

センサーネットワークによる簡易・高効率・高精度ホワイトスペース観測技術の研究開発 (135103001)

Development of simple, efficient, and accurate, white space measurement techniques by a sensor network

研究代表者

梅林健太 東京農工大学

Kenta Umebayashi Tokyo university of agriculture and technology

研究期間 平成 25 年度～平成 27 年度

概要

本研究開発では、主に「高効率な観測システムを実現するための各種信号処理の開発」、「高効率な観測システムを実現するための複数観測機(センサ)による協調法の開発」、「プロトタイプシステムの開発」、そして「観測結果の効率的な蓄積(モデリング)」に取り組んできた。フェーズ I において計算機・ネットワークシミュレータを用いた理論解析・検討により単独型の周波数利用情報観測法と協調型の周波数利用情報観測法の各種信号処理等の開発と、それを計算機に実装した場合のセンサーネットワークの性能評価を行った。さらに、単独型周波数利用観測プロトタイプシステムを開発した。特に、Welch-FFT パラメータの最適解を解析的に導出した。フェーズ II において、1 年目の検証を踏まえてさらなる観測手法の高効率化(高精度化と、低計算量化)を試みた。具体的には、雑音電力推定結果に基づく FFT パラメータの設定法、電力検出結果に対する後処理法(信号領域推定法)等、各種信号処理法を開発し、周波数利用・空き周波数の検出の高精度化を低コストで実現出来ることを示した。さらに、それらの信号処理法及び協調方法を複数観測機で構成されるプロトタイプシステムに実装し、その妥当性を示した。さらに、長期間・広帯域の観測を実際に行い、観測結果のモデル化に関する検討を行い、ホワイトスペース(空き周波数)のその周波数帯における特性を明らかにした。

1. まえがき

近年の無線通信サービスの普及、発展に伴い、周波数逼迫問題が喫緊の問題となっている。具体的には、ほとんどの周波数帯が既存の無線周波数システム・サービスに割り当てられており、新規無線システムの展開が困難となっている。これに対して、既存無線システムと新規無線システムによる DSA(Dynamic Spectrum Access) を代表とする周波数共有は、新たな周波数資源の利用及び管理方法であり、周波数逼迫問題の解決策として注目を浴びている。効率的な周波数共有を達成する一つのアプローチとして、研究代表者らは SSA(Smart Spectrum Access)という新たな周波数共有を実現するためのコンセプトを示し、さらにその実現方法の一つとして 2 階層型 Smart Spectrum Access を提案してきた。本研究課題では 2 階層型 Smart Spectrum Access の重要部分である周波数利用観測システムの開発に主に取り組んできた。

2 階層型 Smart Spectrum Access (図 1)では、階層 2: 周波数利用観測システムが既存無線システムの周波数利用状況を観測し、周波数利用に関する統計情報等を高精度に推定する。そして、この有用な情報を新規無線システムに提供することで、新規無線システムは簡易かつ高精度に空き周波数を発見し、またそれらを有効利用することができる。すなわち階層 1: 周波数共有の高度化が期待できる。

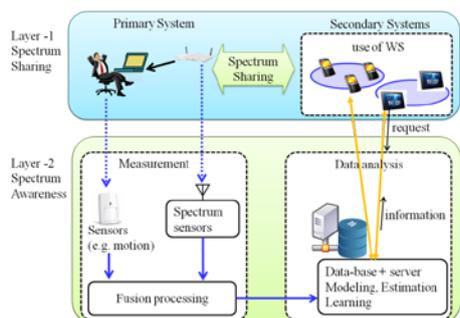


図 1 2 階層型 Smart Spectrum Access

2. 研究開発内容及び成果

本研究開発では、この階層 2「周波数利用観測システム」に着目し、主に「1: プロトタイプシステムの開発」、「2: 高効率な観測システムを実現するための各種信号処理の開発」、「3: 高効率な観測システムを実現するための複数観測機(センサ)による協調法の開発」、そして「4: 観測結果の効率的な蓄積(モデリング)」に取り組んできた。

