

## 研究成果報告書

研 究 題 目		スマートワイヤレスネットワークのための物理層 ネットワークコーディングの研究	実 施 年 度 29 ～ 30 年度
代 表 研 究 者	所 属	岡山大学・大学院・自然科学研究科・産業創成工学専攻	
	氏 名	田 野 哲	印
<p>1. 研究の目的・背景</p> <p><b>【背景(1):マルチホップネットワークの利用】</b></p> <p>電力消費量あるいはガス使用量の検針のためにスマートメータが普及しつつある。スマートメータの A ルートの一部では無線マルチホップネットワークの適用が検討されている。無線マルチホップネットワークは、送信される情報量が少なければ、安定した通信が可能である。ところが将来、スマートメータシステムが高度化され、送信される情報量が増大すると、伝送効率が著しく低下し、結果として大きな伝送遅延が発生する。しかし現状では情報量が少ないこと等を理由に、伝送効率低下問題が検討されていない。</p> <p><b>【背景(2):IoTを支える無線ネットワーク】</b></p> <p>現在、様々なデバイスをインターネットに接続し、インターネット技術を活用することで、現実の世界をさらに高機能化を図る IoT(Internet of things)の研究が盛んに進められている。実際、デバイスをインターネットに繋ぐ無線通信技術が IoT の中心的役割を果たすため、第五世代移動無線通信システムや WiSUN が検討されているが、何の場合もマルチホップネットワークの利用が想定されている。IoT では身の回りの殆どのデバイスに通信機能を搭載する。従って、端末の数が膨大になる。結果としてネットワーク全体の通信量が膨大になる可能性がある。また、アプリケーションによっては伝送遅延に対し厳しい制約があるものがある。即ち、大容量で低遅延の無線ネットワークが要求される。しかるに、上記同様に、一つのデバイスの送信量が少ないことを理由に、この問題点を取り上げている研究はほとんど無い。</p> <p><b>【目的】</b></p> <p>本試験研究では将来のスマートメータや IoT のサービス品質向上をめざして、物理層ネットワークコーディングによる無線マルチホップネットワークの伝送効率向上を目的とする。これにより伝送効率を向上させ、伝送遅延を低減させる。本研究成果により、スマートメータの高度化に加えて、通信速度や伝送遅延等の QoS に厳しい要求がある様々な IoT の実現を促進する。</p>			

## 2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

### 2.1 マルチホップネットワークへの物理層ネットワークコーディング

**無線リンクの高速化：**初期検討として、16QAM 変調を用いた2ホップネットワークの高速化を検討した。その結果、中継端末の演算量を削減しつつ高い伝送特性を達成する利得制御を行う新しいプリコーディング法を考案した。考案したプリコーディングを適用したマルチホップネットワークにおける中継端末の通信品質を図1に示す。点線で示された従来法と比較して提案法は優れた伝送特性を達成している。さらにこれを1024QAMまでの多値変調に拡張した。その特性を図2に示す。同図に示すように十分な受信電力があれば高速化が可能になることを示した。これによりスター型マルチホップネットワークにおいて、高速通信が要求されるゲートウェイ付近に多値変調の適用が可能になり、ネットワーク全体の効率を4～5倍に向上できる見込みが得られた。ゆえに、達成率は100%である。

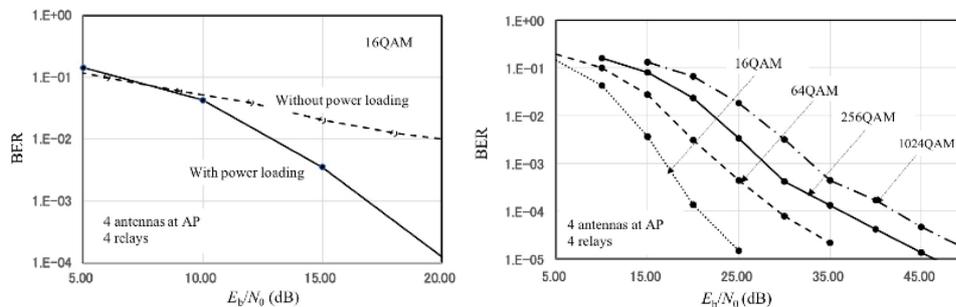


図1 提案法による中継端末の特性(16QAM) 図2. 多値変調適用時のシステムの特性

**現実的なモデルへの拡張：**従来想定されていた端末アンテナ数と中継端末の数が等しい、必ずネットワークコーディングをするパケットが存在する等の非現実的な仮定を取り除き、特にアンテナ数が不均一の場合に適用でき、高い品質を達成するプリコーディング法を考案した。従って、本項目の達成率は100%である。

**端末スリープ制御方式とその効果：**中継端末が非常に多い場合には、全ての中継端末を稼働させる必要はない。そこで、より効率の良い中継端末を選択し、それ以外をスリープさせる方式を提案した。その特性を図3に示す。適応的な選択により不要な端末をスリープさせるだけでなく高い伝送特性が達成できることも示した。従って、達成率は100%である。

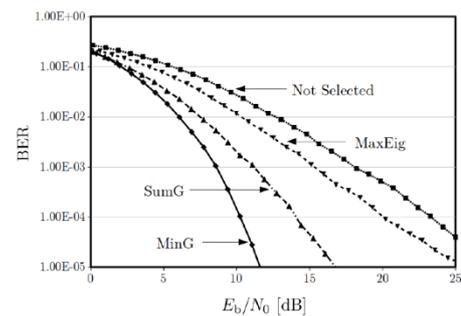


図3. 端末スリープ制御による特性

**消費電力の理論モデルに基づく電力消費解析：**消費電力モデルは数多く提案されており、それらの調査を行った。調査の結果、妥当なモデルはできたが、これを用いて評価するまでには至らなかった。従って、達成率は70%である。

### 3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

当初計画よりも多少金額が減額されたため、設備購入計画を変更した。例えば、ソフトウェアツール matlab の購入は断念した。また、本財団から助成された研究の成果をまとめて論文を投稿したが、査読に時間を要したために研究期間に掲載されないこととなった。（2019年10月掲載予定）従って、論文掲載費を支出することができなかった。

その代わりに、本研究における計算機シミュレーション結果の解析のため、解析能力に優れた小型で高性能な計算機を購入した。また当初予定通り、様々な研究機関・大学で実施されている日本最先端の研究やその実用化動向を探るために、様々な学会に参加した。加えて当初予定通り、参加した学会のいくつかにおいて我々の研究成果を発表した。さらには、当初予定のものと型式は異なるが、より高性能な CPU (Central Processing Unit) を搭載した計算機サーバーを研究実施のために当初予定通り購入した。

### 4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

物理層ネットワークコーディングの研究として、端末にプリコーディングを行うことで中継局の演算量を低減しつつ高い伝送特性が得られることが示されたのみで、今後、様々な研究の発展性がある。例えば、今回は高速化のために多値変調の導入法を提案したが、これをネットワークの状況に応じて変化させる適応変調の導入法や、プリコーディングの高機能化、あるいは中継局側に新たに信号処理技術を導入することによるさらなる高速化等、様々な発展が期待できる。また、今回は基本的な検討しかできなかった端末のスリープ制御を発展させれば、ネットワークのアクセス技術・ネットワークトポロジーの制御などの研究に繋がっていく。即ち、物理層ネットワークコーディングの研究は未だ緒についたばかりであり、今後の大きな発展が期待される。本研究はその礎になるものと考えられる。

一方、マルチホップ無線中継ネットワークはスマートメーター等のネットワーク（例えば、WiSUN: Wireless Smart Utility Network）等で実用化されている。現在はスマートメータに加えて、所謂、IoT (Internet of things) を支える技術としてマルチホップ無線中継ネットワークが盛んに検討されている。スマートメータ等で送信される情報量は未だ決して膨大とは言えない状況であり、ネットワークの逼迫が問題になるレベルではないので、我々の高速かつ周波数利用効率の向上を可能にする技術が、直ぐに利用される状況にはないが、他の論文等でも指摘されているように、IoT の発展と共にネットワークが混雑してゆけば、本研究の成果が実用化される可能性は十分にある。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

[1] Satoshi Denno, Yuto Nagai, and Yafei Hou,

"XOR Physical Layer Network Coding with Non-linear Precoding for Quadrature Amplitude Modulations in Bi-directional MIMO Relay Systems," IEICE Trans. Commun., Vol.E102-B, No.10, pp.-, Oct. 2019. (Accepted)

[2] Yuto Nagai and Satoshi Denno,

"Non-linear Precoding with Per-stream Power Control for 16QAM Physical Layer Network Coding in MIMO Relay Channels," Proceedings of the 14th IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications symposium (IEEE VTS APWCS 2017), Incheon, Korea, Aug. 24-25, 2017.

[3] 山本和菜, 田野 哲, 侯 亜飛

"XOR 物理層ネットワークコーディングにおける中継局選択法," 電子情報通信学会短距離無線通信研究会, SRW2018-51, pp.31-36, Dec. 2018.

[4]長井勇人, 田野 哲, 侯 亜飛

"非線形プリコーディングを適用した 16QAM -PLNC におけるパワーローディング法に関する検討," 電子情報通信学会 総合大会, B-5-7, 2018.

[5]長井勇人, 田野 哲

"非線形プリコーディングを適用した 16QAM -PLNC におけるパワーローディング法に関する検討," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-76, 2017.