

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760324

研究課題名(和文)クロスレイヤアプローチによるWPANのための品質保証・省電力化方式

研究課題名(英文)Cross-layer approach-used Quality of Service-guaranteeing/Energy Consumption Saving System for WiPAN

研究代表者

小室 信喜 (KOMURO, Nobuyoshi)

千葉大学・融合科学研究科(研究院)・助教

研究者番号：70409796

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円、(間接経費) 660,000円

研究成果の概要(和文)：デジタル情報家電のネットワーク化に関する研究や技術開発が進められている。デジタル情報家電のネットワーク化の実現に関する技術の1つとして無線パーソナルネットワーク(Wireless Personal Area Network, WPAN)が注目されている。本研究提案はWPANにおける性能向上法および省電力化方式として、符号多値変調方式を用いるランダムアクセスネットワークについて研究するものである。特に、WPANで求められている技術である、通信品質向上法、小規模ネットワーク、省電力化、の実現を目標として研究を行った。理論解析およびシミュレーションにより、本研究提案の有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：Wireless Personal Area Network (WPAN) has been attracting more interest. This research proposes Code Shift Keying (CSK)-used wireless random access network for improving the throughput performance, delay property, and energy consumption property in WPAN. The goal of this research is to achieve high communication-quality and low energy consumption. Analysis and simulation results show the effectiveness of the proposed systems.

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：省電力化 通信品質 WPAN 物理層 MAC副層

1. 研究開始当初の背景

人を中心として 10 から 20 メートル程度の距離の通信によってさまざまな利便性や快適性などを提供するネットワークとして期待されている Wireless Personal Area Network (WPAN) は、現在の情報通信環境を一変させる可能性を持っており、ユビキタスネットワーク社会実現のための重要技術となっている。WPAN を支える通信方式には、設計自由度の高いスペクトル拡散通信に基礎をおく方式が検討されている。これらのネットワークでは、省電力化、小規模の通信エリア、システムの簡易化、を実現し、スループット性能や遅延性能を向上できる方式が望まれている。そのため、スループット・遅延などの性能向上ばかりでなく、省電力化の検討が重要である。

WPAN 向け無線通信法規の標準規格の一つである IEEE 802.15.4 では通信デバイスの省電力化を図るために、デバイスがルータに問い合わせ、自分宛てのデータが届いている場合にのみデータ受信を行う。デバイスは好きなタイミングで通信・スリープをすることができるため、省電力化を図ることができる。このように、IEEE 802.15.4 では Medium Access Control (MAC) プロトコルを工夫することによって省電力化が図られており、国内外では、MAC プロトコルによる省電力化に関する研究がほとんどである。

2. 研究の目的

本研究提案の発端は、符号多値変調方式を用いる CDMA 通信はパケット長を短縮できるため、パケット衝突確率、遅延や再送回数を減らすことができ、省電力化につながると期待できる点にある。提案方式は、DS/SS を用いる CDMA 通信と比較し、2 倍以上のスループットを達成できる可能性がある一方、符号間干渉や遠近問題によるビット誤り率の低下が問題となる。これに対し、物理層の情報を元に MAC 制御を適切にかけることによって、ビット誤り率の低下を解決できるだけでなく、省電力効果も期待できる。

本研究提案は、MAC レイヤと物理レイヤの 2 つのレイヤから通信品質向上、省電力化に対するアプローチをかけるものである。提案方式は、消費電力の大幅な削減だけでなく、スループットの向上、データ到達率などの通信品質向上が期待できる。本研究では、理論解析およびシミュレーションにより、提案方式の有効性を示す。

3. 研究の方法

本研究では、以下の手順で研究を進めた。

(1) 符号多値変調方式を用いる CDMA 通信の省電力効果

符号多値変調方式を用いる CDMA 通信の省電力効果を理論的に導出する。パケット長を短くすることによって、衝突率を減らし省電力化を図る効果を定量的に示す。

(2) 符号多値変調を用いる伝送レート制御法
符号多値変調方式において、伝送レートを動的に制御することによって、通品品質を維持する方式を確立し、提案方式の性能を示す。

(3) 符号多値変調方式を用いる CDMA 通信におけるビット誤り低減方式

符号多値変調を用いる CDMA 通信において、他局間干渉の影響を緩和することによって、パケット誤りを低減しスループットを向上する方式を確立し、提案方式の有効性を示す。

