



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on Advanced Systems for a Low Power Wide Area Wireless Network of IoT Devices [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	山口, 歌奈子
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14136号
Issue Date	2020-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/78244
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Kanako_Yamaguchi_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 山口歌奈子

審査担当者 主 査 教 授 大鐘 武雄

副 査 教 授 宮永 喜一

副 査 教 授 齊藤 晋聖

副 査 准教授 西村 寿彦

学位論文題名

Study on Advanced Systems for a Low Power Wide Area Wireless Network of IoT Devices

(IoT システム向け長距離無線通信方式の高度化に関する検討)

近年, M2M (Machine to Machine) 通信や IoT (Internet of Things) システムの普及に伴い, 比較的少量のデータを間欠的かつ広範囲に通信する LPWA (Low Power Wide Area) ネットワークの需要が急速に高まり, ISM バンドを利用した LoRaWAN, Sigfox や, LTE 標準規格を利用した NB-IoT (Narrow Band-IoT), LTE-M 等のサービスが提供され始めている. 今後のさらなる IoT システムの発展を見据え, ITU-R では将来の無線通信システムにおけるユースケースとその要求条件として, (1) 機器制御信号を伝送可能とする高信頼性, (2) 監視カメラ動画等を伝送可能とする大容量性, (3) 増加を続けるネットワーク接続端末を収容可能とする多数端末収容性, の 3 点を勧告した. 本勧告を鑑みると, 将来の IoT システム実現にはユースケースごとに適した無線通信システムの適用が求められるといえる. 本論文では将来の IoT システム実現に向け, “高信頼性”, “大容量性”, “多数端末収容性” の観点から長距離無線通信方式の高度化に関する検討を行っている.

第 1 章では, 以上の背景と課題を述べるとともに, 3 つのユースケースそれぞれに対して, 本論文で提案するに至った高度化技術の概要や利点について簡単に述べている.

第 2 章では, “高信頼” な長距離通信の実現を目指し, 電力効率が良い FSK 方式に, 簡易な構成でダイバーシチ利得を獲得可能な STBC (Space-Time Block Coding) 方式の適用が検討されている. このとき, STBC 符号化規則の影響により符号化後の信号における包絡線変動量が増大するため, 電力効率の低下が問題となる. そこで, FSK シンボルごとに位相回転処理を付加する位相回転送信ダイバーシチ方式が提案された. また, 長距離通信を実現する同期検波方式では伝送路推定が必須である. しかし, 推定精度向上のために多数の既知 (パイロット) 信号を挿入した場合, 伝送効率が低下してしまう. これを回避するため, FSK 信号の初期位相が一意に決定される性質に着目し, 既知信号の挿入なしに高精度な推定を実現するパイロットレス同期検波 FSK システムを提案している. 計算機シミュレーションによる評価の結果, 位相回転送信ダイバーシチ方式の適用により従来方式と比

較して包絡線変動量の増大を 10 dB 改善可能であることを明らかにした。また、提案システムでは高速移動環境においても既知信号の挿入なしに高精度な推定を実現し、良好な特性が得られることが示された。

第 3 章では、“大容量化”の実現に向けた検討が行われている。伝送容量の拡大には変調多値数の増加が必要となるため、伝送距離の低下が課題であった。これに対し、電力正規化の適用により多値変調方式の適用を可能とする PN-DSTBC (Power Normalized-Differential STBC) 方式と、多重された信号を異なる周波数で伝送することにより周波数ダイバーシチを実現する周波数符号化方式を連接する周波数・空間 2 次元ダイバーシチが検討された。これらの方式を単に接続した場合は、受信側において DSTBC 復号後の等価雑音分散の偏りが要因となり後段の周波数復号特性が劣化するため、等価雑音分散の偏りを一様とする補正係数の適用が提案された。計算機シミュレーションによる評価の結果、PN-DSTBC 方式と周波数符号化方式を単に接続した場合は変調多値数の増加に伴い特性改善効果が減少し PN-DSTBC 方式単体よりも特性が劣化するのに対し、提案の補正係数を導入することによりいずれの変調多値数においても特性を改善できることが明らかとなった。

第 4 章では、“多数端末収容”の一助となるマルチユーザ MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) システムに関して検討されている。マルチユーザ MIMO システムでは、ユーザ間干渉等による特性劣化に対し、伝送路情報に基づいたプリコーディングにより干渉抑圧を実現するブロック対角化法の適用が有効である。しかし、一般に無線通信システムは時変動環境であり、プリコーディング行列生成から実際に送信するまでの間に伝送路が変動すると、干渉抑圧効果の低減を招く。これに対し、伝送路予測を適用し、特性改善を図る。屋内伝搬測定結果を用いた評価の結果、いずれの環境においても提案の伝送路推定手法を適用することにより特性改善が可能であることを明らかにした。また、予測範囲を移動距離 0.1 波長以内とした場合はスループット特性の劣化を 1/5 以下に低減可能であることがわかった。

第 5 章では、これまでの各提案と特性評価結果をまとめ、結論を述べている。

これを要するに、著者は、将来の IoT システムの実現に向け、“高信頼”、“大容量”、“多数端末収容”という 3 つのユースケースそれぞれに対して、位相回転送信ダイバーシチを適用した狭帯域パイロットレス同期検波 FSK 方式、QAM 伝送を可能とする等価雑音分散補正型周波数・空間 2 次元ダイバーシチ方式、および、伝送路予測手法を用いたマルチユーザ MIMO システムが有効であることを明らかにした。それぞれの要求条件を満足する解を適切に設計し得ることを具体的に示した点で、無線通信工学に貢献するところ大なるものがある。よって、著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。