

2-2 多数デバイス接続ワイヤレス技術に関する研究開発

滝沢賢一 森山雅文 大堂雅之 表 昌佑 手塚隼人 村上 誉 石津健太郎 児島史秀

IoT時代においては、膨大な数のセンサー等から送信される小サイズデータを、周波数利用の観点から高い効率で収容する無線アクセス技術が求められる。さらに、IoTデバイスには、ドローンや自動走行運転車など、低遅延接続を求めるデバイスにも搭載されることが予想されている。このようなIoT時代において求められる無線アクセス技術を実現するため、同一時間・同一周波数を複数の端末局で共用して、さらに送信制御を簡素化することによる低遅延接続を可能とする無線アクセス技術の研究開発に取り組んでいる。この無線アクセス技術を実現するために、同時接続と低遅延接続を可能とする無線フレーム構成の設計と、同時接続する端末局間で生じる干渉を抑圧・除去する信号処理方法について、計算機シミュレーション及びハードウェア実装における性能評価を進めている。この無線アクセス技術によって、同一時間・同一周波数に対して、複数アンテナ等を利用することなく、5台以上の端末局との同時接続を5ミリ秒以下の遅延時間で実現することを目標として、研究開発を進めている。

1 まえがき

第5世代移動通信システム(5G)は、超高速、低遅延、多数接続等がシステム要件とされ、その実現に向けた研究開発が世界各国で進められている。特に、従来の移動通信システムと異なり、IoTの基盤となることが期待されており、膨大な数の端末が基地局に接続されるとともに、多種多様なサービスが提供されることが見込まれている[1]。

多数接続とともに、自動走行のような低遅延を必要とするサービスの提供も期待されており、基地局と同時接続可能な端末数の増加を実現しつつ低遅延を実現する技術が必要となる。センサーなど膨大な数のモノが接続されるIoT環境において、無線リソース要求や送信許可の制御なしに通信を行う無線アクセス技術は、多数接続と低遅延を可能とする技術であるものの、接続する端末数が増加すると信号の衝突確率が上昇するため、多数接続時における信号衝突の効率的な検出を行うことが課題となる。

この課題を解決するため、多数接続と低遅延を両立する送信端末識別技術と干渉抑圧・除去技術を備えた無線アクセス技術に関する研究開発に取り組んでいる。既存の無線アクセス技術では、基地局またはアクセスポイントにおけるアンテナ1本に対して、同一時間・同一周波数を利用して接続可能な端末数は1台となるのに対して、この無線アクセス技術では複数端末との同時接続を実現する。

2 無線アクセス方式の開発

図1に同時接続と低遅延を実現する無線アクセス技術の概要を示す。この無線アクセス技術では、同一時間・同一周波数を複数端末で共用することで周波数利用効率を向上させて、端末局がデータ送信時に基地局に対して行う送信開始要求を最小化するグラントフリー伝送を採用することで遅延時間を低減している。この無線アクセス技術を実現するためには、同一時間・同一周波数を複数の端末で共用することから、同時接

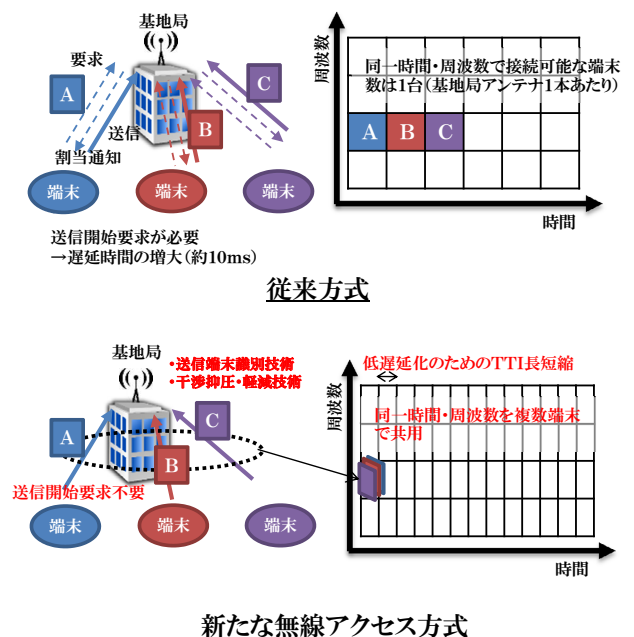


図1 同時接続と低遅延を実現する無線アクセス技術の概要

2 地上通信技術の研究開発

続する端末局の識別技術及び端末局間干渉の抑圧・除去技術が必要になる。これらの要素技術に関して次に述べる。なお、無線アクセス技術の設計においては、IoT デバイスを対象とした無線アクセス技術の利用が想定されるシナリオ [2] を踏まえて、占有するチャネル帯域幅は 1.08 MHz とする。

2.1 無線フレーム構成

ここでは、端末局から基地局へのデータ伝送を行う上り回線を対象として、その無線フレーム構成について述べる。図 2 に無線フレームの基本構成を示す。無線スロットは 500 マイクロ秒の時間長を有して、250 マイクロ秒のリファレンス信号及びデータ信号から構成される。リファレンス信号は、端末局の識別と各端末局と基地局間の通信路特性の推定を行う目的で使用される。データ信号は、端末局から送信されるデータ伝送を目的として使用される。リファレンス信号とデータ信号を連続して送信することで、無線区間における伝送遅延の最小化を行っている。

リファレンス信号の構成について述べる。リファレンス信号としては直交系列を用いることで、複数端末局から同時に信号が送信された場合でも、送信端末局を識別するとともに、データ信号の復調及び復号に必要となる通信路特性の推定を行う。本研究開発では、直交系列として LTE-A でも使用されている Zadoff-Chu 系列を採用する。この系列を用いる場合、各端末局からの信号が干渉しないように通信路特性を推定するためには、Zadoff-Chu 系列に対して有効パスの最大伝搬遅延時間以上の巡回シフト数を与えた系列を、各端末局に割り当てる必要がある。ここで、最大伝搬遅延時間は、5 G の無線アクセス方式の標準技術仕様の策定に向けた電波伝搬モデル [4] によれば、見通し外環境モデルのうち遅延時間が最大となるモデルは TDL-A であって、有効パスの最大遅延時間は約 3.5 マイクロ秒となる。また、端末局から基地局までの伝搬遅延は、基地局間距離を 1153 m とし、都市部マクロセルを仮定すると、3.8 マイクロ秒となる。以上から、リファレンス信号における直交系列の巡回シフト数は 7.3 マイクロ秒相当以上にする必要があり、あわせて局間同期誤差を考慮して、16.7 マイクロ秒に相当する 18 サンプルを直交系列の巡回シフト数とする。同時接続数の最大値として 12 台の収容を考えると、系列長は 216 以上とする必要があり、本研究開発において Zadoff-Chu 系列長は 223 とする。図 2 に示したように、この系列を巡回拡張した系列長 225 の系列に対して、長さ 20 サンプル (18.5 マイクロ秒相当) のサイクリックプレフィックス (Cyclic Prefix: CP) を付与して、リファレンス信号とする。図 3 に巡回シフ

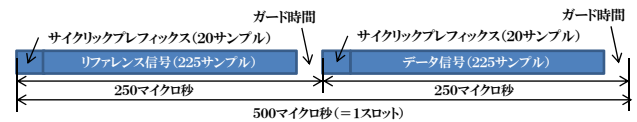


図 2 無線フレームの基本構成 [3]

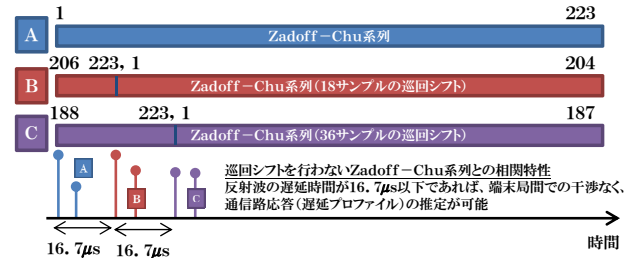


図 3 リファレンス信号の構成イメージ



図 4 データ信号生成におけるブロック図

トを適用した際のリファレンス信号の構成イメージを示す。このように端末局ごとに異なる巡回シフト数を与えることで、基地局が複数局からのリファレンス信号を同時に受信した場合においても、送信端末局の識別が可能になる。grant free 伝送においては、grant free とする grant を端末局に送信する際、端末識別を目的とした端末固有の巡回シフト数の割当てを行うことになる。

次にデータ信号の構成について述べる。図 4 には、各端末局におけるデータ信号における情報ビットへの処理を示す。情報ビットはスクランブラ処理を行った後、8 ビット巡回冗長検査 (Cyclic Redundancy Check: CRC) 符号化を行う。その後、ターボ符号化 (符号化率は 1/2 または 1/3、拘束長 4) を行い、QPSK または 16 QAM によって伝送する。変調波形を構成した後、CP を付与して送信信号を構成する。図 2 に示したように、本無線アクセス方式における無線フレーム構成では、ガード時間を後続の時間スロットを利用する信号との干渉を防ぐ目的で設定している。符号化率と変調方式との組み合わせによって、単位データ信号区間において伝送可能な情報ビット数 (メッセージサイズ) を 17 バイトから 54 バイトまで可変とする。mMTC に対する利用シナリオ [2] においては 20 バイトのメッセージサイズが想定されていることから、このシナリオを対象とした設計となっている。

2.2 干渉抑圧・除去技術

ここではデータ信号における干渉抑圧・除去技術について述べる。グラントフリー伝送において、リファレンス信号は端末局固有の巡回シフト数が直交系列に対して与えられていることから信号分離は可能であるものの、データ信号は直交系列ではないことから、端末局間干渉の抑圧・除去が必要になる。同一時間・同一周波数を共用するすべての端末局は同一の符号化率及び変調方式を用いることを仮定して、リファレンス信号から推定した通信路特性を用いて、端末局間干渉の抑圧・除去を行う。方法としては、図5に示す2つの方法(逐次型と並列型)について評価を行う。

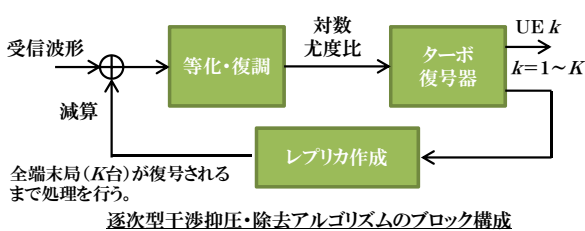
逐次型においては、受信信号電力が高い順に復調・復号を行い、CRC判定の結果から誤りなしと判定された場合には信号レプリカを作成して、これを受信信号波形から減算することで干渉抑圧・除去を行う。ただし、復調・復号が成功するためには、所望の信号対干渉電力比(Signal-to-Interference Ratio : SIR)が得られることが条件となる。一方、演算量は接続端末数の増加に対して線形的に増加することから、後述の並列型と比較して処理遅延は少なく済む。

並列型においては、受信波形と通信路特性の推定値から、各端末局からの送信信号の全組み合わせに対して尤度を計算して、その結果から各端末局から送信された符号語ビットの対数尤度比を計算する。その後、ターボ復号器において復号処理を行い、得られた外部情報をフィードバックして尤度更新を行うことで送信

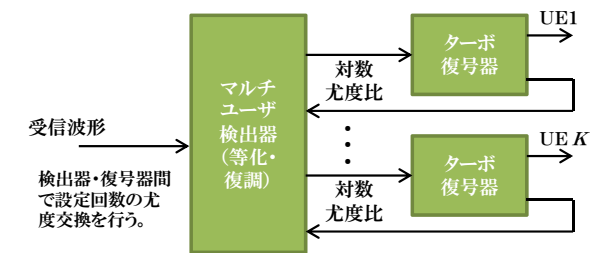
データを推定する方法である。逐次型とは異なり信号対干渉電力比に対する制約はないものの、すべての送信信号の組み合わせを考慮することから、演算量は接続端末数の増加に対して指数的に増加する。

2つの方法に対する性能評価結果を図6に示す。信号対干渉電力比を変えた時の信号分離成功台数のヒストグラムを示している。同時接続数は5台として、横軸に分離成功した端末台数を示している。変調方式はQPSK、ターボ符号の符号化率は1/3として、10,000回の試行を行った。リファレンス信号については、端末局ごとに異なる巡回シフト数を与えて、干渉抑圧・除去処理においてはリファレンス信号から推定値した通信路特性を用いた。性能評価結果より、逐次型においては、90%以上の分離成功確率を得るためには、SIRを3 dB以上にする必要があることがわかる。一方、並列型では、SIRは0 dBであっても、90%以上の分離成功確率で信号分離が可能であることがわかる。

これらの干渉抑圧・除去技術について、実環境における動作実証を目指して、ハードウェア上における動作検証を進めている[11][12]。また、この無線アクセス技術によって実現可能となる収容端末数について、送信開始要求を最小化するグラントフリー伝送を用いた際における評価もあわせて行っている[13]。本研究開発の目標である5ミリ秒以下の遅延時間を実環境においても満たせるよう、干渉抑圧・除去アルゴリズムの改修を進めていく。



(a) 逐次型 [3][5]-[8]



並列型(マルチユーザ検出型)干渉抑圧・除去アルゴリズムのブロック構成

(b) 並列型 [6][9][10]

図5 干渉抑圧・除去技術の概要

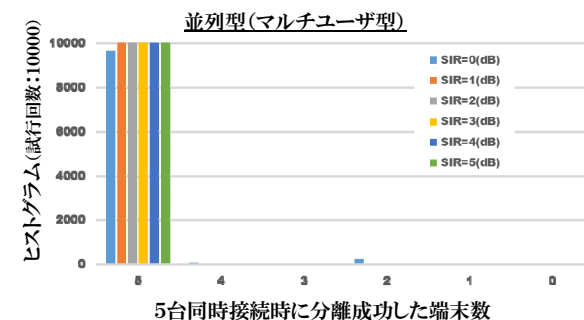
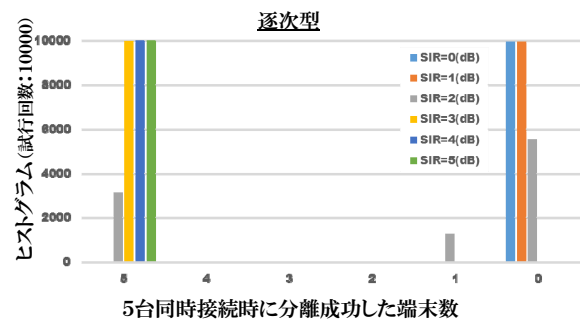


図6 干渉抑圧・除去技術に関する性能評価結果

3 今後の展望

本稿では、膨大な数のIoTデバイス端末からの小サイズデータを高効率かつ低遅延でネットワークに收容するための無線アクセス技術の実現を目指した研究開発について述べた。周波数利用効率を向上させるために同一時間・同一周波数を複数端末局で共用可能として、遅延時間を低減するために送信開始要求を不要とするグラントフリー伝送を用いた無線アクセス技術の研究開発を進めている。今後は、屋外等において利用シナリオに準じた環境における性能評価を進めていく予定である。

謝辞

本研究は、総務省から受託した電波資源拡大のための研究開発課題「多数デバイスを收容する携帯電話網に関する高効率通信方式の研究開発」によって行われたものである。

【参考文献】

- 1 Rec. ITU-R M.2083-0, IMT Vision -- Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond, Sept. 2015.
- 2 3 GPP TR 38.913, Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies, 2017.
- 3 森山, 滝沢, 手塚, 大堂, 村上, 石津, 児島, “多数デバイスを收容する携帯電話網に関する高効率通信方式 — フレーム構成と伝搬路推定技術に関する基礎検討—,” 信学技報, RCS2016-175, pp.119-124, 2016年10月.
- 4 3 GPP TR 38.900, Study on channel model for frequency spectrum above 6 GHz, 2017.
- 5 森山, 滝沢, 手塚, 大堂, 村上, 石津, 児島, “多数デバイスを收容する携帯電話網に関する高効率通信方式 — 伝搬路推定方法と逐次干渉除去に関する基礎検討—,” 信学総大, 2017年3月.
- 6 森山, 滝沢, 手塚, 大堂, 表, 村上, 石津, 児島, “多数デバイスを收容する携帯電話網に関する高効率通信方式 — 逐次型干渉抑圧・除去とマルチユーザ検出型干渉抑圧・除去に関する検討—,” 信学技報, RCS2017-5, pp.23-28, 2017年4月.
- 7 森山, 滝沢, 手塚, 大堂, 村上, 石津, 児島, “多数デバイスを收容する携帯電話網に関する高効率通信方式 — 周波数領域における選択ダイバシティを用いた端末間干渉抑圧除去技術—,” 信学技報, RCS2017-52, pp.13-18, 2017年6月.
- 8 滝沢, 森山, 大堂, 手塚, 表, 村上, 石津, 児島, “多数デバイスを收容する携帯電話網に関する高効率通信方式 — 同時接続時における逐次型干渉抑圧・除去アルゴリズムの実装評価—,” 信学技報, 2017年7月.
- 9 滝沢, 森山, 手塚, 大堂, 村上, 石津, 児島, “多数デバイスを收容する携帯電話網に関する高効率通信方式 — 干渉抑圧・除去技術に関する基礎検討—,” 信学技報, RCS2016-175, pp.119-124, 2016年10月.
- 10 滝沢, 森山, 大堂, 表, 手塚, 村上, 石津, 児島, “多数デバイスを收容する携帯電話網に関する高効率通信方式 — ユーザ端末間干渉抑圧除去処理に関する一検討—,” 信学技報, 2017年7月.
- 11 手塚, 森山, 滝沢, 大堂, 村上, 石津, 児島, “多数デバイスを收容する携帯電話網に関する高効率通信方式 — 計測器等を用いた干渉除去に関する基礎的評価—,” 信学総大, 2017年3月.
- 12 手塚, 森山, 滝沢, 大堂, 表, 村上, 石津, 児島, “多数デバイスを收容する携帯電話網に関する高効率通信方式 — 伝搬路推定技術及び端末間干渉抑圧・除去技術に関するハードウェア実証—,” 信学技報, 2017年7月.
- 13 表, 手塚, 森山, 滝沢, 大堂, 村上, 石津, 児島, “多数デバイスを收容する携帯電話網におけるグラントフリーマルチアクセスの性能評価,” 信学技報, RCS2017-53, pp.19-23, 2017年6月.

滝沢賢一 (たきざわ けんいち)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター
ワイヤレスシステム研究室
研究マネージャー
博士(工学)
移動通信、水中通信、生体通信、画像符号化

森山雅文 (もりやま まさふみ)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター
ワイヤレスシステム研究室
研究員
博士(工学)
無線通信、信号処理

大堂雅之 (おおどう まさゆき)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター
ワイヤレスシステム研究室
主任研究員
博士(工学)
無線通信、物理層

表 昌佑 (びょう ちゃんう)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター
ワイヤレスシステム研究室
主任研究員
博士(工学)
無線通信、アクセス制御

手塚隼人 (てづか はやと)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター
ワイヤレスシステム研究室
協力研究員
無線通信、信号処理

村上 誉 (むらかみ ほまれ)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター
ワイヤレスシステム研究室
主任研究員
移動通信システム、周波数共用

石津健太郎 (いしづ けんたろう)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター
ワイヤレスシステム研究室
研究マネージャー
博士(情報科学)
移動通信システム、周波数共用

児島史秀 (こじま ふみひで)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター

ワイヤレスシステム研究室

室長

博士(工学)

無線通信、無線アクセス制御