2. 1. プロトタイプシステムの開発

プロトタイプシステム全体を図 2 に示す。複数台の観測機(センサ)で観測を行う。観測対象として信号発生器及びフェージングシミュレータを用いることでより実環境に状況での観測を実現することも可能であるが、実環境の観測も可能である。

PC1 は観測システム全体を制御し、観測機の観測タイミング、観測結果の蓄積タイミングを制御する。観測機は、ある帯域を 0.1 秒程度連続でサンプリングした I-Q サンプルを大容量ハードディスク(HD)に蓄積する。その蓄積した信号を PC2 において信号処理し、周波数の空き状況を把握する。

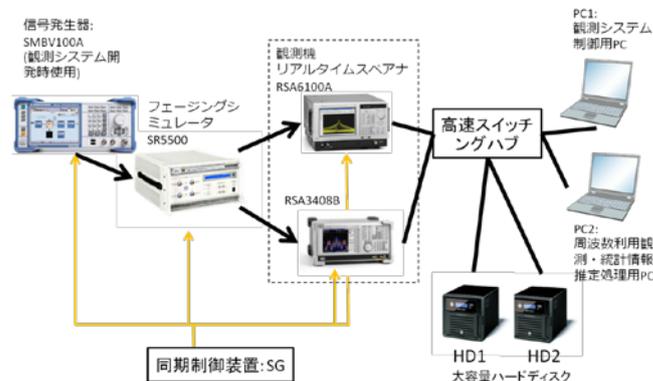


図 2 プロトタイプシステム

2. 2. 高効率な観測システムを実現するための各種信号処理の開発

観測機で I-Q サンプルを取得したのちに、Welch-FFT を行う。特に、Welch-FFT では、セグメントサイズの設定が分解能(特に周波数分解能)と検出率にトレードオフがあることから、適切に設定を行うことが求められる。そこで、その最適値の導出及び、観測時における設定法の開発をこれまで行ってきた[1]。

さらに、Welch-FFT を用いることで、次のステップで行う Noise floor estimation (NF 推定)時により高精度な推定が達成可能であることも明らかにした。

Welch-FFT をベースとして Power Spectrum を計算した後は、電力検出(Energy detector: ED)を用いて周波数の占有状態(H0: 非占有, または H1: H0: 占有)を判別する。図 3 の(b)Signal usage detection において、白い部分が H0 で、黒い部分が H1 に相当する。ED により大体の占有、非占有が分かるが誤検出(真は H1 だが H0 と判定)や、誤警報(真は H0 だが H1 と判定)が多数確認される。一方で、ED 出力から、信号の占有領域は長方形となることが分かる。

この占有領域の特徴を生かして、研究代表者らは後処理として簡易-周波数利用領域推定法(Simple signal area: S-SA 推定法)と誤警報抑制法の開発を行い、図 3 の(c)の結果の通り非常に高精度な検出が可能となることを明らかにしてきた[2]。

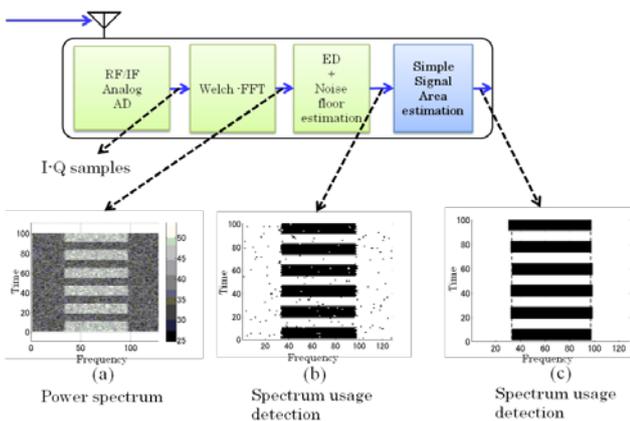


図 3 周波数利用検出処理

2. 3. 高効率な観測システムを実現するための複数観測機(センサ)による協調法の開発

図 2 で示したプロトタイプシステムを用いた実観測実験に基づき、複数センサによる協調型周波数利用観測が、高精度な検出を達成可能であることを確認した。

この制度改善は、高度な信号処理ではなく、空間および時間ダイバーシティにより実現可能となり、観測システムのさらなる効率化を可能とした。

2. 4. 観測結果の効率的な蓄積(モデリング)

