

無線 LAN における NC を用いた高信頼性マルチキャスト方式に関する検討

泉 有人[†] 陳春祥[‡] 重安哲也[‡]

県立広島大学大学院 総合学術研究科 経営情報学専攻[†]

1. はじめに

高速無線 LAN (WLAN) の進化に伴い、WLAN を利用したマルチキャスト通信の需要が高まっている。しかし、現在の IEEE 802.11b/g などの規格では、マルチキャスト通信においてパケットロス制御やパケット誤り制御を行わない仕様になっている。そのため、パケットロスが増加すると通信品質が劣化する問題がある。

本研究では、マルチキャスト通信に再送機能を有する高信頼性マルチキャスト通信方式を提案する。また、伝送遅延の増加を軽減するため、パケットの再送回数に制限を設け、パケットを複数合成することによりパケットを効率的に送信することができるネットワークコーディング (Network Coding: 以後 NC と呼称) 技術を再送機能に応用する。最後にコンピュータシミュレーションを用いて提案方式の有効性を検証する。

2. IEEE 802.11 と NC 再送

2.1 IEEE 802.11 におけるマルチキャスト送信

現在、無線通信において一般的に用いられている IEEE 802.11 のマルチキャスト通信においては、パケットロスを考慮していないため、パケットロスが発生してもパケット再送を行わない。そのため、パケットロスが頻発する環境では通信品質が低下するという問題がある。

2.2 NC を用いた再送機能

短い期間で効率的にロスパケットを再送する方法として、NC を用いた再送が挙げられる。NC は、2000 年に Ahlswede^[1]が提案した、複数パケットを合成することにより、パケット送信数を抑制することができる技術である。これを用いた再送方式では、送信端末は複数のロスパケット群を XOR 演算により符号化したパケットを再送し、受信端末はそのパケットを受け取ると、既に受信しているパケットを用いてロスパケットの復元を試みる。符号化パケットに含まれるロスパケット群のうち、1 つを除くすべてのパケットを受信していれば、再びそれらのパケットと符号化パケットを XOR 演算することで復元することができる。

2.3 関連研究

中川達はパケットの許容遅延内で選択的かつ効率的なロスパケットの再送を行うマルチキャスト伝送方式を提案している^[2]。ここでは、図 1 に示すように、マルチキャストを送信する手順として、(1)マルチキャストパケット送信期間、(2)Block ACK 期間、(3)再送期間、の 3 つの期間を逐次的に繰り返すことで行っている。Block ACK 期間では、後続パケットの伝搬遅延が悪化するのを

防ぐため、この期間に上限を定め、これを超えると次のステップに移る。再送期間においては、伝搬遅延悪化を防ぐために、各ロスパケットにつき 1 回のみ再送を行っている。この方式では、再送パケットのロスによる伝搬遅延が抑制され、端末数が増加した場合にも遅延が悪化しないことが確認されている。

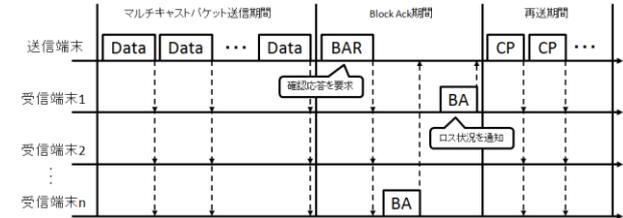


図1 マルチキャスト送信手順

3. 提案方式

本研究では、2.3 節で示した方式 (以後既存方式と呼称) を改良し、パケット受信率をさらに向上させることを目的とした高信頼性マルチキャスト伝送方式を提案する。

3.1 Block Ack 期間の改良

既存方式では、受信端末は Block Ack 期間内で BAR (Block Ack Request) を受け取ると、パケットのロス状況を記載した BA (Block Ack) を送信する。提案方式では、図 2 に示すように、受信端末は BAR を受信すると、パケットロス状況とともに、必要に応じて正常に受信したパケット群を XOR 演算した情報を BA 内に記載し、この BA パケットをマルチキャストグループ全体に送信する。これにより、送信端末がパケットロス状況を把握するだけでなく、BA を受け取った他の受信端末も、BA 内のコーディング情報と自身の受信パケットを XOR 演算することでロスパケットを復元することが可能となる。

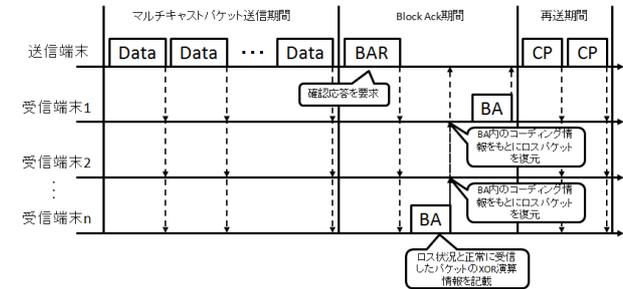


図2 提案方式のマルチキャスト送信手順

3.2 マルチキャストパケット送信期間の変更

既存方式では、マルチキャストパケット送信期間は、マルチキャストパケットを 16 個送信するまでと設定してあるが、提案方式では 8 個に変更する。これは、提案方式では BA 内に受信パケットのコーディング情報を追加するため、送信数が 16 個のままであると、コーディ

A Study on the multicast transmission scheme using network coding in WLAN

[†]Izumi Yuto · Prefectural University of Hiroshima

[‡]Chen Chun-Xiang · Prefectural University of Hiroshima

[‡]Shigeyasu Tetsuya · Prefectural University of Hiroshima

ング情報が多くなりすぎ、このパケットを受け取った他の受信端末でロスパケットを復元することが難しくなる。そのため、1度の期間で送信するパケット数を8個に変更する。

3.3 再送期間の変更

既存方式では、再送回数は各ロスパケットにつき1回のみ再送を行っている。そのため、ロスパケットが増えると再送回数が増加する。それに対して、提案方式ではBA内にコーディング情報及びコーディングパケットデータを追加したため、他の受信端末がこのBAを受け取った際に、この情報をもとにパケットを復元する可能性があるため、既存方式よりロスパケットの復元機会が多い。既存方式と同様に、各ロスパケットにつき1回のみ再送を行う場合でも、伝送遅延の短縮が見込まれる。そのため、提案方式ではパケットの再送回数の上限を2回とする。

3.4 送信端末における再送アルゴリズム

送信端末は、直前のBlock Ack期間に得られたパケットロス状況に基づき、最も受信率の低いパケットと最も受信率の高いパケットをXOR演算した後に再送を行う。

4. 性能評価

提案方式の性能を評価するため、QualNet 6.2を用いたシミュレーションを行う。今回のシミュレーションでは、マルチキャスト通信のみが存在する環境で評価を行う。

4.1 シミュレーション環境

今回のシミュレーションでは、送信端末を中心とした半径100mの円周上に受信端末を一様に配置した。送信端末は、伝送レート2Mbpsの無線チャネルを利用し、512Byteのデータパケットを送信間隔5msecでマルチキャスト送信を行う。

一度のマルチキャスト送信期間に送信することができるマルチキャストパケット数は8とし、再送期間に再送できるコーディングパケット数は最大2とする。

4.2 シミュレーション結果

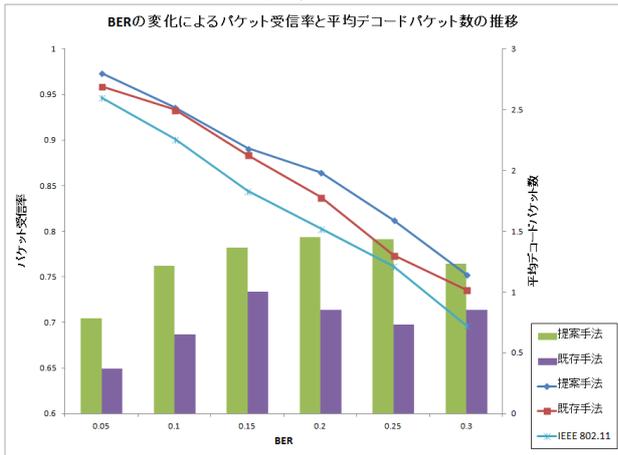


図3 BERの変化によるパケット受信率と平均デコードパケット数の推移

図3に、受信端末数が3の際の、BERの変化によるパケット受信率と平均デコードパケット数の推移を示す。折れ線グラフがパケット受信率を示し、棒グラフが平均デコードパケット数を示す。平均デコードパケット数は、1端末あたりに平均何パケットデコードできたかを示す。

図3を見てみると、提案手法、既存手法ともにIEEE

802.11のマルチキャスト通信よりパケット受信率が向上しているのが分かる。これは、NC再送機能を追加したことで、ロスパケットを復元できたためだと考えられる。次に、提案手法と既存手法を比較すると、どのBERをみても提案手法の方が既存手法より平均デコードパケット数で上回っている。これは、提案手法の方が、パケットをデコードする機会が多いため、ロスパケットを多く復元できていると考えられる。受信率をみても、平均デコードパケット数の高い提案手法の方が受信率が向上している。

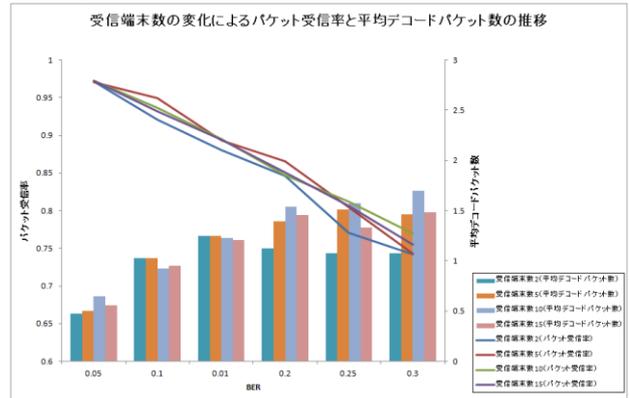


図4 ノード数の変化によるパケット受信率と平均デコードパケット数の推移

次に、受信ノード数の変化によるパケット受信率と平均デコードパケット数の推移を図4に示す。ここでは、提案手法において受信ノード数が変化した場合に、パケット受信率にどのような変化が出るかを検証した。折れ線グラフがパケット受信率を示し、棒グラフが平均デコードパケット数を示す。

図4を見ると、BERが0.3の時は、受信端末数10、15、5の順に受信率が高い。この結果からノード数が少ないとBlock Ack期間にデコードする機会が少なくなるため、ロスパケットの復元率が低くなり、パケット受信率が低くなる。さらに、受信端末数が多くなりすぎると、BAの衝突する確率が増え、これもまたデコードする機会が減少する原因となるためだと考えられる。そのため、提案方式では、10端末程度の環境において最も通信効率が向上するという結果が得られた。

5. まとめ

本稿では、マルチキャスト通信にNC再送機能を有する高信頼性マルチキャスト通信方式を提案し、受信効率の向上を図った。

今後の課題としては、マルチキャストだけでなくユニキャスト通信も混在するような、現実的な環境における評価を行いたい。

参考文献

[1] R.Ahlsweide, N.Cai, S.-Y. R. Li, and R.W.Yeung, "Network Information Flow" IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 46, no. 4, pp. 1204-1216, July 2000.
 [2] 中川美佳, 田邊星児, 谷川陽祐, 戸出英樹, "無線LANにおける選択的ネットワークコーディング再送に基づくマルチキャスト伝送法" 信学技報, vol. 111, no. 468, NS2011-236, pp. 319-322, 2012年3月。