

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23560463

研究課題名(和文)無線環境センシングのハイアラキ型推定に関する実践的研究

研究課題名(英文)A Study on the Hierarchical Estimation for Radio Environments

研究代表者

岡 育生 (OKA, IKUO)

大阪市立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：80160646

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：無線通信における周波数資源ならびに時間資源のダイナミックな活用に必要な無線環境情報のセンシングに関する研究を行った。無線環境情報として、信号の検出、SN比の推定、シンボルごとの変調の識別、ならびに、ブロック変調の推定について新たな方式を開発した。評価基準として、信号検出誤り率、SN比推定の正規化平均二乗誤差、変調方式の識別誤り率、ブロック変調のシンボル誤り率ならびにブロック長の推定誤り率を用い、解析ならびにシミュレーションを通じて開発した方式の特性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Cognition of radio environments is a key issue to realize an efficient use of radio spectrum and time resources. In this work, the new methods were developed for radio environments information, such as signal detection, SNR estimation, symbol-by-symbol modulation classification, and block modulation estimation. The performance of the methods were demonstrated by analyses and simulations.

研究分野：情報通信工学

キーワード：無線環境 信号検出 SN比推定 変調識別 ブロック変調推定

1. 研究開始当初の背景

近年の継続的な無線通信需要の増大に伴い、コグニティブ無線をはじめとする無線通信リソースのダイナミックな活用が期待されている。これらの実現に向けては、無線環境を把握することが、まず、重要となってくる。これまで、信号検出・識別の分野ではレーダー技術による信号検出、変調方式の識別技術などが個別に行われてきた。一方、チャンネル推定では、受信機でのブラインドチャンネル推定に代表される受動的な研究と、チャンネルサウンダ信号を送信して受信する能動的なチャンネルが独立に開発されてきた。そこで、チャンネル推定、信号検出ならびに変調識別を一体的に把握することが必要となっている。

2. 研究の目的

本研究は、信号検出、変調方式識別、ならびに、これらに続くチャンネル推定を系統的に行うハイアラキ推定として実行し、その結果を用いて無線環境センシングの高精度化を実現するための基礎技術を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 適合度検定による信号検出

検出する信号として、2 相位相変調 (BPSK) と 16 値直交振幅変調 (QAM) を対象とした。信号検出には適合度検定を用いることとして、クラメル・フォン・ミーゼス (CM) 検定、アンダーソン・ダーリン (AD) 検定を取り上げ、さらに、AD 検定において確率分布端部を強調するため、分布中間部の標本を用いない修正 AD (MAD) 検定、ならびに、分布端部を強調する確率密度関数を用いる方法を提案し評価を行った。

(2) チャンネル推定

重要なチャンネルパラメータの 1 つである SN 比の推定方法を開発した。変調として PSK, 16QAM, 64QAM を考え、尤度を用いた SN 比推定法を開発し、シミュレーションで正規化平均二乗誤差 (NMSE) を求めた。また、SN 比の推定誤り率を評価するため、推定誤差 ε (dB) を許容する SN 比判定を定義し、解析的に SN 比の推定誤り率を導出した。

(3) 変調識別

直交 PSK (QPSK), 16QAM, 64QAM を対象として、受信機で搬送波再生を必要としない変調方式識別法を開発した。従来の振幅モーメントによる変調方式識別法の識別特性を改善するため 2 種の振幅モーメントの利用を提案した。測定した 2 種の振幅モーメントの 2 次元確率密度関数を、相関のあるガウス分布で近似した結果、解析的に変調方式の判定しきい値を楕円として導出でき、識別誤り率が得られた。このほか、適合度検定による変調識別、ならびに、SN 比が不明の場合の SN 比と変調の同時推定について検討を行った。

(4) ブロック変調推定

まず、K-means 法で変調方式の基底ベクトルを推定し、直交変調の多次元立方体を推定するブロック変調推定法を開発し、解析とシミュレーションでそのシンボル誤り率を評価した。次に、周期定常性を用いたブロック変調のブロック長推定を行った。この方法はブロック長が比較的小さい場合に有効であり周期モーメントの個数を判定することでブロック長が得られる。また、周期周波数の有無を 1 と 0 の符号語で表示し符号の誤り訂正能力を利用して推定精度の向上を図った。

4. 研究成果

(1) 適合度検定による信号検出

図 1 に 16QAM に対する各検定法の信号検出誤り率のシミュレーション結果を示す。図 1 において警報誤り率は 0.05 に設定している。図 1 では提案手法である MAD 検定が最もよく、その次に、CM 検定、AD 検定となっている。なお、MAD 検定では $r=0.6$ であり、中間部の 60% の標本は用いず端部の 40% の標本のみを用いている。

