

無線ネットワークの冗長性を活用した高信頼・高セキュリティ通信

Highly reliable and secure communications utilizing the redundancy of wireless networks

雨澤 泰治 周東 雅之 熱田 隆 佐藤 慎一
Yasuharu Amezawa Masayuki Suto Ryu Atsuta Shinichi Sato

株式会社 モバイルテクノ
Mobile Techno Corp.

1. まえがき

Society 5.0 はサイバー空間に集められたフィジカル空間のセンサー情報を AI などの最先端技術で解析し、高付加価値な情報・提案・指示などをフィジカル空間にフィードバックすることで経済発展と社会的課題の解決を両立できると期待されている。しかしながら、サイバー空間とフィジカル空間の間には大規模なネットワークが必要となり、モビリティを考慮すると高信頼・高セキュリティな無線ネットワークが必須になる。

Society 5.0 で最も期待されている産業分野は製造現場であるが、製造現場には多種多様な無線機器混在による電波干渉、時々刻々変化する無線環境、産業機械からの雑音など安定した無線通信を困難にする課題が存在する。

それらの課題を解決する為に、我々は無線ネットワーク内に存在する時間・周波数・空間・経路・誤り制御などの冗長性に着目し、冗長性を積極的に活用した高信頼・高セキュリティ通信を検討している。本稿では開発事例 2 種と現在取組み中の内容についてご紹介する。

2. 複数周波数帯同時利用無線 LAN

多種多様な無線機器混在による電波干渉に対応するため、OSI 階層のレイヤ 2 以下で複数の周波数帯(920MHz 帯, 2.4GHz 帯, 5GHz 帯)に散在する空き周波数リソースを柔軟に選択し同時利用する、複数周波数帯同時利用無線 LAN システムを開発した。本システムでは図 1 に示すように、複数周波数帯の信号を一括して符号化し、周波数帯毎に最適な変調方式を適用することで、周波数の冗長性を活用した高信頼な通信を実現している。さらに誤り制御技術として、IEEE 802.11 規格で規定されている LDPC 符号と同じ QC(quasi-cyclic)型の RC-LDPC (Rate Compatible Low Density Parity Check)符号を採用し、各周波数帯の伝搬特性に合わせてデータ量を最適化するレート制御技術や、パケット衝突などによる誤り発生時に必要最低限の冗長データのみを低遅延で再送する IR-HARQ (Incremental Redundancy Hybrid Automatic Repeat Request)技術を実現し、時間領域においても通信品質の改善を図っている。また、フレームフォーマットは既存無線 LAN と後方互換性を保つように検討しており、既存無線 LAN が混在する環境でも安定した無線通信の提供が可能である。

920MHz 帯, 2.4GHz 帯および 5.2/5.3GHz 帯の 3 周波数帯を同時利用できる実証実験装置を製作し、電波暗室内で本技術の評価を行った。各周波数帯の伝送距離に対応した伝搬損失を TGN Channel Model から算出し、送受信装置間の距離減衰およびアッテネータで受信信号レベルを調整した。パケット長を 1500bytes 固定とし、伝送距離に対するスループット特性を評価した結果を図 2 に示す。

2.4GHz 帯または 5.2GHz 帯の単一周波数のみを使用する既存技術と、複数周波数帯を同時利用する本技術を比較した。本技術では、伝送品質の良い低い周波数帯と組み合わせることで、同一距離におけるスループットの改善や伝送可能距離が拡大でき、既存技術と比較して、高信頼通信が実現可能であることを確認した。

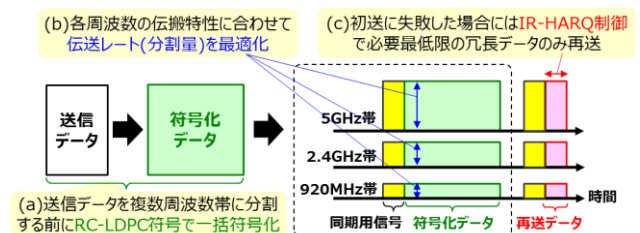


図 1 複数周波数帯同時利用無線 LAN の構成

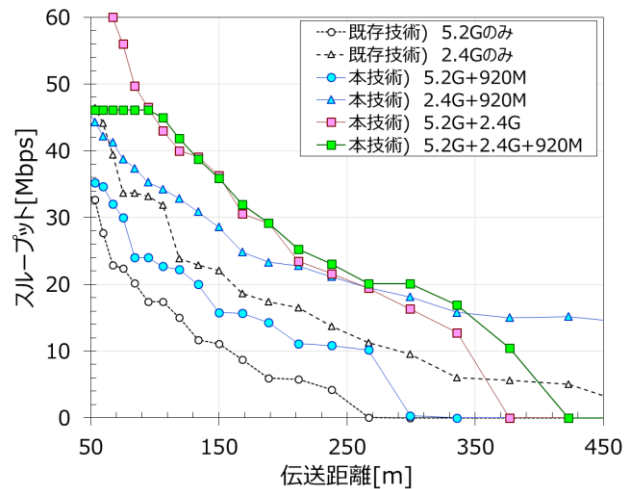


図 2 複数周波数帯同時利用無線 LAN の特性

3. 高信頼マルチホップ無線 LAN

時々刻々変化する無線環境、産業機械からの雑音などに対応するため、時間・周波数・経路の冗長性を活用した高信頼マルチホップ無線 LAN を富士通株式会社と共同で開発した。通常の無線 LAN は、アクセス方式に CSMA/CA を採用しているため、無線環境に応じてシステム性能が大きく変化する。特に、無線マルチホップネットワークを構成する場合、システム内のノード間で送信機会の奪い合いや、隠れ端末問題の発生により、システム性能が大幅に低下する。高信頼マルチホップ無線 LAN は無線規格として IEEE802.11n を採用しているが、MAC 副層で論理的な時間スロットを区切り、ノード毎に時間リソースを割り当てることで上記課題を解決している。また、中継がスムーズに行われるよう時間スロットを割

り当てることで中継による遅延時間を抑え、低遅延な無線マルチホップネットワークを実現している。また、一定間隔でチャンネルを切り替える周波数ホッピング機能を備えており、産業機械からの雑音によりチャンネルが使用不可となっても、通信を継続することができる。

図3に示すネットワーク構成で、時々刻々変化する無線環境、産業機械からの雑音などによる電波遮断の影響を評価した。図4に端末局を移動させ、PingによるRTTの測定結果を示す。高信頼マルチホップ無線LANは100ms内に99.8%の応答を受信しており、通常の無線LANと比較して高い到達率を低遅延で実現している。図5に電波が突然遮断された環境を想定し中継局#1, 2の電源を順にOFF/ONさせた場合の packets 到達率を示す。高信頼マルチホップ無線LANは中継局に障害が発生しても、到達率の低下なく通信を継続することが分かる。

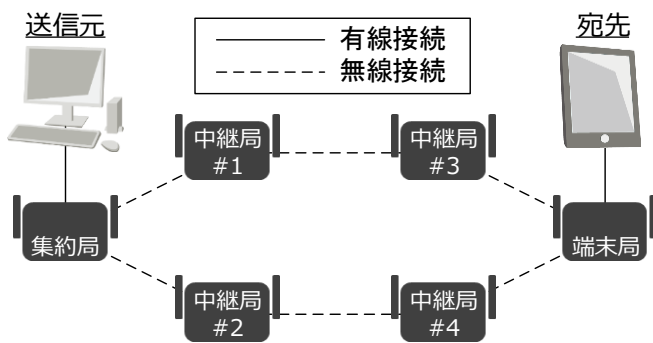


図3 高信頼マルチホップ無線LANネットワーク構成

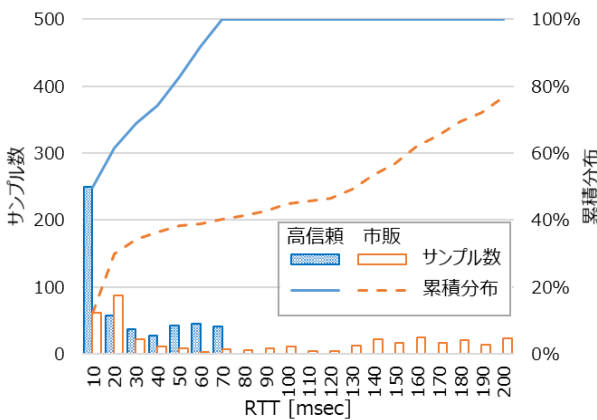


図4 端末局移動時のRTT測定結果

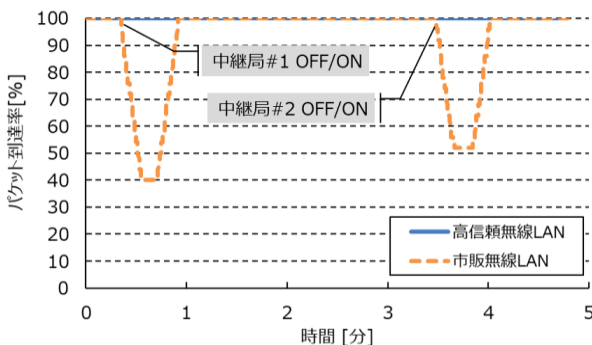


図5 電波遮断時のパケット到達率

4. エンドトゥエンド通信リソース制御技術

多種多様な無線機器混在による電波干渉、時々刻々変化する無線環境、産業機械からの雑音などの影響によりアプリケーションのエンドトゥエンド要求通信品質が満足されずアプリケーションが正常に動作しないという問題が起こり始めている。この問題を解決するために、それぞれのアプリケーションのエンドトゥエンド要求通信品質を満足するように、有限な無線通信リソースを最適配分するのがエンドトゥエンド通信リソース制御技術である。ここで、無線通信リソースとは時間・周波数・空間・経路などである。具体的には図6に示すように、管理下に無い無線ノードのチャンネル占有率や産業機械からの雑音の統計的な情報を空間的に収集し、管理下に無い無線ノードへの影響を極力減らすようにしながら、管理下にあるアプリケーションのエンドトゥエンド要求通信品質が満たされるように冗長性を活用した最適配分をする。冗長性を活用することで高信頼通信の実現だけでなく、暗号技術では対処できない無線特有の課題であるジャミングなどによる通信妨害への対策として秘密分散技術を活用することで高セキュリティ通信も同時に実現することを目指して現在取り組んでいる。

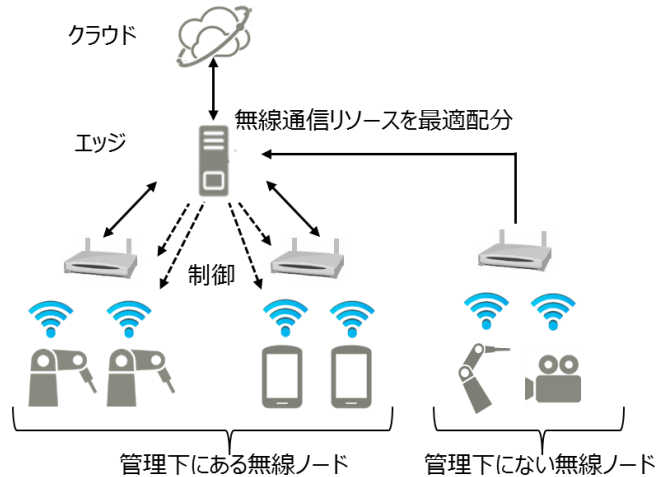


図6 エンドトゥエンド通信リソース制御技術

5. まとめ

無線ネットワークの冗長性を活用した高信頼・高セキュリティ通信の事例を2種と現在取組み中の内容をご紹介した。今後はクロスレイヤでの最適活用の研究開発に取り組んで行く予定である。これらの技術により皆様のものづくりを支えて行きたいと考えている。

謝辞

第2章で説明した内容は、総務省の委託研究「複数周波数帯域の同時利用による周波数利用効率向上技術の研究開発」により実施したものである。また、第4章で説明した内容は、内閣府が進める「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期/フィジカル空間デジタルデータ処理基盤」(管理法人:NEDO)において実施中である。関係各位に深謝申し上げます。