(4) 受信機会制御を用いる流量制御方式

受信機会を制御することによって、流量を制御し、多局間干渉の影響を抑える MAC プロトコルを確立し、提案方式の有効性を示す。

(5) 動的アクティブ期間制御方式

トラフィック負荷に応じて動的にアクティブ期間を制御することによって、省電力化を行う MAC プロトコルを確立し、提案方式の有効性を示す。

4. 研究成果

(1) 符号多値変調方式を用いる CDMA 通信の省電力効果 (論文[6])

図 1 に、構成図を示す。ユーザの通信可能距離は R [m] とする。各ユーザにはユーザ識別のための疑似雑音(PN)系列と全ユーザに共通の直交符号セット (M 種類の直交符号) が割り当てられている。符号多値変調方式で用いる系列として、各ユーザには長さ $L_f = M$ の直交符号 M 個が割り当てられている。各ユーザは、パケットの情報を $N_{bit} = \log_2 M$ ビットずつ切り出し、それに応じて直交符号セットの中から 1 つの符号を選択し、PN 系列を乗算する。ここで、直交符号と PN 系列を乗算して構成される符号をシンボルと呼ぶ。1 パ

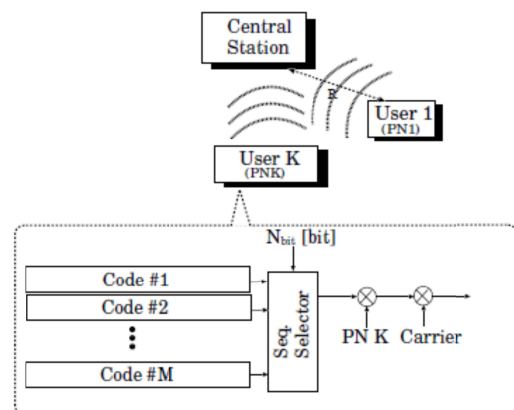


図 1: 提案方式の構成

ケットあたりの情報ビット数を L_{p-info} とするとき、1 つのパケットは $L_p = L_{p-info} / N_{bit}$ 個のシンボルから構成され、搬送波に乗せられ受信側に送信される。パケットは固定電力で送信される。

図2に、オフロードに対する符号多値変調方式およびDS/SS方式の消費エネルギーを示す。ここで、オフロードは1DS/SS パケット時間当たりが発生するパケ

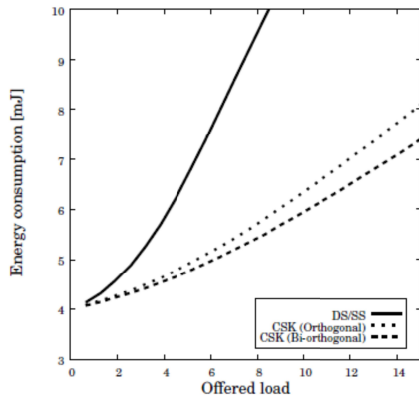


図 2 : 符号多値変調方式の消費電力

ット数と定義する。実線はDS/SS方式の消費エネルギー、点線は直交符号を用いる場合、破線は陪直交符号による符号多値変調方式を用いるCDMA通信の消費エネルギーを示す。図より、オフロードが増加するにしたがって、消費エネルギーが増加することがわかる。これは、オフロードが増加するにしたがって、干渉量が増加し、パケット誤り率が高くなるためである。また、図より、符号多値変調方式を用いるCDMA方式の消費エネルギーはDS/SS方式よりも消費エネルギーが低いことがわかる。

(2) 符号多値変調を用いる高伝送レート方式 (論文[5])

本研究段階では、振幅面からも多値化を行うことによって、さらなる伝送レート向上を図った。図3に、符号多値変調を用いる高伝送レート方式(QAM-CSK/SS)のスループットを示す。実線は、従来の16-QAMに基づくCDMA方式、点線は、符号多値変調方式を用いるCDMA方式、波線は提案方式のスループットを示す。図より、提案方式は従来方式の約2倍のスループットを達成できることがわかる。さらに、本研究段階では、雑音強度と多値度の関係を示し、適応伝送レート制御の指針を示した。

(3) 符号多値変調方式を用いるCDMA通信におけるビット誤り低減方式 (論文[1])

本研究段階では、干渉除去技術を適用することによって、他局間干渉の影響を緩和し、スループットを向上する方式を提案した。図4に、提案方式のスループットを示す。点線は干渉除去を行わない場合、実線は提案方式のスループットを示す。図より、提案方式は従来方式の約3.5倍のスループットを達成できることを示した。

