

機関番号：14603

研究種目：基盤研究(B)一般

研究期間：2008～2010

課題番号：20360172

研究課題名(和文) RF ベースバンド統合信号処理による超低消費電力無線ノードの実現

研究課題名(英文) Realization of low power consumption wireless node using joint RF and baseband signal processing technique

研究代表者

岡田 実 (OKADA MINORU)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：10252587

研究成果の概要(和文)：

本研究ではIEEE802.15.4 に基づく周波数拡散方式にESPAR (Electronically Steerable Passive Array Radiator)アンテナを適用し、その指向性を非常に高速に変化させることにより、信号処理を行うことなくダイバーシチ効果が得られる方式を提案し、その効果を明らかにした。本方式では、指向性をIEEE802.15.4 のシンボル速度である 62.5kHz で指向性を変化させる。指向性を高速に変化させることで波形歪みが生じるが、周波数拡散方式ではその波形歪みが伝送特性に与える影響は小さいため、受信機の復調部はダイバーシチを行わない通常の受信機をそのまま用いることが可能である。提案方式を用いることで最大約 20dB のダイバーシチ利得を得ることが可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：

This research reveals a single-RF diversity scheme for spread spectrum receiver based on IEEE 802.15.4 standard. The proposed scheme employs an Electronically Steerable Passive Array Radiator (ESPAR) antenna with periodically changing directivity at the symbol rate. IEEE 802.15.4 focuses on low power consumption short range communication systems. However, the bit error rate performance is not good enough in a severe multipath fading environment. Diversity is a well-known technique to compensate for the performance degradation due to multipath fading. However, the complexity for diversity reception is a major problem. In this paper, we propose a new single-RF diversity scheme using ESPAR antenna with periodically changing directivity. The proposed scheme is capable of obtaining the diversity gain in a frequency selective fading environment and it solves the slow convergence rate problem in the conventional ESPAR antenna based diversity scheme. Computer simulation result and theoretical analysis show that the proposed scheme gives diversity gain.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2009年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2010年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
年度			
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信ネットワーク工学

キーワード：RF信号処理、ベースバンド、低消費電力、無線ノード、 Zig-Bee, W-LAN, ESPAR
アンテナ

1. 研究開始当初の背景

(1) センサネットワークやM2M通信システムでは、伝送速度はそれほど要求されないが、端末サイズや電池の容量が厳しく制限されており、無線インタフェースはその消費電力が非常に厳しく制限されている。(2) 一方、無線通信システムでは、マルチパスフェージングやシャドウイングといった無線通信特有の特性劣化要因が存在するため、信頼性の高い通信を行うためには、ダイバーシチや適応等化器といった複雑な信号処理が必要となっている。これらの信号処理回路は、複数のRF回路が必要となり、また、ベースバンド信号処理にも複雑な信号処理が必要となるため、消費電力を削減することが困難であった。

(3) 一方、アンテナやRF回路のパラメータを制御することで信号処理を行うRF信号処理は、ベースバンドでの信号処理に比較して回路規模と消費電力を小さくできることが知られている。しかし、RF信号処理では、追従性の問題があり、また、周波数選択性を有するマルチパスフェージング通信路での動作が十分にを行うことができなかった。

(4) このRF信号処理を前処理として用い、歪ませた信号をベースバンド信号処理でマルチパス歪補償を行うことで、両者の欠点を取り除くことが可能になると予想できる。そこで、ベースバンド信号処理、RF信号処理およびメディアアクセス制御処理を組み合わせ、消費電力の削減と性能改善を同時に行うことができる無線ノードの実現を目指す。

2. 研究の目的

(1) マルチパスフェージングによる伝送特性の劣化は、移動通信や無線LAN (Local Area Network), PAN (Personal Area Network)において常に大きな問題となっている。この問題を解決する方法として、空間ダイバーシチが効果的であることが知られている。空間ダイバーシチは複数の受信アンテナで受信した信号を合成することで、一部のアンテナで受信した信号がフェージングにより受信に失敗しても、他のアンテナで受信した信号で補完することができ、全体として受信品質の大幅な改善を行うことができる。中でも、最大比合成ダイバーシチは、合成後の受信信号のSNR(Signal-to-Noise power Ratio)が最大となるように各アンテナで受信した受信信号の振幅および位相を変化させて受信を行う方式であり、効果的であることが知られている。

(2) しかし、最大比合成ダイバーシチ受信方式では、アンテナ毎にRF回路、AD変換器 (Analog-to-Digital Converter) およびベースバンド復調部が必要となり、回路構成が複雑となる。このことは消費電力や回路規模が厳しく制限されている携帯機器への搭載を考えるとダイバーシチ方式実装に向けて大きな障害となる。単一のRF回路、復調部で実現可能なダイバーシチ合成法として切り替えダイバーシチが知られている。切り替えダイバーシチは、複数用意したアンテナの内、ある一つのアンテナを選択して受信を行い、その受信信号強度があらかじめ設定した閾値を下回ると他のアンテナ

に切り替えて受信を行う方式である。しかし、この方式では、受信品質をフィードバックする操作を行うことがらフェージング伝搬特性が高速に変化する状況では、アンテナ切り替えが伝搬路変動に追従できないという問題がある。また、最大比合成と比較して特性改善効果が小さいという問題もある。

(3) 近年ESPAR(Electronically Steerable Passive Array Radiator) アンテナと呼ばれるアンテナが提案されている。このアンテナは、放射器近傍に配置した寄生素子を可変容量ダイオードで終端し、終端した可変容量ダイオードの容量を変化させることでアンテナの指向性を制御するものである。2本のアンテナを配置するよりもコンパクトにアンテナを設計することができるため、小型化が要求される携帯端末への応用が期待される。このアンテナを用いたダイバーシチ受信機が提案されている。しかし、基本的な動作は前述の切り替えダイバーシチと同じであり、ダイバーシチ特性および追従性の点で問題がある。

(4) この問題を解決する方法として、我々は、ESPARアンテナの指向性をシンボル速度と同じ周波数で高速に変化させることでダイバーシチ受信を行う方式を提案する。この提案方式では、高速に指向性を変化させることで、OFDM受信信号波形が歪み、チャンネル間干渉(ICI: Inter-Channel Interference)が発生する。このICIをDFT(Discrete Fourier Transformation)後に周波数領域等化器を用いて補償することで等価的にダイバーシチ効果を得ることができる。

(5) 本方式は受信信号に基づいてESPARアンテナの制御をフィードバック制御で行う必要が無いため追従性は問題とはならない。

また、従来の切り替えダイバーシチやESPARアンテナを用いたダイバーシチ方式では効果が小さかった周波数選択性フェージング伝搬路においても効果がある。

(6) 本研究では、このESPARアンテナ指向性を高速に変化させることでダイバーシチ受信を行う方式をIEEE802.15.4に基づく周波数拡散方式への適用を検討する。IEEE802.15.4ではデータ伝送速度250kbit/sのバイナリデータを4ビット毎にブロック化し、この4ビットブロックの16通りのパターンに対応した拡散符号を送信している。提案方式では、拡散系列周期と近い62.5kHz程度の周波数でESPARアンテナの指向性を変化させる。OFDMと異なり、指向性を高速に変化させることによる波形歪みが伝送特性に与える影響は小さいため、等化器などを用いることなくダイバーシチ効果を得ることが可能となる。ESPARアンテナおよびIEEE802.15.4の消費電力は非常に小さく、本提案方式を用いることによる消費電力の増加はほとんどないことから、低消費電力、高信頼無線ノードの実現が期待できる。

3. 研究の方法

図1に提案する無線ノードのブロックダイアグラムを示す。図において、ESPARアンテナの片側の素子は受信機に接続されている。もう一方の寄生素子は、可変リアクタンス素子により終端されており、可変リアクタンス素子は、シンボル速度と同じ周波数である62.5kHzで変化させる。IEEE802.15.4(ZigBee)の復調は、通常の復調と同じ動作であるので、市販されているZigBeeモジュールを用いて評価を行う。

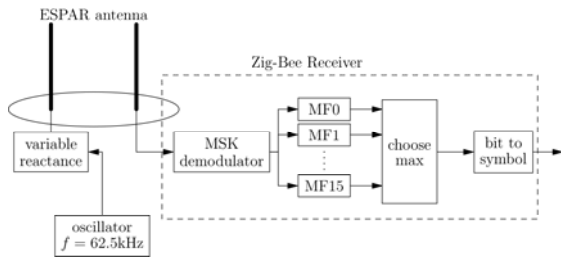


図 1 提案方式のブロックダイアグラム

4. 研究成果

(1) 計算機シミュレーションにより、提案方式の基本特性を明らかにした。図 2 にシンボル速度 (62.5ksymbol/s) で正規化した指向性変化周波数に対するシンボル誤り率特性を示す。図より正規化周波数が 0.5 以下になるとシンボル内での受信信号強度の変化が小さくなり、ダイバーシチ効果が得られない。一方、正規化周波数が 5 を越えると指向性変化による波形歪みが判定に影響するようになり、誤り率が急激に劣化する。このことから、指向性変化の周波数としては 0.5 (約 30kHz) から 5 (約 300kHz) の範囲に設定する必要がある。しかし、この範囲内であれば、指向性変化が誤り率に与える影響は小さく、指向性変化の周波数をシンボル周波数に正確に合わせる必要はない。

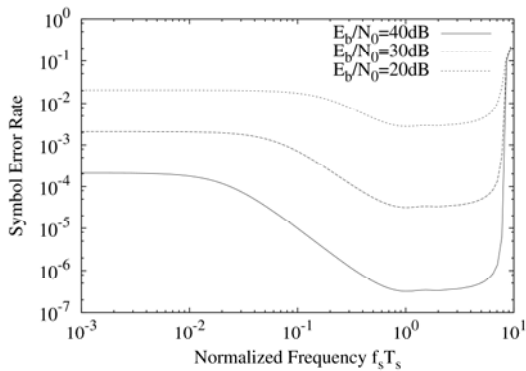


図 2 制御周波数に対するビット誤り率特性

(2) 以上の検討では、2 素子 ESPAR アンテナを仮定してきたが、寄生素子数を増やすことで、さらなる特性改善が期待できる。

寄生素子を増加させ、 k 番目の寄生素子に与える制御周波数を $k \times 60\text{kHz}$ とする。図 3 に ESPAR アンテナの素子数に対するシンボル誤り率特性を示す。図より、アンテナ素子数を増加させることで誤り率の改善が可能であることがわかる。特に $N=7$ とした場合、シンボル誤り率 $= 10^{-3}$ を得るために必要な所要 CNR (Carrier to Noise power Ratio) が、ダイバーシチを行わない場合と比較して約 20dB 程度削減することができ、大幅に誤り率特性を改善することが可能であることを明らかにした。

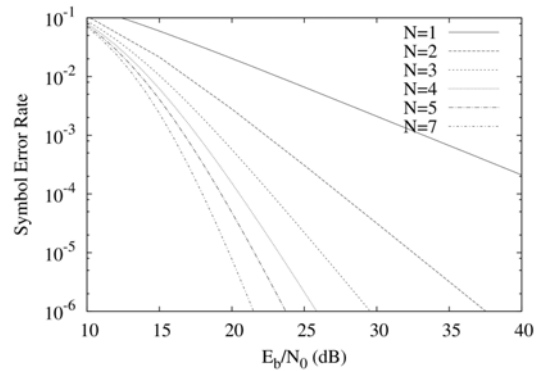


図 3 素子数に対するビット誤り率特性

(3) 数値計算結果にもとづき、実験装置を試作した。試作したアンテナモジュールを図 4 に示す。図では、3 本の 4 分の 1 波長モノポールアンテナが導体平面 (写真の緑色の基板) 上に配置されている。このアンテナ素子のうち、中央に配置されている輻射器素子は、ZigBee モジュールに接続されている。一方、両端の寄生素子は、それぞれ、バラクタダイオードで終端されており、そのバイアス電圧は、周波数 60kHz の周波数で制御されている。



図 4 試作したアンテナ

(4) 本研究では、IEEE802.15.4 に基づく周波数拡散通信方式のための、シングルRF構成のダイバーシチ受信機を提案した。提案方式は、ESPARアンテナを用い、その指向性をシンボル速度と同等の周波数で高速に変化させることにより、等価的にダイバーシチ効果を得るものである。従来の切り替えダイバーシチが必要であった受信信号強度に応じたアンテナ制御は不要であり、追従性の問題が発生しない。また、IEEE802.15.4 で用いられている周波数拡散方式は、指向性の高速変化に共なう受信信号波形の波形歪みに対する耐性を有していることから、波形歪みに対する歪み補償を行う必要はない。計算機シミュレーションおよび理論解析の結果、提案方式のビット誤り率特性を評価した。その結果、提案方式が有効であることを明らかにした。

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 4 件)

