

コグニティブ無線における複数無線リンク集約方式の評価 An Evaluation of Multiple Wireless Link Aggregation Method in Cognitive Radio

谷口 典之[†] アウスト・シュテファン[†] 滝沢 泰久[†] 山口 明[†] 小花 貞夫[†]
Noriyuki Taniguchi Stefan Aust Yasuhisa Takizawa Akira Yamaguchi Sadao Obana

1. まえがき

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。我々はこれまでに、コグニティブ無線ネットワークにおいて、帯域集約による高能率、高品質な無線リンクの実現のためのパケット分配方式を提案した[1]。本稿では、シミュレータ上で基地局のパケット分配スケジューラに提案方式を用いて評価・解析を行った結果について報告する。

2. コグニティブ無線における帯域集約

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[2]。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のずれが発生し、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、各端末がおかかる環境によって、同じ無線システム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が長時間無線リソースを占有し、他端末に悪影響を与えないよう制御する必要がある。

3. 提案方式の機能構成

提案方式は、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。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のように、ネットワーク層に対する透過性を維持する。同時に、複数存在する無線リンクを、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。提案したパケット分配手法の構成を図 1 に示す。

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 つのモジュールにより構成される。L2.5 では、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分割する。

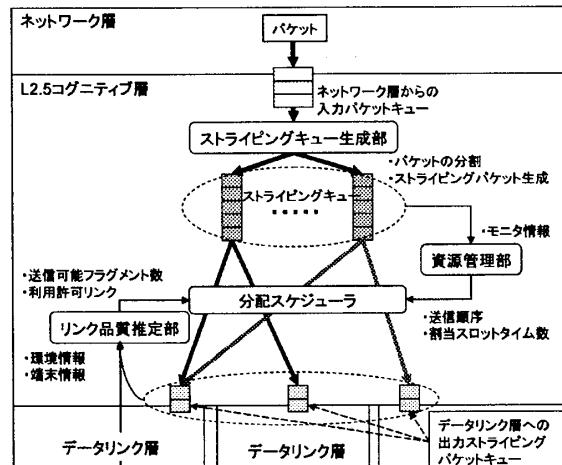


図 1: 提案方式の構成

これにパケットの再構成に必要な情報を格納したヘッダを付与する。分割パケットは、ストライピングキューへ格納され、分配スケジューラによって、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。ストライピングキューを宛先端末ごとに用意し、データの送信を許可するキューを切り替えることで、特定端末が基地局無線リソースを長時間占有することを防ぐ。

資源管理部は、ストライピングキューが出力キューへ分割パケットを転送する順序を決定し、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。ユニットタイムは、スケジューリングを行う時間幅であり、分配スケジューラの更新周期を決定する。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。

リンク品質推定部では、履歴情報や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、ひとつのタイムスロットで送信可能な分割パケット数を算出し、分配スケジューラに伝える。また、1 タイムスロット内に分割パケットの送信が不可能な場合、そのリンクを集約の対象から除外する。

分配スケジューラーは、リンク品質推定部の情報と資源管理部からの割り当てタイムスロット数から、与えられたタイムスロット内に送信可能な分割パケット数を算出する。その数だけ分割パケッ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。

このように、パケット単位ではなくフラグメント単位で分配を行い、利用可能な複数のリンクを並列的に使用することで分割前のパケット間の順序逆転の発生を抑制

[†]株式会社 国際電気通信基礎技術研究所、ATR

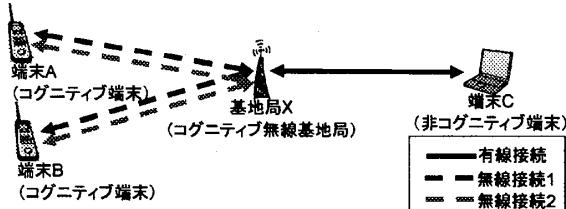


図2: シミュレーション環境

表1: テスト環境

| 端末 | 伝送レート | | BSからの距離 |
|--------------|--------|--------|---------|
| | 無線接続1 | 無線接続2 | |
| テスト1 A, B | 54Mbps | 6Mbps | 100m |
| テスト2 A | 54Mbps | 6Mbps | 100m |
| | 54Mbps | 6Mbps | 300m |
| テスト3 A | 54Mbps | 6Mbps | 100m |
| | 6Mbps | 54Mbps | 100m |

し、さらに、伝送時間も短縮することができる。これにより、フロー全体の伝送速度が向上する。

4. 計算機シミュレーション

前述の方式の性能を評価するため、ネットワークシミュレータ QualNet に 3.9 実装し、計算機シミュレーションを行った。その際のネットワーク構成を図 2 に示す。全シミュレーションを通して、無線方式は IEEE802.11g、伝送レートは固定とし、BS からの距離を変えて 802.11g の実効スループットを計測した。チャネル割り当ては、無線接続 1, 2 で異なるチャネルを設定し、チャネル間の干渉は無いものとする。伝搬特性は距離特性（自由空間）とした。トラフィックは、非コグニティブ端末である端末 C から端末 A, B へそれぞれ設定し、パケット長が 64~1500byte でランダム（一様分布）なパケットを、送信間隔 1ms で送信した。また、提案方式におけるパラメータは、パケット分割サイズを 256byte、ユニットタイムを 100ms、スロットタイム数を 100 とした。スロットタイムの割り当ては均等割りとし、端末 A,B 宛のストライピングキューポリシーに 50 とした。通信速度の推定は、分割パケットが出力キューに分配されてから送信されるまでのキューでの滞留時間から、過去に送った 10 パケットで平均を取り、その値と分割パケットサイズから伝送速度を算出する形で宛先ごとに行った。

シミュレーションは、テスト 1 として、伝送レート、基地局からの距離共に、端末 A,B で同じ条件の時の無線接続 1, 2 の合計スループットの時間変化を計測した。テスト 2 として、BS からの距離によって端末 B のリンク品質が低下した場合の無線接続 1,2 の合計スループットの変化を端末 A, B で評価した。これにより、端末 B の通信において、距離が離れたことにより再送が増え、無線リソースの占有時間が長くなることによる端末 A の通信への影響を観測する。テスト 3 として、距離は同じであるが、伝送レートの割当が端末 A, B で逆になっている場合の無線接続 1, 2 の合計スループットの変化を端末 A, B で評価した。これにより、無線接続 1, 2 の通信速度が宛先によって極端に異なる場合の分配スケジューラの動作について検証する。各パラメータの設定を表 1

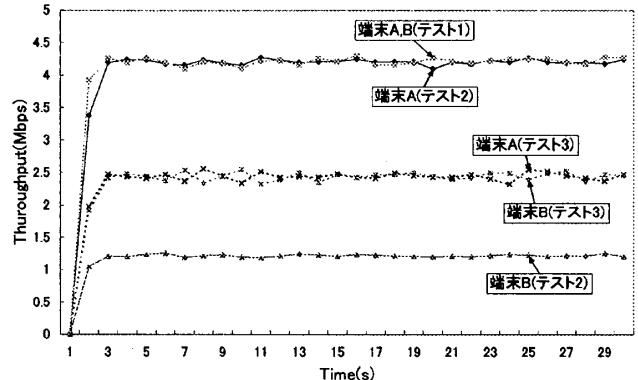


図3: シミュレーション結果

に示す。

以上の設定で、シミュレーションを行った結果を図 3 に示す。図 3 のテスト 2 の結果より、テスト 1 の結果と比較して端末 B のスループットが下がっているものの、端末 A のスループットに影響していないことがわかる。これは、端末 B 宛のパケットの再送回数の増加により、各パケットの無線リソース占有時間が長くなつた場合にも、提案方式では、割当タイムスロット分以上占有させないため端末 A の通信へ影響しなかったと考えられる。

次に、テスト 3 の結果では、テスト 1 の結果と比べて、端末 A,B ともスループットが低下している。今回のシミュレーションでは、リンク品質推定部における通信速度の推定に、出力キューにおけるインターフェース単位でのモニタ情報を利用した。そのため、テスト 3 のような条件の場合、高速に送信されるパケットと低速で送信されるパケットの滞留時間が平均化され、通信速度の推定精度が下がつたために、分配スケジューラに影響し、最適なパケット分配が行えなかつたと考えられる。

5. まとめ

本稿では、先に筆者らが提案したコグニティブ無線のための複数無線リンク集約方式を、シミュレータ上でパケット分配スケジューラに用いて評価・解析を行つた結果について報告した。結果から、提案方式により、通信状態の悪い端末が長時間無線リソースを占有することによる他端末への影響を防げることが確認できた。また、最適なパケット分配を行うには、リンク品質推定部における通信速度の推定精度を向上させる必要があることがわかつた。今後は、パケットの分割サイズなど他のパラメータの影響について解析を進めると共に、精度の高いリンク品質推定方法について検討する。

参考文献

- [1] 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" 情報研報, Vol. 2006, No. 50, pp. 55-60, May 2006.
- [2] 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.

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。