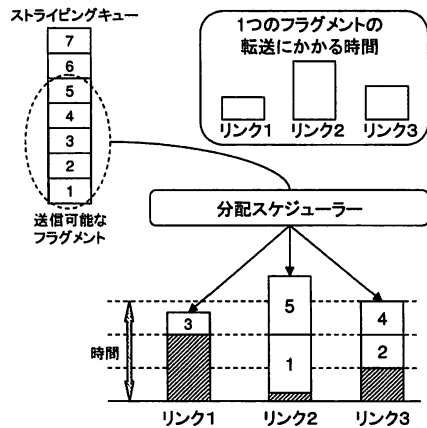


図 7 分配スケジューラーの動作

Fig. 7 Fragment distribution scheduler.

ジを図6に示す。さらに、データリンク層への出力キューにおいて、一つのストライピングパケットが先頭に来てから出力されるまでの時間を計測するこれを用いて、ユニットタイムごとにフラグメントの送信にかかる時間の推定結果を補正し、精度の向上を図る。

### 5.4 分配スケジューラ

分配スケジューラは、まず、リンク品質推定部により推定された1タイムスロットに送信可能なフラグメント数、利用可能なリンク、各リンクが一つのフラグメントの送信に必要とする時間などの情報を受け取る。リンク品質推定部からの情報と資源管理部からの割り当てタイムスロット数を元に、与えられたタイムスロット内に送信可能なフラグメント数を算出する。算出した結果の数だけ、フラグメントをストライピングキューより取り出し、無線リンクごとに存在するデータリンク層への出力キューへと分配する。分配スケジューラの動作を図7に示す。

分配スケジューラは、データリンク層への出力キューごとに、キューに残っているそれぞれのフラグメントの宛先と、そ

の宛先へのフラグメントの送信にかかる時間の合計を保持する。これにより、その出力キューが空になるまでにかかる時間を推定する。推定結果から、空になるのが早い出力キューから順にフラグメントを分配する。複数の出力キューの送信予想時刻が同じ時刻であった場合、1フラグメントの送信にかかる時間の短い、すなわち通信速度の速いリンクの出力キューから順に割り振る。ただし、リンク品質推定部より利用可能とされたリンクの出力キューのみを対象とする。

## 6. ま と め

本稿では、コグニティブ無線ネットワークにおいて帯域集約の実現に必要な要求条件について検討し、分配スケジューリングで期待できる効果と問題点について考察を行った。それらを踏まえて、コグニティブ基地局において、パケット順序を維持することにより、無線リソースを共有する端末全体で高性能な通信を実現するパケット分配方式を提案した。今後の課題として、必要なパラメータの決定方法についてさらに検討を進めるとともに、シミュレーション等を通して本手法の有効性について検証する予定である。

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」により行われたものである。

## 文 献

- [1] J. Mittra III, G. Maguire, Jr, "Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal," IEEE Personal Communication, vol. 6, no. 4, pp. 13-18, Aug. 1999.
- [2] J. Mittra III, "Cognitive Radio for Flexible Multimedia Communications," Proc. MoMuC'99, pp. 3-10, Nov. 1999.
- [3] 原田, "コグニティブ無線を利用した通信システムに関する基礎検討", 信学技報, SR2005-18, pp. 117-124, May. 2005.
- [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", 信学会全国大会予稿集, B-5-126, May 2006.
- [5] S. Aust, etc, "Cognitive Communication System Architecture for Spectral Efficient Wireless Network", IEICE National Conference, B-5-127, Mar 2006.
- [6] Bandwith ON Demand Interoperability Group. Interoperability Requirements for Nx56/64kbit/s Calls, Sep. 1992.
- [7] K. Sklower, B. Lloyd, G. McGregor, D. Carr and T. Coradetti. "The PPP Multilink Protocol (MP)," RFC1990 (Draft Standard), Aug. 1996.
- [8] C. Brendan, S. Traw, and M. Smith, "Striping Within the Network Subsystem," IEEE Network, SR2005-18, pp. 22-29, Jul/Aug. 1995.
- [9] H. Adishesu, G. Parulkar, G. Varghese, "A Reliable and Scalable Striping Protocol," Computer Communications Review, Vol, 26, No, 4, pp. 131-141, Oct. 1996.
- [10] 田畑慶太, 岸 洋司, 北原 武, 野本真一, "無線マルチリンクシステムにおけるパケット順序制御手法についての検討", 信学技報, RCS2002-193, pp. 7-12, Nov. 2002.
- [11] Alex C. Snoeren, "Adaptive Inverse Multiplexing for Wide-Area-Wireless Networks", Proceedings of IEEE GlobCom, Dec. 1999.
- [12] F. Jacquet, and Michel MISSON, "A Method for increasing throughput based on packet striping", 1st European Conference, pp. 375-379, Oct. 2000.
- [13] 長谷川他, "End-to-Endの通信品質を改善する複数経路通信方式の提案と無線環境における評価", 信学技報, MoMuC 2004-78, Nov. 2004.