- ① Shoko Kuroda, Sho Tanaka, Shigeo Naoi, Yoza Takeda, Ryusuke Miyamoto, Takao Hara, Minoru Okada, (Development of an Interference Canceller in Satellite Communications using a Multi-level Modulation with Superposed Transmission), IEICE Transactions on Communications, E92-B, 3354-3364, 2009, 査読有

- ② 三田勝史、伊藤修朗、齋藤将人、岡田 実, (地上デジタル放送移動受信用ドップラーシフト補償方式におけるアンテナブランチ間位相誤差補整処理に関する検討), 電子情報通信学会論文誌B分冊, J93-B, 486-497, 2009, 査読有

- ③ Khoirul Anwar, (Large Code Set for Double User Capacity and Low PAPR Level in Multicarrier Systems), IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Commun. and Computer Sciences, Vol. E91-A No. 8, 2008, 査読有

- ④ Hitoshi Takai, (Seamless Radio Area Formation by Distributed Antennas Using PSK-VP Scheme for Communication With High-Speed Objects), IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, Vol. 57 No. 4, 2008, 査読有

[学会発表] (計 36 件)

- ① Tomoya Kozu, Ryusuke Miyamoto, Minoru Okada, (Bit Error Rate Performance of Single-RF Diversity Based on ESPAR Antenna), The Seventh Advanced International Conference on Telecommunications (AICT 2011), 2011. 3. 21, Netherlands, St. Maarten

- ② Ziji Ma, Ryusuke Miyamoto, Minoru Okada, (An adaptive scheme of impulsive noise suppression for ISDB-T receivers), Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS), 2010. 12. 07, 中国, 成都

- ③ 岡田 実, 塚本悟司, 高津朋也, (ESPARアンテナを用いたSingle-RFダイバーシチのビット誤り率特性), 電子情報通信学会技術報告, 2010. 10. 07, 奈良県 奈良市

- ④ Satoshi Tsukamoto, Tomoya Kozu, Minoru Okada, (Single-RF diversity for OFDM system using ESPAR antenna with periodically changing directivity), International Symposium on Radio Systems and Space Plasma, 2010. 08. 27, Bulgaria, Sofia

- ⑤ Minoru Okada, Satoshi Tsukamoto, Tomoya Kozu, (ESPAR antenna-based single-RF diversity for wireless sensor network systems), 2010 International Workshop on Information Communication

Technoligy(ICT2010), 2010.08.24, Thailand, Bangkok

- ⑥ 岡田 実, 塚本悟司, 高津朋也, (ESPAR アンテナによるSingle RFダイバーシチ), 電子情報通信学会技術報告, 2010.07.23, 東京都 新宿区
- ⑦ I Gede Puja Astawa, and Minoru Okada, (ESPAR antenna-based diversity scheme for MIMO-OFDM systems), International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology (ICESIT 2010), 2010年2月7日, Thailand , Chiang Mai
- ⑧ Shuhei Haraguchi, Masato Saito, Chandra R. N. Athaudage, Minoru Okada, (Achievable Rate of Dual-Hop OFDM Relay System with Non-regenerative Relay without FFT Process), The Sixth International Symposium on Wireless Communication Systems 2009 (ISWCS' 09), 2009年9月7日, Thailand , Bangkok
- ⑨ Satoshi Tsukamoto, Minoru Okada, (Single-RF maximal ratio combining diversity for OFDM system using an ESPAR antenna whose direction is oscillated in the symbol time), 2009 Thailand-Japan MicroWave, 2009年8月21日, Thailand , Bangkok
- ⑩ Minoru Okada, (Research and Development Trend on Digital TV), International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology, 2009年2月11日, タイ・パタヤ

[図書] (計 1件)

- ① 原 孝雄, 福井護, 実業印刷株式会社, (衛星通信の電力・周波数効率化技術ーエコ衛星通信に向けてー), 2010, 132 ページ

[産業財産権]
該当無し

[その他]
ホームページ等
<http://infonet.naist.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡田 実 (OKADA MINORU)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：10252587

(2) 研究分担者

原 孝雄 (HARA TAKAO)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：30372668

(3) 研究分担者

齋藤 将人 (SAITO MASATO)

琉球大学・工学部・准教授

研究者番号：30335476

(4) 研究分担者

宮本 龍介 (MIYAMOTO RYUSUKE)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：10452525

(3) 連携研究者

該当無し