

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560457

研究課題名(和文) 仮想回り込み経路を用いた自己干渉除去とその応用に関する研究

研究課題名(英文) Self-interference cancellation with virtual coupling wave paths and its applications

研究代表者

林 和則 (HAYASHI, Kazunori)

京都大学・情報学研究科・准教授

研究者番号：50346102

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：同じ周波数の信号を受信しながら送信する無線通信局では、自分自身の送信信号が受信側に回り込むことで受信信号の品質が著しく劣化してしまう。このような、回り込み信号は自己干渉波と呼ばれ、その電力は一般に希望する受信信号に比べて非常に大きいため、その抑圧は非常に困難であった。本研究では、適応フィルタとアレーアンテナ、直交偏波アンテナを用いた自己干渉波キャンセラのウェイトをA/D変換器における量子化誤差を考慮して制御する手法を開発し、無線パケット衝突検出、同一周波数全二重双方向通信、同一周波数全二重中継などの実現につながる自己干渉波の抑圧法を確立した。

研究成果の概要(英文)：A received signal of a wireless communications terminal using a single frequency for receiving and transmitting signals is significantly deteriorated due to the coupling wave coming from the transmit antenna of the same terminal. Such a coupling wave is called self-interference and is considered to be difficult to cancel due to its huge received power compared as that of the desired signal. In this study, we have established a self-interference canceling method using adaptive filter, antenna array and polarized antennas, where the weights are optimized taking the difference of the quantization errors among the antenna elements into consideration, which could be beneficial for the realization of the wireless packet collision detection, the single frequency full duplex bi-directional communication, and the single frequency full duplex wireless relay station.

研究分野：工学

キーワード：自己干渉波 適応フィルタ アレー信号処理 無線パケット衝突検出 全二重通信 無線中継局

1. 研究開始当初の背景

送信信号と受信信号に同じ周波数を用いて(同一周波数)、同時に送受信を行う(全二重)無線中継局は、地上波デジタルTV放送の技術検討段階において、単一周波数ネットワーク(SFN)を実現する目的で盛んに研究が行われたが、結果的に採用されるには至らなかった。その最も大きな理由の一つは、自身の送信信号が受信側に回り込む、自己干渉信号の抑圧が非常に困難であったためである。中継局では大きなゲインを与えて送信するため、親局からの希望信号に比べて回り込み波の電力が非常に大きく、中継局はすぐに発振してしまう。言わば、喋りながら人の話を聞こうとしたときに、自身の声がうるさすぎて周りの人の声が聞こえなくなるような状況である。一方、近年、協調ダイバーシティやネットワークコーディング、重畳符号化など無線通信システムで中継局を使用する研究が大変注目されている。そこでは通常、半二重通信(各時刻で送信か受信の何れかが可能)が仮定されているが、通信路容量は全二重無線中継局により実現されることが情報理論的に知られているため、全二重無線中継局実現への期待が再度高まりつつある。研究代表者はこれまでに、全二重無線中継局の問題と補聴器のハウリング除去の問題の類似性に着目してその収束特性に解析に成功している。さらに、“キャンセルすべき回り込み波は自身の過去の送信信号であり、中継局に既知である”という事実を利用して、中継局内に仮想的な通信路(仮想回り込み経路)を複数構成し、その出力と実際の受信信号を適切な重みで合成することにより、実際のアンテナ数を増やすことなく任意のパス数の回り込み波をキャンセル可能なビームフォーミング法を提案している。さらに、近年、Stanford 大学のグループが同じ周波数を用いた全二重の双方向通信の実証実験を行い、一般向けの web サイトの記事になるなど大変注目を集めている。以上のことから、自己干渉波対策技術は今後さらにその重要度を増すと考えられる。

2. 研究の目的

送信信号と受信信号に同じ周波数を用いて(同一周波数)、同時に送受信を行う(全二重)無線通信システムについて考える。このようなシステムでは、自身の送信信号が受信側に回り込む現象(自己干渉)が大きな問題となるため、研究代表者らがこれまでに提案してきた全二重無線中継局のための仮想回り込み経路を用いた自己干渉除去技術をベースに、自己干渉を克服するために必要な要素技術を確認する。さらに、これらの知見を応用することで、無線パケットのリアルタイム衝突検出や、同一周波数全二重双方向通信の実現を目指す。

3. 研究の方法

- (1) 初年度には、全二重無線中継局のための回り込み波キャンセラを応用した、無線パケット衝突検出法についての基本的な検討を行った。無線パケット衝突検出においては、検出するべき衝突パケットの受信電力に比べて極めて大きな受信電力をもつ自信の送信信号、すなわち自己干渉波の抑圧がその実現のための鍵となる。本年度の検討では、CSMA/CA方式を用いた現実的な無線LAN環境において想定されるパケット衝突のシナリオを洗い出し、想定すべき自己干渉波と衝突パケットの受信電力比を検討した。そして、実システムで想定される量子化レベルと基本的なシステム構成による自己干渉波キャンセラを用いたときのパケット衝突検出能力を評価し、どの程度の特性改善が必要であるかを計算機実験によって明らかにした。さらに、この検討をもとにパケット衝突検出能力を改善する手法の検討を行った。
- (2) 2年目には、主に初年度に検討した無線パケット衝突検出法の様々環境における特性評価を行った。具体的には、より現実的な通信路環境を想定したときの特性を計算機実験によって評価し、さらに、実無線伝搬環境での測定実験に基づくデータを用いた現実的な特性評価を行った。特に、測定実験では無線LANの周波数及び信号フォーマットを用いた実伝搬環境における電波伝搬実験を行い、そこで得られた受信信号に対して初年度に提案した手法を適用することで、実システムでの無線パケット衝突検出の実現可能性について検討を行なった。
- (3) 最終年度には、これまでに得られた無線パケット衝突検出法に関する知見に基づき、無線パケット衝突検出だけでなく、同一周波数全二重双方向通信、同一周波数全二重中継などにも応用可能な自己干渉波の抑圧法について検討を行った。特に、A/D変換における量子化レベルが有限であるときの、アレーアンテナと適応フィルタを用いた自己干渉キャンセラの最適ウェイト制御について検討した。

4. 研究成果

- (1) 初年度の検討では、基本的なシステム構成による自己干渉波キャンセラを用いたパケット衝突検出法の特性を改善するために、新たに次の2つの方式を考案した：
1)受信部にアンテナアレーを導入することで量子化雑音によって劣化した受信SNRを改善する方法、2)自己干渉波キャンセラ出力(あるいはアレー出力合成後の信号)と無線LANのプリアンプルの相関を取ることで衝突信号検出能力を向上する方法。計算機シミュレーションによって特性を評価することで、上記2つの

手法がいずれも衝突検出能力の向上に有効であること、2つを併用することでキャリアセンスレベル以下の受信電力をもつ衝突パケットであっても検出が可能であることを明らかにした。特に、デジタル信号処理部において達成可能な自己干渉波の抑圧特性とRF部で実現可能な抑圧特性の総和が、現実的な無線パケット衝突検出に必要な特性を上回っていることが確認できたことが重要な成果である。

- (2) 実伝搬環境において得られた受信信号を用いた特性評価の結果、「時間領域のキャンセラで自己干渉波を抑圧するだけの手法では、かなりアンテナ素子間隔を離さないで衝突が検出できないこと」、「アンテナアレーを用いる提案法と無線LANのプリアンプルとの相関を用いる方法は実環境においても効果的であり、とくにプリアンプルとの相関はその効果が非常に大きいこと」、「送受信で直交する偏波(水平と垂直)アンテナを用いることで、かなりのアイソレーションが稼げること」、「直交偏波アンテナとそのアンテナアレーおよびプリアンプルとの相関をすべて併用することで、送信アンテナとパケット衝突検出用の受信アンテナの間隔が搬送波の半波長程度であっても、パケット衝突検出が可能であること」などが明らかとなった。特に、送受信のアンテナ素子間隔を通常のアンテナアレーの最小素子間隔である搬送波の半波長とした場合でも、現実的なA/D変換の量子化ビット数での信号処理を用いて、実伝搬環境において衝突検出が可能であることを実証できた点が重要である。
- (3) 通常のアレー信号処理と異なり、自己干渉波キャンセラでは自局の送信アンテナと受信アレーアンテナの距離が近いこと、アレーアンテナの各素子で受信自己干渉波電力が大きく異なる。これは、量子化レベルが有限である場合には、量子化雑音を含む信号対雑音電力比が素子毎に異なることを意味し、これをアレー合成のウェイト制御において陽に考慮することで大幅な特性改善が得られることを明らかにした。このことは、従来のアレー信号処理では考慮されていなかった特に重要な知見の一つであり、無線パケット衝突検出や同一周波数全二重双方向通信の実現に大きく貢献できるものと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 6 件)

M. Kaneko, W. Hu, K. Hayashi and H. Sakai, "Compressed Sensing-based Tag

Identification Protocol for a Passive RFID System," IEEE Communications Letters, 査読有, Vol. 18, No. 11, pp. 2023-2026, Nov. 2014, DOI: 10.1109/LCOMM.2014.2360684.

M. Kaneko, K. Hayashi, and H. Sakai, "Superposition Coding based User Combining Schemes for Non-Orthogonal Scheduling in a Wireless Relay System," IEEE Transactions on Wireless Communications, 査読有, Vol. 13, No. 6, pp. 3232-3243, June 2014, DOI: 10.1109/TWC.2014.042114.130419.

H. Yamaura, M. Kaneko, K. Hayashi, and H. Sakai, "Adaptive Hierarchical Modulation and Power Allocation for Superposition Coded Relaying," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 査読有, Vol. 2013, Sept. 2013, DOI: 10.1186/10.1186/1687-1499-2013-233.

C. T. Nguyen, K. Hayashi, M. Kaneko, and H. Sakai, "Maximum Likelihood Approach for RFID Tag Cardinality Estimation under Capture Effect and Detection Errors," IEICE Transactions on Communications, 査読有, Vol. E96-B No. 5 pp.1122-1129, May 2013, DOI:10.1587/transcom.E96.B.1122.

K. Hayashi, M. Nagahara, T. Tanaka, "A User's Guide to Compressed Sensing for Communications Systems," IEICE Transactions on Communications, 査読有, Vol. E96-B, No. 03, pp.685-712, Mar. 2013, DOI:10.1587/transcom.E96.B.685.

M. Kaneko, K. Hayashi, P. Popovski and H. Sakai, "Proportional Fair Scheduling with Superposition Coding in a Cellular Cooperative Relay System," Annals of Telecommunications, 査読有, Vol. 68, No. 9-10, Nov. 2012, DOI:10.1007/s12243-012-0337-4.

[学会発表](計 24 件)

H. Sasahara, M. Nagahara, K. Hayashi, and Y. Yamamoto, "Loop-Back Interference Suppression for OFDM Signals via a Sampled-Data Control," ASCC 2015, Kota Kinabalu (Malaysia), May 31-June 3, 2015.

T. Kamenosono, M. Kaneko, K. Hayashi, and M. Sakai, "Compressed Sensing-based Channel Estimation Methods for LTE-Advanced Multi-User Downlink MIMO System," IEEE VTC2015-Spring, Glasgow (Scotland), May 11-14, 2015.

H. Sasahara, M. Nagahara, K. Hayashi,

and Y. Yamamoto, "Communication Performance Analysis of Sampled-Data H-infinity Optimal Coupling Wave Canceller," SICE ISCS 2015, Tokyo Denki University (Tokyo-Adachi-ku), Japan, Mar. 4-7, 2015.

亀之園卓也, 金子めぐみ, 林和則, "LTE-Advanced下りリンクMIMOシステムのための圧縮センシングに基づく時間周波数選択性チャネル推定法," 電子情報通信学会 RCC研究会, 名古屋大学(愛知県・名古屋市), Jan. 15, 2015.

K. Hayashi, M. Sakai, T. Kamenosono, and M. Kaneko, "Compressed Sensing based Channel Estimation for Uplink OFDMA Systems," APSIPA ASC 2014, Siem Reap (Cambodia), Dec. 9-12, 2014.

笹原帆平, 永原正章, 林和則, 山本裕, "回り込みキャンセラのサンプル値Hロバスト設計," 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, 徳島大学(徳島県・徳島市), Sept. 23-26, 2014.

M. Nagahara, H. Sasahara, K. Hayashi, Y. Yamamoto, "Sampled-data H-infinity Design of Coupling Wave Cancelers in Single-Frequency Full-Duplex Relay Stations," SICE Annual Conference 2014, Hokkaido Univ. (Hokkaido・Sapporo), Sept. 9-12, 2014.

林和則, 椋本博学, "Khatri-Rao積拡張アレー処理と圧縮センシングを用いたMUSIC法," 電子情報通信学会 RCC研究会, 京都テルサ(京都府・京都市), July 30-Aug. 1, 2014.

笹原帆平, 永原正章, 林和則, 山本裕, "サンプル値H最適化にもとづく回り込み波キャンセラの設計," 電子情報通信学会 RCC研究会, 機械振興会館(東京都・港区), May 29-30, 2014.

椋本博学, 林和則, 金子めぐみ, "Khatri-Rao積拡張アレーを用いた圧縮センシングによる到来角推定法," 電子情報通信学会 RCC研究会, 機械振興会館(東京都・港区), May 29-30, 2014.

酒井雅則, 林和則, 金子めぐみ, "上りリンクOFDMAのための圧縮センシングを用いた時間領域チャネル推定法," 電子情報通信学会 RCC研究会, 機械振興会館(東京都・港区), May 29-30, 2014.

笹原帆平, 永原正章, 林和則, 山本裕, "サンプル点間応答を考慮した回り込み波キャンセラのH最適設計," 第58回システム制御情報学会研究発表講演会 (SCI'14), May 21-23, 2014.

川田渡, 林和則, 金子めぐみ, 島本拓実, 酒井英昭, "アレーアンテナと自己干渉波キャンセラを用いた無線パケット衝突検出法," 電子情報通信学会, RCS研究会,

高松市文化芸術ホール(香川県・高松市) Dec. 18-20, 2013.

W. Kawata, K. Hayashi, M. Kaneko, T. Shimamoto, and H. Sakai, "Wireless Packet Collision Detection Using Self-Interference Canceller," APSIPA ASC 2013, Kaohsiung (Taiwan), Oct. 29-Nov. 1, 2013.

K. Hayashi, M. Kaneko, M. Noguchi, H. Sakai, "A Single Frequency Full-Duplex Radio Relay Station for Frequency Domain Equalization Systems," IEEE ICC2013, Xi'an (China), Aug. 12-14, 2013.

T. Nakano, M. Kaneko, K. Hayashi, H. Sakai, "Interference Mitigation Based on Partial CSI Feedback and Overhearing in an OFDMA Heterogeneous System," IEEE VTC2013-Spring, Dresden (Germany), June 2-5, 2013.

川田渡, 林和則, 金子めぐみ, 島本拓実, 酒井英昭, "自己干渉波キャンセラを用いた無線パケット衝突検出法," 電子情報通信学会, RRRC研究会, 京都大学(京都府・京都市) May 16-17, 2013.

川田渡, 林和則, 金子めぐみ, 島本拓実, 酒井英昭, "自己干渉波キャンセラを用いた無線パケット衝突検出法," 電子情報通信学会 総合大会, 岐阜大学(岐阜県・岐阜市), Mar. 19-22, 2013.

山浦寛史, 金子めぐみ, 林和則, 酒井英昭, "離散階層変調方式を用いたマルチユーザ環境のための無線中継伝送法," 電子情報通信学会 RCS研究会, Jan. 31- Feb. 1, 2013.

K. Hayashi, Y. Fujishima, M. Kaneko, H. Sakai, R. Kudo, T. Murakami, "Self-Interference Canceller for Full-Duplex Radio Relay Station Using Virtual Coupling Wave Paths," APSIPA ASC 2012, Hollywood (USA), Dec. 3-6, 2012.

21 K. Hayashi, H. Matsushima, H. Sakai, E. Carvalho, P. Popovski, "Subspace Based Blind Sparse Channel Estimation," APSIPA ASC 2012, Hollywood (USA), Dec. 3-6, 2012.

22 C. Nguyen, K. Hayashi, M. Kaneko, H. Sakai, "Radio Frequency Identification Tag Cardinality Estimation Under Capture Effect and Detection Errors," IEEE APWCS 2012, Kyoto Univ. (Kyoto・Kyoto), Aug. 23-24, 2012.

23 K. Hayashi, M. Nagahara, "A Brief Introduction to Compressed Sensing," IEEE APWCS 2012, Kyoto Univ. (Kyoto・Kyoto), Aug. 23-24, 2012.

24 H. Yamaura, M. Kaneko, K. Hayashi, H. Sakai, "Superposition Coding Scheme

for Wireless Relay Systems with Adaptive Modulation and Coding," IEEE APWCS 2012, Kyoto Univ. (Kyoto・Kyoto), Aug. 23-24, 2012.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 和則 (HAYASHI KAZUNORI)
京都大学・大学院情報学研究科・准教授
研究者番号：50346102

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：