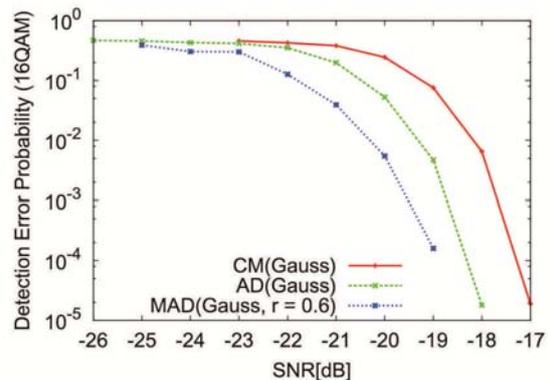


図 1 信号検出率

(2) チャンネル推定

図 2 に 16QAM を対象として、尤度を用いた SN 比推定における NMSE のシミュレーション結果を示す。図中、 M_2M_4 はモーメント法による結果である。図 2 から、SN 比が 5dB より低い領域では両者の差はほとんどないが、SN 比が 7dB より大きい領域では提案法が優れていることがわかる。

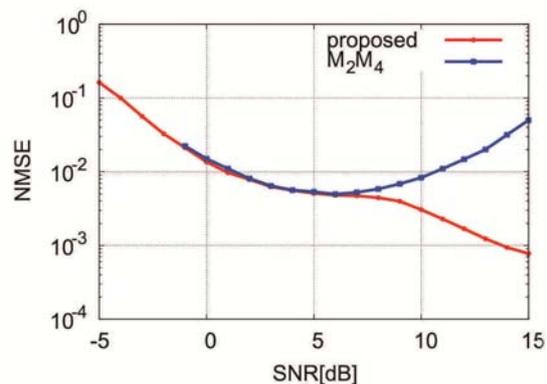


図 2 SN 比推定の正規化平均二乗誤差

図3に推定誤差 ε (dB)を許容する 16QAM の SN 比判定における推定誤り率の解析結果とシミュレーション結果を示す. 図から, 解析結果がシミュレーション結果とよく一致しており, 解析が妥当であることがわかる. また, 標本数 N が 1000 から 5000 に増加すると SN 比が 5 dB 前後で推定誤り率が大きく改善している.

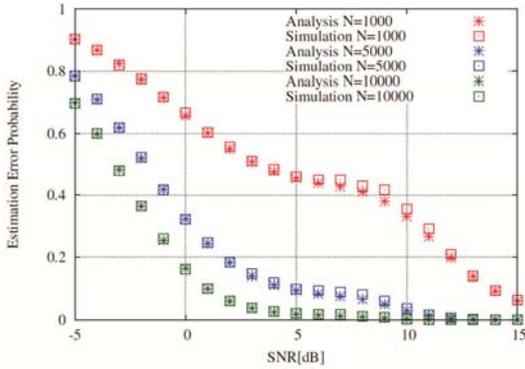


図3 SN 比推定誤り率

(3) 変調識別

2 種の振幅モーメントを用いた 16QAM と 64QAM の識別誤り率の解析結果を図4, 図5に示す. 図4は, a 次振幅モーメントと b 次振幅モーメントを用いた場合の誤り率を濃度で表しており, 黒が濃いほど識別誤り率が低い. 図4より, $(a, b) = (4, 8)$ の組み合わせが最も識別誤り率が低く, 続いて $(6, 8)$, $(4, 10)$ の組み合わせが良いことがわかる. 次に, 図5に最も高い識別性能を示した $(a, b) = (4, 8)$ の組み合わせについてタイミングオフセットを考慮した場合の識別誤り率を示す. 図中, Ref[7]は, 従来手法である 1 つの振幅モーメントを用いた場合の識別誤り率である. 標本数 N は 5000 であり, フィルタのロールオフ率は 0.5 である. 図5より, タイミングオフセットの増加とともに識別誤り率は劣化するが, タイミングオフセットが 10% 生じた場合においても従来方法と同等の識別誤り率に留まる. また, 識別誤り率 10^{-6} において標本数 N を 5000 から 2500 とすれば SN 比が 3.2 dB 劣化し, 1000 とすれば 2.3 dB 改善する.

