

電波資源有効利用のための包絡線検波を用いた
フレーム衝突検出と衝突抑制制御技術の研究開発 (135003007)
Methods for frame collision detection and collision control

研究代表者

松本 晃 日本電気通信システム株式会社
Akira Matsumoto NEC Communication Systems, Ltd.

研究分担者

邵 鵬[†] 馬場 友貴[†] 田子 高広[†] デイビス ピーター^{††}
Peng Shao[†] Yuki Baba[†] Takahiro Tago[†] Peter Davis^{††}
[†]日本電気通信システム株式会社 ^{††}株式会社テレコグニクス
[†]NEC Communication Systems, Ltd. ^{††}Telecognix Corporation

研究期間 平成 25 年度～平成 27 年度

概要

無線通信機が送受信するフレームの衝突を検出して衝突発生を抑制することで無駄なフレームの再送信を減らし、電波資源の利用効率を向上させ、周波数のひっ迫状況を緩和することを目的とした研究開発を行った。具体的には、衝突有無を検出する手法と、送信フレームに対する衝突フレームの衝突位置を衝突種類として分類する手法を研究開発し、実機に実装することで衝突検出センサを実現した。また、センサが出力する衝突有無と衝突種類を含む衝突情報から衝突発生原因を推定し、最適な無線 LAN パラメータを制御する衝突抑制制御手法を研究開発した。衝突抑制制御を実施する一形態として、無線 LAN アクセスポイントと PC 端末にソフトウェアとして衝突抑制制御手法を実装し、衝突検出センサとともに動作する衝突抑制制御システムを実現した。オフィスを想定した環境での実証実験の結果、最大で再送フレーム数を 3 分の 1 に減らし、総スループットを 12 倍改善し、電波資源利用効率向上を確認した。

1. まえがき

近年、無線 LAN (以下 WLAN) などの免許不要で自律的なしくみを持つ通信の利用が爆発的に増加し、そこでは通信の干渉や輻輳が問題となっている。WLAN フレームの送達確認ができない場合、大きな伝搬ロスや他の送信機の送信フレームとの衝突、その他の干渉などがその理由として考えられるが、既存の WLAN ではそれらの原因を判断できないために最適な制御ができず、衝突によるロスや無駄な再送が多くなる場合が多い。

そこで、WLAN 通信機が送信している時間と同じ期間に、他のフレームの送信開始を検出できる衝突検出手法と、検出した衝突情報を活用して衝突率を減らす制御を行う衝突抑制制御手法を開発し、その効果と実用性を示した。具体的には、衝突検出センサの試作を行い、制御手段をソフトウェアで実現することで、実用環境において衝突率が減少することを確認した。電波資源の利用効率を大きく向上させる技術の開発に成功した。

2. 研究開発内容及び成果

本研究開発で実現した WLAN フレーム衝突検出技術と衝突抑制制御技術を使った衝突抑制制御システムの第一形態を図 1 に示す。本システムは、WLAN のフレーム信号を送受する WLAN モジュール、WLAN フレームの衝突を検出する衝突検出センサモジュール、WLAN モジュールの通信制御と通信アプリケーションとが動作するホスト CPU、送信信号および受信信号を回路として切り替えて分離する送受分離部、電波信号を取得するアンテナで構成される。本システムを実現するために、本研究開発は、研究項目を衝突検出手法の研究開発と、衝突抑制制御手法の研究開発、センサ受信系の最適化の 3 つに分けて研究開発に取り組み、最後に各成果を結合して実証実験にて効果を検証した。