図 2 で示したプロトタイプを活用して、長時間(1 月程度)、無線 LAN に相当する 2.4GHz 帯の周波数利用観測を行った。観測結果の I-Q サンプルは 110MHz を連続で 0.1 秒間観測し、そこから DC(duty cycle)を推定する。このときに、I-Q サンプルを蓄積すると、非常に膨大なデータ量となる。そこで、DC 等の統計情報を効果的に蓄積する手法の確立が望まれる。これに対して、研究代表者らは、DC の決定論的モデルの蓄積を行った。

具体的には DC の観測結果(Empirical result)と、決定論的モデルに基づいて導出した平均 DC の 1 日の傾向を比較し、決定論的にモデルにより DC の平均値を表現することが妥当であることを確認した。一方で、DC の平均値に対して、DC の観測結果はばらつき(ランダム性)があることが確認出来る。そこで、DC の平均値だけでなく、DC

の分布に関する時間軸に対する決定論的モデル化を行い、これにより効率的に観測情報を蓄積可能であることを示した。

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

3. 1. SSA 実現のための取り組み

本研究課題では、最終的によりスマートで現実的な周波数共有の実現例である 2 階層型 SSA を目指している。これまでは統計情報の取得を実現するセンサーネットワークの開発に主に取り組んできたが、今後は、統計情報に基づいて空き周波数を高精度に見出すことが可能なスペクトラムセンシング法や、統計情報に基づいて空き周波数資源をより有効に活用するアクセス方式、周波数資源制御法の開発が必要である。

さらに、周波数利用観測から上記の上位レイヤの技術を統合的に設計し、その最適化を実現することが望まれる。

3. 2. SSA の拡張

本研究課題では、統計情報の取得を周波数利用観測のみより行うことを前提としている。IoT デバイス等を活用し、周波数の直接的な利用のみならず、ユーザ等の動きを把握することで、周波数利用観測の効率化が期待できる。例えば、ある屋内空間における周波数利用は、その屋内空間におけるヒト・モノの動きから予測することができる。逆に、無線周波数の利用の多次元空間における変化検知することでヒト・モノの動きの予測等に活用することも考えられる。このように、周波数のみならず、それに関連したユーザの動きを統合的に把握し、周波数資源等のダイナミックで柔軟な管理を実現できる SSA を今後は目指して研究開発を進める予定である。

4. むすび

本研究課題では、周波数逼迫問題解決のためによりスマートな周波数共有を実現するために、周波数利用および空き周波数を広帯域・長時間・広範囲に把握するためのセンサーネットワークの開発に取り組んだ。

実際に観測を実現するセンサーネットワークプロトタイプの開発だけでなく、その簡易化・効率化・高精度化を実現するために各種信号処理を開発し、その妥当性を明らかにしてきた。

さらに、観測結果より周波数モデル化を行い、その情報に基づき空き周波数の発見および、周波数利用・管理の高度化が可能であることの検討も行った。

【誌上発表リスト】

- [1] Hiroki Iwata, Kenta Umebayashi, Samuli Tiirro, Janne J. Lehtomäki, Miguel López-Benítez, and Yasuo Suzuki, "Welch FFT segment size selection method for spectrum awareness system", *IEICE Transactions on Communications* vol.E99-B no.8 pp1813-1823 (2016 年 8 月)
- [2] Kenta Umebayashi, Kazuki Moriwaki, Riki Mizuchi, Hiroki Iwata, Samuli Tiirro, Janne Lehtomäki, Miguel López-Benítez, and Yasuo Suzuki, "Simple Primary User Signal Area Estimation for Spectrum Measurement", *IEICE Transactions on Communications* Vol.E99-B No.2 pp523-532 (2016 年 2 月)
- [3] Janne Lehtomäki, Miguel López-Benítez, Kenta Umebayashi, and M. Juntti, "Improved Channel Occupancy Rate Estimation", *IEEE Transactions on Communications* Vol. 63 pp643-654 (2015 年 3 月)