

センサ LSI によるバッテリーレス・ワイヤレス非同期ストリーム通信を実現するマルチサブキャリア多元接続方式の研究開発 (155003007)

Multiple Subcarrier Multiple Access for Batteryless and Wireless Concurrent Streaming from LSI Sensors

研究代表者

三次 仁 慶應義塾大学
Jin MITSUGI Keio University

研究分担者

市川 晴久[†] 川喜田 佑介[†] 江川 潔^{††}
Haruhisa ICHIKAWA[†] Yuusuke Kawakita[†] Kiyoshi EGAWA^{††}

[†]電気通信大学 ^{††}株式会社 共和電業

[†]The University of Electro-Communications ^{††}Kyowa Electronic Instruments Co.,LTD.

研究期間 平成 27 年度～平成 29 年度

概要

LSI プロセスで作ることのできるセンサが、完全には相互直交しないものの簡単に作り出せるサブキャリア群を用いて、実空間のセンシング信号をバッテリーレス・ワイヤレスかつセンサ間のタイミング調整なし（非同期）でストリーミングしても受信側処理で原信号を復元できる新たな多元接続方式（マルチサブキャリア多元接続方式）に関するサブキャリア間相互干渉除去方法、サブキャリア割り当て方式、ゾーン合成方法に関する基本技術を考案・開発し、シミュレーションおよび実験でその効果を明らかにした。

1. まえがき

[研究の目的] LSI プロセスで作ることのできる埋込型無線 LSI センサが、完全には相互直交しないものの簡単に作り出せるサブキャリア群を用いて、実空間のアナログあるいはデジタル信号をバッテリーレス・ワイヤレスかつセンサ間のタイミング調整なしでストリーミングしても受信側のデジタル信号処理で原信号群相互の時刻同期を完全に保ちつつ復元できる新たな無線多元接続方式（マルチサブキャリア多元接続方式=MSMA）を実現する。

[研究の背景] MEMS センサやプロセス技術の進展により、LSI プロセスを用いて極めて小型・低消費電力の無線センサ（以下無線 LSI センサ）を製造することが可能となってきた。この技術を用いれば、人工物に無線 LSI センサを埋込み、いままで為し得なかった詳細度で人工物の状態を情報空間で把握・蓄積して分析することで、故障や不具合を未然に発見し、大きな事故が発生する前に修理・修繕、補修などを行える。しかし、そのためには低消費電力とはいえ無線 LSI センサに電力を供給することと、実効的な通信距離を実現する必要がある。人工物と情報システム間の通信がワイヤレスであるべきことは言うまでもない。人工物の故障診断においては複数のセンサ信号の時間的相互相関性が求められることが多いため、時刻調整なく送信可能な（非同期）センサストリーム（連続データ）が実現できることが望ましい。

2. 研究開発内容及び成果

本研究開発では MSMA 実現のための主要な課題を設定し、その解決およびディスクリート部品による試作センサと、ソフトウェア無線技術を用いたソフトウェアリーダライタによる実証を行った。最終的には実際の橋梁において 4 センサを同時ストリーミングし有線センサと同等の精度で橋梁の振動を測定できることを実証した（図 1、図 2）。

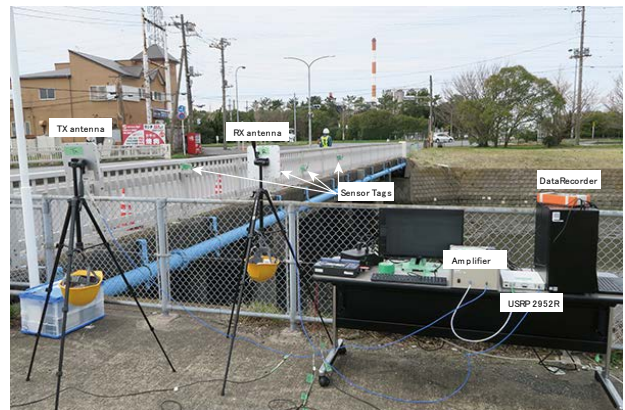


図 1 橋梁における MSMA 実証実験

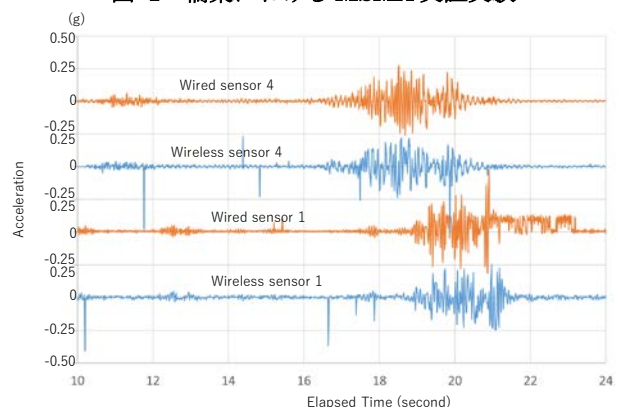


図 2 橋梁における MSMA と有線センサ測定データの比較。

MSMA を実現するために以下の 3 項目について研究開発を行った。

- (1) マルチサブキャリア干渉除去: バックスキャッタの高調波を正確に解析モデル化してレプリカを作成し、その引き算で干渉除去を行う信号処理方法を導出する。
- (2) 動的サブキャリア割り当て方式: 無線 LSI センサか

らの信号強度や、必要帯域幅、地理的な位置に応じて与えられた帯域幅内で最適な周波数利用効率を達成するためのサブキャリアチャンネル配置を高速で求める方法を導出する。

- (3) 複数ゾーン合成:リーダライタを複数用いて対象人工物をゾーンに分割し、ゾーン毎に収集した測定データを数学的に合成する方法を導出する。

代表的研究成果は以下である。

(1)マルチサブキャリア干渉除去:

サブキャリア周波数に応じた速度で微小に振幅が変化する変調サブキャリアから高調波レプリカを作成するために、ヒルベルト変換により作り出した高調波レプリカから、高調波の群遅延と位相遅延を考慮しながら(仮想信号である)解析信号を取り除く、逆ヒルベルト変換と呼ぶ処理を繰り返すことにより、マルチサブキャリアの高調波成分を順次取り除く干渉除去基本アルゴリズムを導出した(図3)。

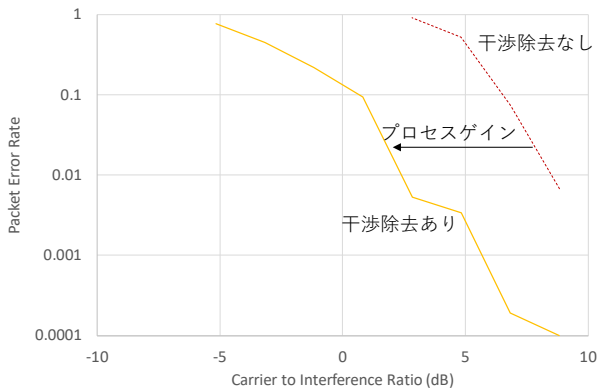


図3 デジタル変調信号におけるMSMA干渉除去の効果を20bitパケットの誤り率で評価すると、約8dBのプロセスゲインが得られる。

(2)動的サブキャリア割り当て方式:

無線LSIセンサ毎に主波・高調波を総和し帯域内に与える総電力(トータルコンタミネーションパワー)を評価指標とし、その小さい順に周波数の低いサブキャリアを割り当てることで、総当たり方式と遜色ない総通信容量を示すチャンネル配置を、チャンネル数の自乗オーダーの計算量で求められることを明らかにした(図4)。

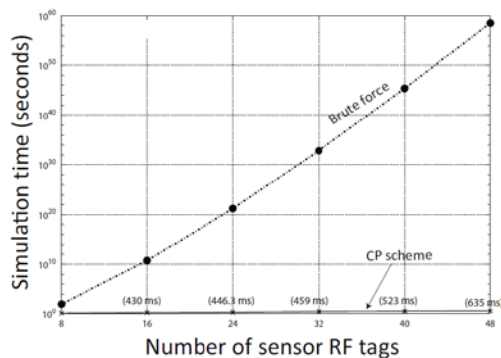


図4 提案手法によるサブキャリアチャンネル最適配置の計算速度は総当たりと比較して大幅に高速である。

(3)複数ゾーン合成:

ゾーンごとの信号処理遅延を加振点で実時間とMSMAによる計測結果の相対遅延を測定することで、ゾーン間の遅延を調整できることを実験的に明らかにした。

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

本研究開発において、当初予定していた問題をほぼ解決し、ボックスキャッタを利用したバッテリーレス・ワイヤレスセンサに適した新たな多元接続方式の基本技術を確立した。研究を進める過程において、実用化にあたって(1)ボックスキャッタに適したリターンリンク誤り訂正方式、(2)送信漏洩電力・環境散乱に由来する受信干渉の低減、(3)複数ゾーン合成における周波数利用効率化、の課題があることも明らかになってきた。また、無線通信方式の課題を解決した上で、センサのLSI化やリーダライタのハードウェア化がシステム性能を実用レベルにするために必要なことはいまでもない。現在、本課題の発展的取り組みをSCOPEで実施中である。実証実験や学会発表等でアピールし、開発パートナーを募り、実用化設計に向けてLSI化、ハードウェア化を進める。

4. むすび

ボックスキャッタの原理を利用して複数のサブキャリアを同時利用できるバッテリーレス・ワイヤレスセンサ向けの新しい多元接続方式を考案するとともに、その基本技術を開発し、有効性を実証した。

【誌上发表リスト】

- [1] 中野遥平、藤原辰起、三次仁、川喜田佑介、市川晴久、“マルチサブキャリア多元接続を用いた構造ヘルスマonitoringにおけるSDR処理遅延実測システムの開発”、計測自動制御学会論文集、Vol.53, No.10, pp.564-566, October 2017.
- [2] Rajoria Nitish, Igarashi Yuki, Mitsugi Jin, Kawakita Yuusuke, and Ichikawa Haruhisa. “Concurrent Backscatter Streaming from Batteryless and Wireless Sensor Tags with Multiple Subcarrier Multiple Access”, IEICE Transactions on Communications, Vol.E100-B, No.12, pp.2121-2128, Dec. 2017.
- [3] Rajoria Nitish, Kamei Hiromu, Mitsugi Jin, Kawakita Yuusuke and Ichikawa Haruhisa, “Performance Evaluation of Variable Bandwidth Channel Allocation Scheme in Multiple Subcarrier Multiple Access”, IEICE Transactions on Communications, Vol.E101-B, No.2, pp.564-572, Feb. 2018.

【申請特許リスト】

- [1] 三次仁、五十嵐祐貴、市川晴久、川喜田佑介、江川潔、“無線通信システム”、日本、特願2016-086860、H28.4.25.
- [2] 三次仁、五十嵐祐貴、市川晴久、川喜田佑介、江川潔、“無線通信システム”、日本、特願2017-085266(特願2016-086860優先権主張)H29.4.24.
- [3] Jin Mitsugi, Yuki Igarashi, Haruhisa Ichikawa, Yuusuke Kawakita, Kiyoshi Egawa, “WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM”, PCT/JP2017/016192, 米国, 2017.3.13

【受賞リスト】

- [1] 中野遥平、電子情報通信学会知的環境とセンサネットワーク研究専門委員会 若手研究奨励賞、2017.1.19
- [2] Masato MIYAZAWA, IEEE RFID-TA, Best Paper Honorary Mention, 2016.9.22

【報道掲載リスト】

- [1] “ワイヤレス計装の技術動向”、Yano E plus, 2016年10月号

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<https://www.autoidlab.jp/research/>