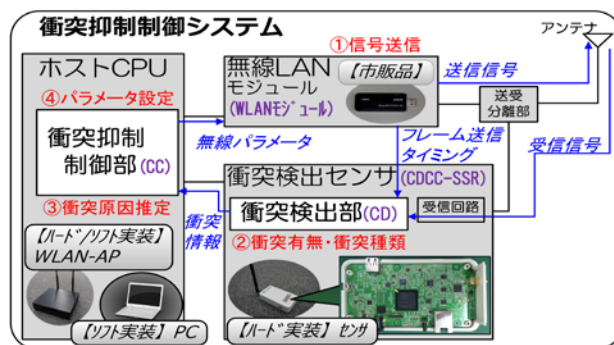


図 1 衝突抑制制御システム

2. 1. 衝突検出手法の研究開発

衝突検出手法の研究開発では、実用的な衝突検出センサを実現するために、通信方式に依存せず、計算量が少なく将来簡易な回路での実現が期待できる包絡線検波の手法を用いた。包絡線検波では受信電力の時系列を解析して衝突有無を判定する。さらに、衝突信号の開始位置が送信フレームの開始位置の前であれば、干渉元がフレームの送信を検出できなかったなど、衝突の開始位置が衝突発生原因の推定に利用できることに着目し、衝突開始位置を衝突種類として分類する手法を開発した。両手法をデジタル信号処理として実装し、検出した衝突有無と衝突種類を衝突情報として WLAN の制御系へ報告する試作衝突検出センサ CDCC-SSR を開発した。本開発においては、WLAN の送信タイミングを共有する手段、OFDM 変調に見られるような大きな振幅変調に対応可能な平均と分散の両方の変化を解析するアルゴリズム、パワーレベルのドリフトに対応可能な衝突判定条件の適応調整アルゴリズムなどの発明が成功の鍵であった。

包絡線解析に基づいた検出手法の基礎評価実験では、衝突検出率 90%以上、誤検出率 1%未満、検出可能範囲 2.5

～50m 程度の衝突検出性能を確認した。CDCC-SSR を用いた実環境での評価では、実時間（フレーム最小送信間隔）以内に衝突有無と種類が検出できることを実証した。

2. 2. 衝突抑制制御手法の研究開発

衝突抑制制御手法の研究開発では、上記衝突検出センサから受信した衝突情報を活用し、様々な衝突発生状況における WLAN パラメータと衝突発生原因や衝突率の定量的な関係に着目し、1つの WLAN パラメータである伝送レートの制御手法と、複数のパラメータを調整する適用パラメータ調整手法を開発した。

伝送レート制御手法では、衝突を伴うロスの場合に伝送レートを下げないという方針で、ARF(Auto Rate Fallback)制御へ適用する前後でシミュレーション比較したところ、特に多数の衝突が発生する厳しい環境下において、高速な伝送レートを維持できることを確認した。

適応パラメータ調整手法では、衝突情報から衝突発生原因を推定し、原因に応じて衝突抑制に最適な WLAN パラメータを調整し、一方で衝突発生原因がなくなると、パラメータを徐々に基準設定値に戻す制御を行う。本手法を無線 LAN アクセスポイント（以下、WLAN-AP）と PC 端末のホスト CPU 上にソフトウェア実装し、衝突検出センサと結合して特定の種類の衝突が発生するように機器配置した実環境にて評価を行い、衝突抑制効果を実証した。

2. 3. センサ受信系の最適化

包絡線検波を行う衝突検出センサが高い検波性能を達成するためには、受信アンテナ・受信 RF 回路と電力検出デバイスを含むセンサ受信系の最適化が重要である。そこで、WLAN モジュールと連携する CDCC-SSR の受信系に関して、WLAN モジュールと共通の受信系と、個別受信系の二つのアプローチを検討し、それぞれのケースに対して検出感度を明確にし、比較評価を行った。試作した CDCC-SSR においては、個別受信系を採用し両アンテナを直交させることによって、CDCC-SSR での自フレームの信号の検出を約 20dB 抑え、検出精度を向上させた。

さらに、もう一つの実施形態として、試作 CDCC-SSR 内で行われている前処理アルゴリズムの一部を受信系の電力検出デバイス自身で行う電力ピークホールド処理を想定した受信方法を開発した。送信フレームの途中に開始する衝突フレーム検出の場合、実用環境でフレーム衝突の立ち上がりを約 40 マイクロ秒以下の時間解像度で電力比 23dB の衝突信号の検出が可能であることを確認した。

2. 4. 衝突抑制制御システムの実証実験

上記試作ハードウェアとソフトウェアを結合した衝突抑制制御システムを構築し、実用的な環境でその効果を検証した。本システムを使って 1 台の WLAN-AP と 24 台の PC 端末からなるオフィス環境を想定した環境で行った実証実験結果の一例を表 1 に示す。WLAN パラメータである送信電力を最大、CCA(Clear Channel Assessment) 閾値を最小（キャリアセンス感度を最大）、CWmin (Contention Window minimum) を最大に設定する状況において、総再送数が約 3 分の 1 になり、衝突率が約 57% 改善し、ネットワークスループットが 12 倍となることを確認した。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

開発・評価した複数の要素技術とその組み合わせや、そ

表 1 実証実験結果

| | 制御なし | 制御あり | 結果 |
|----------|-----------|-----------|--------|
| 総スループット | 1.17Mbps | 13.6Mbps | 12 倍 |
| 平均スループット | 48.8kbps | 567kbps | 12 倍 |
| 平均衝突率 | 77.1% | 20.5% | 56.6%減 |
| 平均ロス率 | 29.7% | 0.2% | 0.01 倍 |
| 総再送数 | 876,487 回 | 293,825 回 | 0.34 倍 |
| 平均再送率 | 83.4% | 20.3% | 63.1%減 |

れぞれのコストパフォーマンスを考慮しながら、市場に出せる WLAN 端末や WLAN-AP への導入展開を今後進める。WLAN のフレーム衝突有無ならびに衝突の種類については、共通的に使用できるように、FCI(Frame Collision Information)として管理することを IEEE802.11ax 国際標準化会議にて提案している。例えば、WLAN 端末が FCI を参照して衝突発生が少ない WLAN-AP に帰属することや、WLAN-AP が利用チャネルを変更することなど、FCI の利用によって、電波資源の効率的な利用に貢献できる場面が多いと考えられる。このように FCI は、衝突抑制制御以外にも様々な応用、波及効果創出が期待できる。

開発した衝突抑制制御システムは、WLAN だけでなくフレーム衝突が発生する通信方式すべてに適用可能であるため、それらの通信方式についても導入を検討していく。

4. むすび

包絡線検波を用いた衝突検出ならびに衝突種類分類手法と、衝突発生原因を推定して最適な無線 LAN パラメータを制御することで衝突抑制制御を行う手法を研究開発した。開発技術を用いた衝突抑制制御システムによって WLAN が多く使われる実際の環境にて、無駄な再送数を減らし、電波資源利用効率を向上できることを確認した。

今後は、実用化開発を進めるとともに、さまざまな産業へ商用展開を進める予定である。

【誌上発表リスト】

- [1]P. Shao, et al., “A system for frame collision detection based on power sensing and time-domain signal processing in wireless LAN”, 2nd Int. Conf. on Signal Processing and Integrated Networks 2015 pp994-999 (2015年2月20日)
- [2]Y. Baba, et al., “Wireless LAN frame collision control using collision type information”, 2015 IEEE Int. Conf. on Electrical Computer and Communication Technologies pp1-6 (2015年3月6日)
- [3]Y. Baba, et al., “Wireless LAN rate control with frame collision classification”, 2016 IEEE Int. Conf. on Wireless Communications Signal Processing and Networking pp2503-2508 (2016年3月25日)

【申請特許リスト】

- [1]邵ほか、“衝突検出装置、通信装置、衝突検出方法、及びプログラム”、日本、2013年10月28日
- [2]馬場ほか、“無線通信装置”、日本、2014年2月14日
- [3]松本ほか、“無線通信装置”、日本、2015年3月23日

【国際標準提案リスト】

- [1]IEEE・IEEE802.11ax, 802.11-14/1106r1, “WLAN frame collision information”, 2014年9月15日
- [2]IEEE・IEEE802.15.4s, 802.15-14/0585r0, “WLAN frame collision information”, 2014年9月17日
- [3]IEEE・IEEE802.11ax, 802.11-15/0803-2r0, “Frame collision information management”, 2015年7月15日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

http://www.ncos.co.jp/news/news_130826-1.html