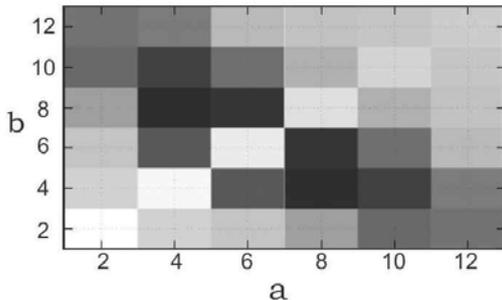


図4 識別誤り率

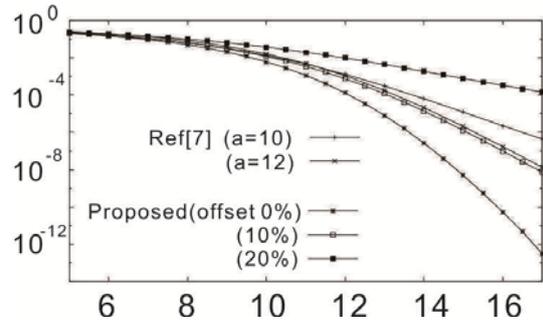


図5 識別誤り率

図6に, SN 比が未知の場合に, 尤度を用いた SN 比推定と, 16QAM と 64QAM の識別を同時に行った場合の識別誤り率を示す. 図6において, モーメント法では SN 比が 7 dB を超えても識別誤り率が改善しないが, 尤度を用いた提案法では急速に識別誤り率が良くなるのがわかる.

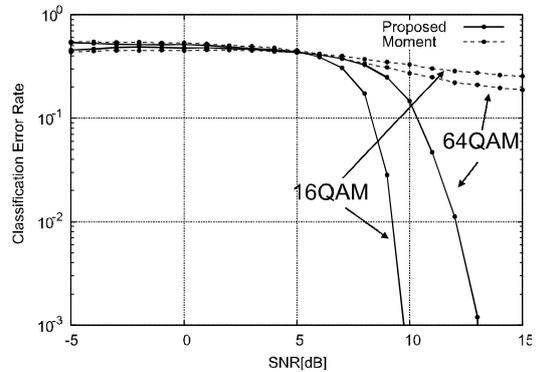


図6 SN 比と変調の同時推定

(4) ブロック変調推定

4次元直交変調の各頂点を $L=80$ シンボルの標本で推定した場合のシンボル誤り率の解析結果を図7に示す. ここでは, ブロック長 N を 3 とし, 直交変調を推定した後のシンボル誤り率を求めている. このため, 変調方式推定の精度はシンボル誤り率程度と考えられる. 図7では, SN 比の増加に従って解析結果とシミュレーション結果が近くなっている.

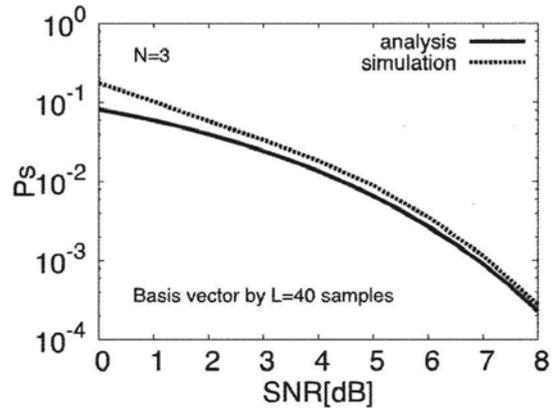


図7 シンボル誤り率

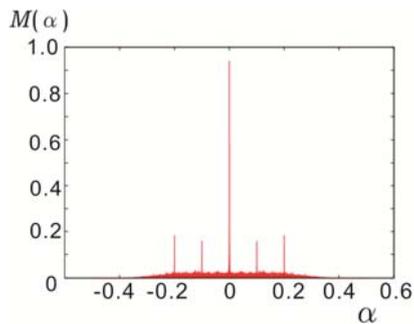


図8 周期周波数

図8にブロック長推定に用いる周期周波数を示す. 図8では周期周波数 $\alpha=0$ の成分を除く正負2か所ずつでパルスの存在が認められブロック長は2となる. 同様に, このパルス数がブロック長に一致することから推定が可能となる. 図9に, ブロック長が4の場合のブロック長推定成功率のシミュレーション結果を示す. 図中, S は必要な標本数である. また, 周期周波数の有無を1と0の符号語で表示することでブロック長16程度までの推定が可能となった.

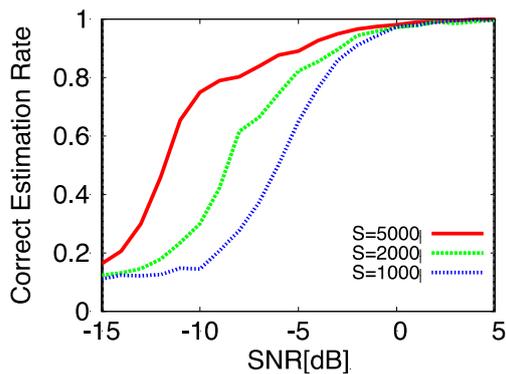


図9 推定成功率

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1件)

① Takafumi Kinugasa, Ikuo Oka, Shingo Ata, Basis Vector Estimation Analysis for Identification of Block Orthogonal Modulations, 査読あり, IEICE Transactions on Communications, Vol. E95-B, No. 5, pp. 1882-1885, May 2012
DOI: 10.1587/transcom.E95.B.1882

[学会発表] (計13件)

① Shinji Nishijima, Ikuo Oka, Shingo Ata, PSK and QAM Classification by Likelihood under Unknown SNR Condition, Proceedings of 2016 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing, pp. 435-438, March 08, 2016, Honolulu (USA)

② 西島慎二, 岡育生, 阿多信吾, 最尤推定によるSN比推定法の解析的評価, 電子情報通信学会技術研究報告, SAT2015-41, 2015年10月7日, 大阪大学中之島センター(大阪府大阪市)

③ Shinji Nishijima, Ikuo Oka, Shingo Ata: "Maximum Likelihood Estimation for SNR of PSK and QAM." Proceedings of 2015 IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile, August 28, 2015, Bandung (Indonesia)

④ 西島慎二, 岡育生, 阿多信吾, 尤度を用いたQAMにおけるSN比推定, 電子情報通信学会技術研究報告, IT2014-71, 2015年3月2日, 北九州市立大学(福岡県北九州市)

⑤ 大野倫明, 岡育生, 阿多信吾, 2種の振幅モーメントを用いたQAM識別における誤り率解析, 電子情報通信学会技術研究報告, IT2014-70, 2015年3月2日, 北九州市立大学(福岡県北九州市)

⑥ キン晟迪, 岡育生, 阿多信吾, 周期定常性を用いた変調信号のブロック長推定, 電子情報通信学会技術研究報告, SAT2014-1, 2014年5月15日, 名古屋工業大学(愛知県名古屋市)

⑦ 松村康弘, 岡育生, 阿多信吾, 2種の振幅モーメントを用いたシンボルタイミング誤差を含むQAM識別, 電子情報通信学会技術研究報告, IT2013-84, 2014年3月11日, 名古屋大学(愛知県名古屋市)

⑧ Ikuo Oka, Takafumi Kinugasa, Shingo Ata, Block Length Estimation for Block Orthogonal Modulations by Cyclic Moments, Proceedings of IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS2012), pp. 687-690, November 06, 2012, New Taipei City (Taiwan)

⑨ 本多千晶, 岡育生, 阿多信吾, 確率密度の適合度検定を用いた変調信号の推定, 第35回情報理論とその応用シンポジウム講演論文集, pp. 604-607, 2012年12月14日, 別府湾ロイヤルホテル(大分県速見郡日出町)

⑩ 松村康弘, 岡育生, 阿多信吾, 振幅モーメントを用いたタイミングオフセットおよび周波数オフセットの推定, 第35回情報理論とその応用シンポジウム講演論文集, pp. 608-612, 2012年12月14日, 別府湾ロイヤルホテル(大分県速見郡日出町)

⑪ Chiaki Honda, Ikuo Oka, Shingo Ata, Signal Detection and Modulation Classification Using a Goodness of Fit Test, Proceedings of the 2012 International Symposium on Information Theory and its Applications (ISITA2012), pp. 180-183, October 29, 2012, Honolulu (USA)

⑫ 本多千晶, 岡育生, 阿多信吾, 分布関数を用いた信号検出と変調識別の高速化, 第34回情報理論とその応用シンポジウム講演論

文集, pp. 37-42, 2011年11月30日, ホテル
森の風鶯宿(岩手県岩手郡雫石町)

⑬ 本多千晶, 岡育生, 阿多信吾, 分布関数
の検定による変調識別に関する検討, 電子情
報通信学会技術研究報告, IT2011-15,
pp. 31-34, 2011年7月21日, 岡山大学(岡
山県岡山市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡 育生 (OKA IKUO)

大阪市立大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 80160646

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし