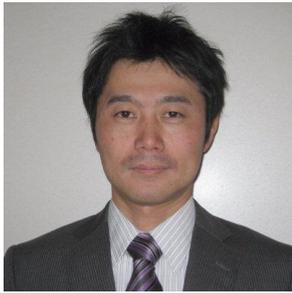


小量データを発生する大量無線通信機器群からの情報収集に適した無線アクセス方式

Radio access for data collections from a massive number of wireless devices generating short packets



四方 博之 (Hiroyuki YOMO, Ph. D.)

関西大学 システム理工学部 教授

(Professor, Faculty of Engineering Science, Kansai University)

IEEE 電子情報通信学会

受賞：電子情報通信学会論文賞 (2017 年) 第 27 回電気通信普及財団テレコムシステム技術賞 (2011 年) 船井情報科学振興財団 第 10 回 船井学術賞 (2010 年) IEEE Globecom 2009 Best Paper Award (2009 年) 等

著書：Software Radio: Technologies and Service, Springer, 2001 (共著)

研究専門分野：無線通信方式 通信ネットワーク 無線資源割当 無線センサネットワーク

あらまし IoT (Internet of Things) や M2M (Machine-to-Machine) と呼ばれる通信パラダイムでは、各種センサから出力される小量データを格納した小パケットを送信する大量の通信機器が限られた無線通信資源を用いて一斉に送信を試みる。これらの通信に伴うパケット衝突を無線資源利用効率および電力効率の観点から効率的にサポートするための無線アクセス方式の実現が求められている。本研究では、通信機器のアクセス制御を行う MAC (Medium Access Control) プロトコル*1 と物理層レベルでの干渉除去技術を有機的に組み合わせたアクセス方式に注目し、その方式の恩恵を受け無線資源利用効率を向上しつつ、各通信機器の低消費電力動作を実現するための無線アクセス方式の提案を行った。そして、計算機シミュレーションによる詳細評価を通して、その有効性を示した。提案方式を用いることにより、周波数利用効率を高めつつ、大量に存在する無線通信機器のバッテリー長寿命化を実現できる。

1. 研究の背景・目的

IoT 社会では、無線通信機能を搭載した莫大な数のモノがインターネットに接続するものと予想されている[1]。この莫大な数の通信機器を収容する無線通信システムとして、LTE*2 やその後継システムである第 4・5 世代移動体通信システムの適用が考えられている。

多くの IoT 機器は、設置の容易性やモビリティを提供するためにバッテリーによる電力供給が想定されている。そのため、機器の低消費電力動作を実現し、バッテリー交換コストを低くする必要がある。また、IoT 機器の通信形態としては、センサから取得するセンシングデータ等の小量データを各々の送信タイミングで自律的に送信するものが一般的である。このような通信モデルでは、各機器がその通信タイミングを自律的に決定するアクセス制御方式であるランダムアクセス*3 の利用が適している。しかし、移動体通信システムに割り当てられる周波数帯域は有限であることから、通信機器数の増加に伴い、ランダムアクセスによるパケット衝突率が増加する。この問題を解決するためには、限られた周波数帯域を用いて効率よくランダムアクセスを行う必要がある。

ランダムアクセスの効率を向上する手段として、フレームアロハ方式*4 と干渉除去技術を有機的に組み合わせた Contention resolution diversity slotted ALOHA (CRDSA) が提案されている[2]。フレームアロハ方式に代表される従来の MAC プロトコルは、パケット同士の衝突を避けるための工夫が施される。これに対し、CRDSA では、敢えてパケット衝突を誘発するように、各機器が冗長な通信を行う。そして、物理層での干渉除去技術を活用し、衝突したパケットの復号を実現する。このように、冗長なパケット送信と干渉除去をうまく組み合わせることにより、従来のフレームアロハ方式に比べ CRDSA のランダムアクセス効率が大きく改善されることが報告されている。しかし、CRDSA では、1 フレーム内で同一パケットを複数回送信する必要があり、CRDSA を IoT 機器の通信に適用するとパケット送信による各機器の消費電力が増加する。本研究では、この問題を回避し、周波数利用効率の向上を実現しつつ、各機器の低消費電力動作を実現する無線アクセス方式の提案を目的とした。

小量データを発生する大量無線通信機器群からの情報収集に適した無線アクセス方式

Radio access for data collections from a massive number of wireless devices generating short packets

費電力化が求められるため、干渉除去効果を活用しつつ、各機器の packets 送信による消費電力を抑制する必要がある。そこで、本研究では、CRDSA による通信機器の消費電力増加を抑制するために、干渉除去および中継器を用いたランダムアクセス法を提案した [3][4]。本提案法では、通信エリア内に複数個の中継器をランダムに配置する。中継器は IoT 機器に比べ少数であり、電源供給が可能な場所に設置されるものとする。通信機器は、1 フレーム内で packets を一回受信機に対して送信する。通信機器の送信 packets のヘッダには、CRDSA と同様に packets 送信に使用するスロット情報を格納する。通信機器の通信範囲内に中継器が存在すれば、機器の送信 packets は受信機に加え、中継器でも受信される。提案法では、中継器が正しく受信した packets を受信機に転送することで、CRDSA に必要となる同一 packets の冗長送信を実現

する。中継器の packets 転送もランダムアクセスにより行われ、そのための無線資源は機器と共有するものとする。提案法では、中継器は、あるフレームで機器から packets を受信すると、その次のフレームで受信機に転送する。packets 転送では、一様な確率で送信フレーム中のスロットを 1 つ選択し、そのスロットを使用して packets 送信する。ここで、中継器は電力による制限が少ないため、高度な変調方式^{*5}を採用でき、多値数^{*6}を多くできる。これにより、中継器 - 受信機間のリンクは高伝送レートとなるため、中継器は 1 フレーム内で到着した複数の packets を結合して、その次のフレームで転送する [5]。

提案法である中継器および干渉除去を用いたランダムアクセス法の動作例を図 2 に示す。ここでは、3 台の通信機器、1 台の中継器、1 台の受信機が存在し、3 つのスロットで構成されるフレームが繰り返されるものとする。

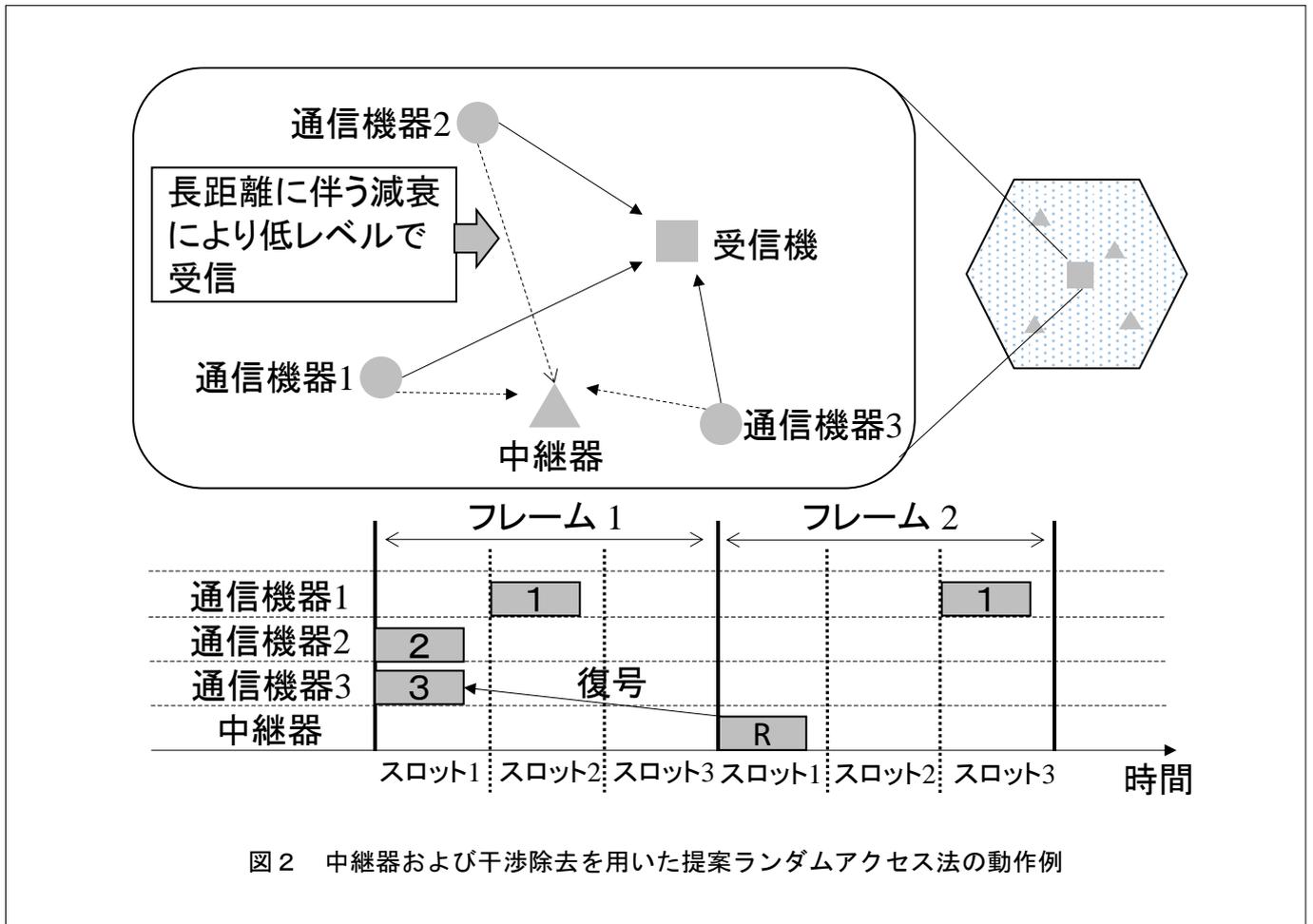


図 2 中継器および干渉除去を用いた提案ランダムアクセス法の動作例

小量データを発生する大量無線通信機器群からの情報収集に適した無線アクセス方式

Radio access for data collections from a massive number of wireless devices generating short packets

1フレーム目のスロット1では、通信機器2と通信機器3が同時にパケットを送信しているため、受信機では、これらのパケットを復号できない。ここで、通信機器2の位置は、中継器から遠く離れているため、その信号は中継器に低い電力で届く。このため、中継器は、スロット1で送信された通信機器3のパケットを復号可能である。このため、中継器は、次のフレームで通信機器3から受信したパケットを受信機に転送する。このパケットのヘッダには、当該パケットが通信機器3により、1フレーム目のスロット1で送信されたという情報が含まれている。この情報に基づき、受信機は、通信機器2と通信機器3の衝突パケットから通信機器3のパケットを干渉除去技術により除去する。これにより、従来衝突により復号不可能であった通信機器2のパケットの復号が可能となる。

提案方式のシミュレーション評価結果の一例を図3に示す。詳細な評価パラメータについては、文献[4]を参照されたい。この評価結果は、通信機器数を10000、中継機数を12、受信機数を1とした時の結果である。

まず、従来のフレームアロハ方式 (Framed ALOHA) と比較し、干渉除去を活用したランダムアクセス方式である CRDSA (With IC) では、最大の受信成功数を大きく改善できていることが分かる。しかし、パケット到着率が大きくなりすぎると、パケット復号の“鍵”となる衝突無しでの受信パケット数が少なくなり、その特性が大きく劣化している。これに対し、提案方式では、最大の受信成功数を大きく改善するとともに、高いパケット到着率に対しても、良好な特性を得ていることが確認できる。これは、受信機で衝突したパケットが中継器では正しく受信され、受信機に転送されることで、パケット受信に成功する確率が上がるとともに、そのパケットを“鍵”とした干渉除去により、さらにパケットの復号成功率が向上するためである。特に、提案方式では、この良好な特性をフレームあたり1回の同一パケット送信で達成している点に注目されたい。CRDSA では、フレームあたり3回の同一パケット送信を採用しているため、提案方式は、CRDSA と比較し各通信機器のバッテリー持続時間を3倍にできる計算となる。

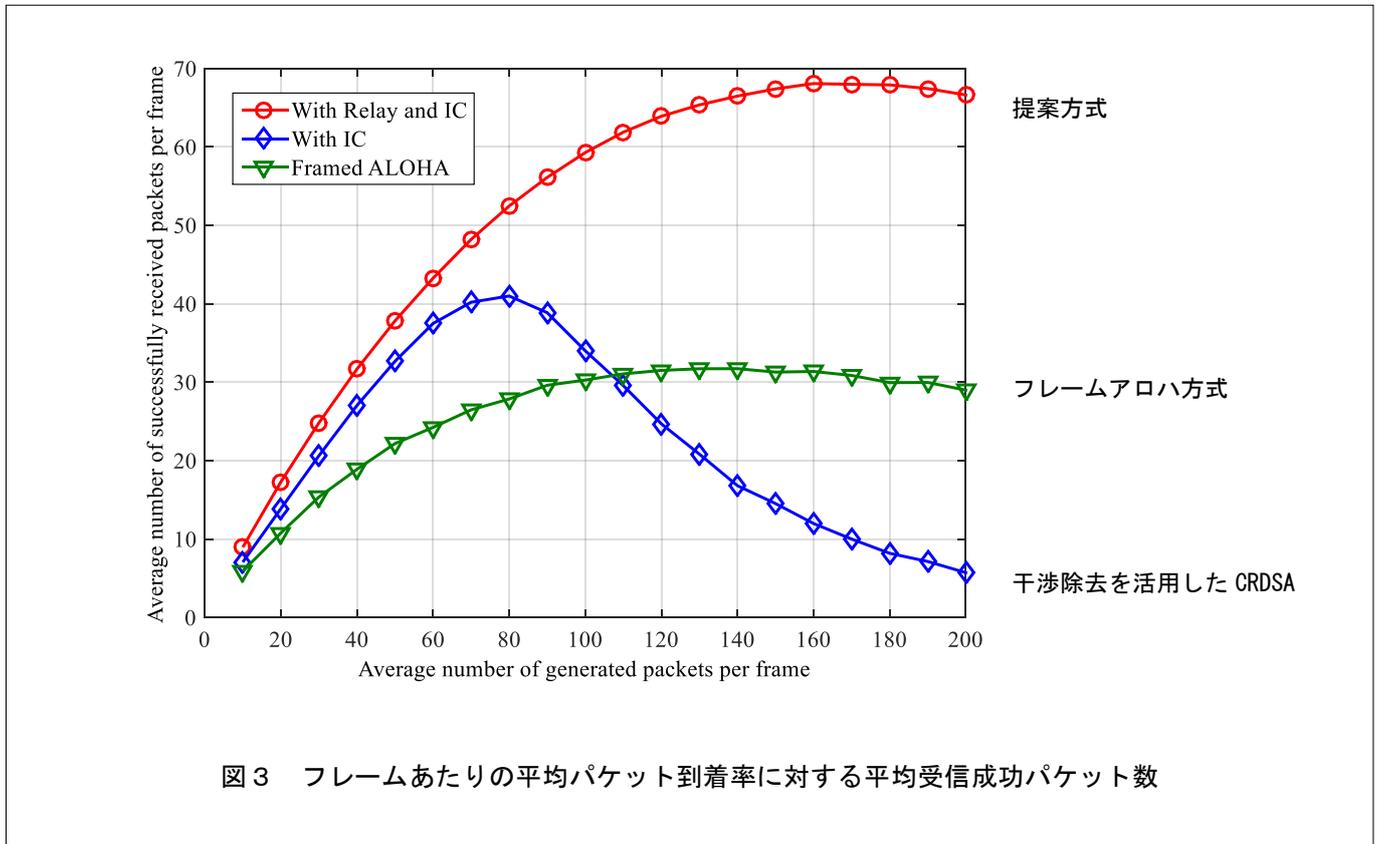


図3 フレームあたりの平均パケット到着率に対する平均受信成功パケット数

小量データを発生する大量無線通信機器群からの情報収集に適した無線アクセス方式

Radio access for data collections from a massive number of wireless devices generating short packets

4. まとめと今後の展開

本研究では、大量のIoT機器による通信を限られた無線資源でサポートするために、中継器と干渉除去技術を活用したアクセス方式を提案し、周波数利用効率および電力効率の観点からその有効性を示した。この結果は、10000台もの通信機器を収容する際に、12個程度の中継器を設置すれば、その効率を大幅に改善できることを示唆している。これは、IoT機器のように単純かつ低消費電力な通信機器を収容するためには、受信機や中継器など、インフラ側の機器を高度化することが有用であることを意味しており、今後、ますます増加するIoT機器を収容する際の無線通信システム設計に大きなヒントを与える結果である。

本研究で扱ったような小パケットは、今後、無線通信システムで収容すべきトラフィックタイプの主流の一つになるものと予想される。このような小パケットは、ヘッダなどの制御情報オーバーヘッドの影響が大きいため、今後、このオーバーヘッドを削減する新たな方法が必要になる。

用語解説

*1 MAC プロトコル

複数の通信機器が同一の通信媒体を用いる際に、機器の送信するパケットが互いに衝突しないように制御するためのプロトコル。

*2 LTE

携帯電話の通信規格の一つ。Long Term Evolution の略。

*3 ランダムアクセス

MAC プロトコルの一種。各通信機器が各々のパケット送信タイミングを自律的に決定する方式。

*4 フレームアロハ方式

ランダムアクセス方式の一種。各通信機器がフレームを構成するスロットの中からランダムに一つのスロットを選んでパケットを送信する方式。

*5 変調方式

送信データに基づき、搬送波の何らかのパラメータを変化させる方式。

*6 多値数

変調に際し、1つの送信シンボルあたりに送信できる情報数。

参考文献

- [1] S-Y. Lien, K-C. Chen and Y. Lin, "Toward ubiquitous massive accesses in 3GPP machine-to-machine communications," IEEE Communications Magazine, vol.49, no.4, pp.66-74, April 2011.
- [2] E. Casini, R. De Gaudenzi, and O. del Rio Herrero, "Contention resolution diversity slotted ALOHA (CRDSA): an enhanced random access scheme for satellite access packet networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 6, no. 4, pp. 1408-1419, April 2007.
- [3] 豊田優弥, 四方博之, "M2M 通信のためのランダムアクセスにおける中継器および干渉除去適用効果に関する一検討" 電子情報通信学会 無線通信システム研究会 2014年12月.
- [4] Y. Toyoda and H. Yomo, "Improving random access efficiency with uniformly deployed relays and interference cancellation for energy-constrained M2M devices," Proc. of IEEE 26th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC) 2015, August 2015.
- [5] 豊田優弥, 四方博之, "M2M 通信のためのランダムアクセスにおける中継器適用効果に関する一検討" 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会 2014年3月.

この研究は、平成24年度SCAT研究助成の対象として採用され、平成25～27年度に実施されたものです。