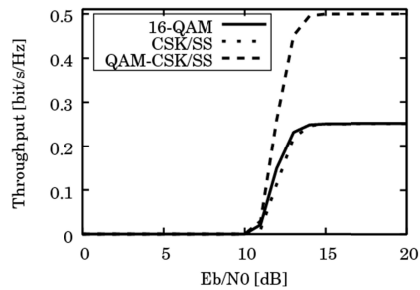


図 3: QAMを用いる符号多値変調方式のスループット

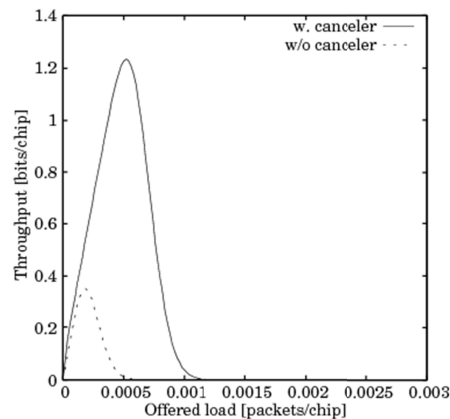


図 4 : 干渉除去を用いる符号多値変調方式のスループット

(4) 受信機会制御を用いる流量制御方式 (論文[3], [4], [7])

本研究段階では、流量を制御することによって干渉量を抑圧するMACプロトコルを考案する。本研究では、ネットワーク容量を推定

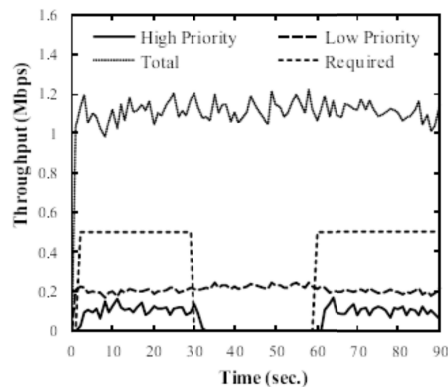


図 5: 経過時間に対するスループット (流量制御なし)

し、それに応じて送受信機会を制御し、動的にQoSを制御する。提案方式では、トラフィック状況に応じて流量が制限され、優先されるトラフィックの通信品質が保証される。計算機シミュレーションにより、提案方式の有効性を示す。

図5, 6 経過時間に対するスループットを示す. 図5は従来方式(送受信機会制御なし), 図6は提案方式のスループットを示す. 非優先端末のスループットは, 5 台の平均値を示す. 図5より, 従来方式は, 優先端末が要求するスループットを満たすことができない. これは, 各端末に公平なチャネルアクセス権

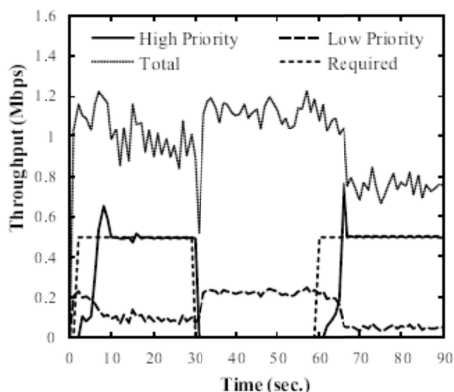


図 6 : 経過時間に対するスループット (提案方式)

が割り当てられているためだけでなく, ネットワーク容量を超える負荷をそのままネットワークに流すため, 非優先トラフィックが優先トラフィックを圧迫するためである. 一方, 図6から, 提案方式は, 優先端末の要求スループットを満たしていることがわかる. これは, 送受信機会を制御することによって, 非優先端末のチャネルアクセス権が減少し, 結果的に優先端末がチャネルアクセスする頻度が増加するためである. また, ネットワーク容量を超える負荷を流さないため, 非優先トラフィックが優先トラフィックを圧迫することがないためである.

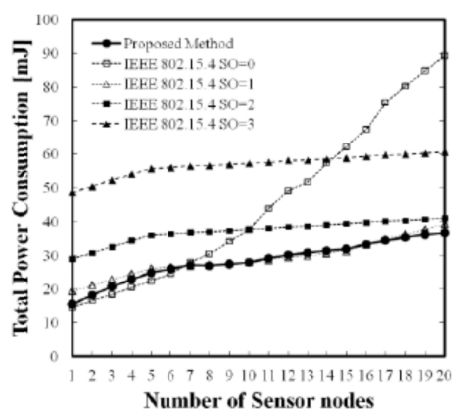


図 7 : 動的アクティブ制御方式の消費電力

(5) 動的アクティブ期間制御方式 (論文[2], 学会発表[1], [2])

本研究段階では, 省電力化のためのスリープ制御 MAC プロトコルを確立する. トラフィック負荷に応じてアクティブ期間を動的に制御する方式を提案し, 提案方式の有効性をシ

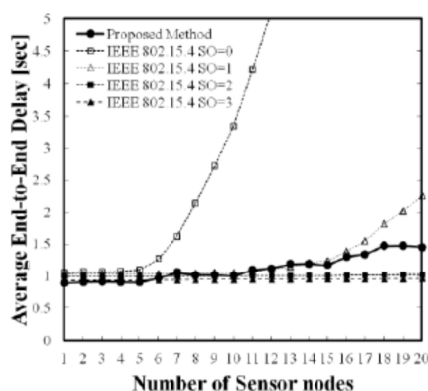


図 8 : 動的アクティブ制御方式の遅延性能

ミュレーションにより示した. 図7に提案方式の消費電力, 図8に提案方式の遅延特性を示す. 図より, 提案方式は低遅延を維持しつつ, 消費電力を抑えることができることがわかった. 特に, 端末数が多い場合の効果が大きく, 本アクティブ期間制御方式は, 符号多値変調方式との親和性がある.

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 7件)

[1] N. Komuro, H. Habuchi: "Impact of Interference Cancellation Technique on Throughput of Nonorthogonal CSK/SSMA ALOHA System," Journal of Selected Areas in Telecommunications, Vol. 3, No. 11, pp. 17-23, Nov. 2013. (査読有)

[2] N. Kai, S. Sakata, N. Komuro, "Dynamic active period control achieving low energy consumption and low latency in multi-hop wireless sensor networks," Proc. Autonomous Decentralized Systems (ISADS), Mexico City, Mexico, Mar. 2013. (査読有)

[3] A. Takahashi, N. Komuro, S. Sakata, S. Shioda, T. Murase: "Flow Control Scheme using Adaptive Receiving Opportunity Control for Wireless Multi-hop Networks," IEICE Trans. Commun., vol. E95-B, no. 9, pp. 2751-2758, Sept. 2012. (査読有)

[4] 高瀬琢磨, 小室信喜, 阪田史郎, 塩田茂雄, 村瀬勉, 関屋大雄: "無線マルチホップネットワークにおけるトークン生成レートに基づく QoS 保証のための受信機会制御方式," 電子情報通信学会論文誌 (B), Vol. J95-B, No. 2, pp. 188-198, Feb. 2012. (査読有)

[5] N. Komuro, K. Matsuura, S. Sakata: "

QAM-CSK/SS: Multilevel Modulation Scheme for Enhancing Data Transmission Rate," Journal of Communication and Computer, Vol. 9, No. 3, Mar. 2012. (査読有)

[6] N. Komuro, H. Sekiya, S. Sakata: "Energy Efficient Wireless Random Access Network with Code based Multi-level Modulation Scheme," Journal of Signal Processing, Vol. 15, No. 6, pp.461-468, Nov. 2011. (査読有)

[7] 高橋淳 小室信喜, 阪田史郎 塩田茂雄, 村瀬勉: "無線マルチホップメッシュネットワークにおける 受信機会制御プロトコルを用いる流量制御方式," 電子情報通信学会論文誌(B), Vol. J94-B, No. 8, pp. 988-991, Aug. 2011 (査読有)

〔学会発表〕(計 15 件)

[1] 甲斐成美, 阪田史郎, 小室信喜, "クラスタツリー型無線センサネットワークにおける低遅延化のための適応的アクティブ期間制御方式," 電子情報通信学会・通信方式研究会, 北海道, 2013年11月15日

[2] N. Komuro, "An Adaptive Sleep Period Control in Consideration of QoS Requirement for IEEE 802.11e APSD-compliant Wireless LAN," Proc. Korea-Japan Joint Workshop on Complex Communication Sciences, Okinawa, 2013年10月19日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

小室 信喜 (KOMURO, Nobuyoshi)

千葉大学・大学院融合科学研究科・助教

研究者番号: 70409796

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし