

無線リソース割り当て方式の適応範囲 An Applicable range of Wireless Resource Allocation Scheme

青木寛[†] 山口真司[†]
Hiroshi AOKI Shinji YAMAGUCHI

長谷川晃朗[†] 横山浩之[†]
Akio HASEGAWA Hiroyuki YOKOYAMA

1. はじめに

近年、製造やインフラなど様々な分野で IoT が利用されるようになり、これらには移動機器、配置の柔軟性等のために無線化が進められており、施設内の空間に多数の無線機器が設置される状況となっている。このように、密に配置された多数の無線機器が同時に通信を試みるような状況においては、通信衝突の頻発により遅延や信頼性の保証が難しくなる[1][2]。このような問題を解決するため、我々は無線リソースを各機器に適切に割り当て協調動作させるシステムの研究を進めている[3]。本稿では無線リソースの割り当てによる送信制約、遅延の影響を考慮し、無線リソース割り当て方式の適用範囲について報告する。

2. 無線リソースの分割とトラフィック割当て

無線リソースは有限であるため、複数の通信機器で無線リソースを共有するには、何らかの指標で無線リソースを分割し、分割した無線リソースを割り当てることで共有が可能になると考えている[5]。本稿では、Wi-Fi の 1 つのチャネルからなる無線リソースを、ネットワーク通信「帯域」および「時間」で分割し、分割した無線リソース（スライス）に対してトラフィックを割り当て、通信制御を行うことで、トラフィックの流れ方等、分割方法による特徴について検討を行う。製造システム等では、動作に必要な情報が決められた時間内に到着することでリアルタイム性が保持される[4]ため、画像等の大きなデータを分割したパケット全てが決められた時間内に到着するよう通信制御を行うことが重要になる。そのため、本稿では、「帯域」および「時間」で無線リソースを分割した場合に、どのように一塊の複数パケットが送信/受信され、複数のトラフィックが無線リソースを共有するかについて検討を行い、その適用範囲について評価を行なった。

2.1 無線リソースを帯域で分割する方法

図 1 左の「帯域で分割したスライス」に示す帯域で分割する方法は割り当てられたスライスに応じて各機器の上位層で最大帯域幅を設ける等で実現できる。スライスの割り当てを行う機器(コーディネータ)が作成したスライスの割当情報に基づいて最大帯域幅を設定することも考えられるが、今回は各機器でトラフィックシェイパーを用いて最大帯域幅を設定して帯域で分割したスライスを作成した。

2.2 無線リソースを時間で分割する方法

一方、図 1 右の「時間で分割したスライス」に示す時間で分割する方法としては、機器間の同期をとって CSMA/CA を排した時分割通信方式、CSMA/CA を維持しながら MAC 等を拡張して割当情報をやり取りする時分割通

信方式等を導入するといった方法が考えられるものの、すでに稼働しているすべてのデバイスに対してハードウェアの交換、またはファームウェアの書き換えを行うには比較的高いコストがかかる。そこで我々は、一般的な無線 LAN デバイスを使用して、ソフトウェア上で送信タイミング制御を実現するタイムスライスシステムを提案した[3]。本方式ではコーディネータがタイムスライス情報を作成し、AP および STA がそのタイムスライス情報に従ってバッファ内のパケットの送信を制御し、システム全体での送信タイミングの制御を行う。

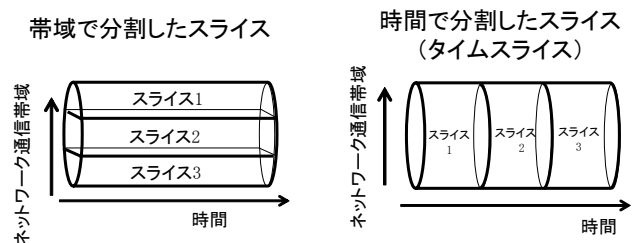


図 1 無線リソースの分割方法

3. 無線リソース割り当ての適応範囲の評価

無線リソースの割り当てにおいて、どのような割り当てを行っても瞬間的なリソースの合計量はチャンネル本来の通信容量を超えることは不可能である。そのため、各機器に割り当てたスライス間の独立性を保つためには、スライスのリソースの合計量が無線チャンネルの容量を超えないようにする必要がある。また、スライス数が増えると各スライス間の独立性を維持できる容量が減少する恐れもあり、本稿ではスライス間の独立性を保てる適応範囲の評価を行う。

ここでは ns-3.35[6]によるシミュレーション評価により、IEEE 802.11g、送信レート 36Mbps の無線 LAN により 5,10,20 台の STA から IP パケットサイズ 1500bytes の UDP パケットを全 STA 合計で 1500 パケット (各 STA の送信パケット数は $1500 \div \text{スライス数}$)、パケット群として AP へ送信した時の受信完了時間を基に「帯域」および「時間」での分割による無線リソース割り当て方式を評価し、それらの適応範囲を示す。

3.1 帯域による分割の場合

本シミュレーションではトラフィックシェイパーとして ns-3.35 に実装されている TBF(token bucket filter)の機能を使用した。帯域で分割したスライスの場合、各機器に割り当てられた帯域幅の合計が無線チャンネルの容量を超過しない限り、スライス間の独立性が保たれると考えられる。STA を 5 台とした時、送信制御を行わない場合と各 STA に帯域で分割したスライス(割当帯域幅 4.8, 4.5, 4.2Mbps, 各 STA の送信パケット数 300)を割り当てた場合の受信完了時間の

[†] 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 Adaptive Communications Research Laboratories Advanced Telecommunications Research Institute International

分布を図 2 に示す。割当帯域幅 4.2Mbps では受信完了時間の揺らぎが小さく、スライス間の独立性が保たれているといえるが、割当帯域幅 4.8, 4.5Mbps では受信完了時間の分布が広がり、スライス間で干渉が発生し独立性が保たれていないと考えられる。

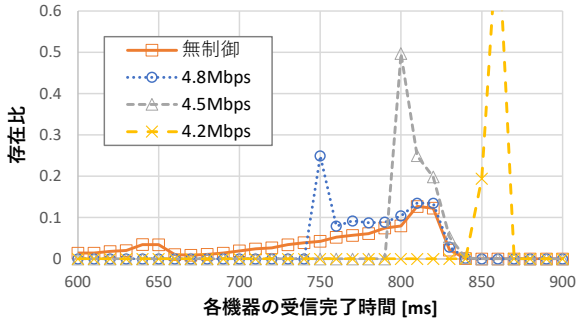


図 2 帯域幅と受信完了時間の分布

図 2 の結果でスライス間の独立性が保たれていた STA 5 台、割当帯域幅 4.2Mbps の場合、割当帯域の合計は 21Mbps であり、割当帯域の合計がこれより小さい場合、スライス間の独立性を維持できると考えられる。次に共存するスライス数に関する依存関係について考える。割当帯域の合計を 20Mbps にして STA を 5, 10, 20 台とした場合の結果を図 3 に示す。各 STA には均等に帯域幅 4, 2, 1Mbps のスライスを割り当て、それぞれ送信パケットを 300, 150, 75 個 (全 STA 合計で 1500 個) とした。割り当て帯域の合計を一定とした場合でもスライス数が増加するに従い、受信完了時刻の分布が広がっていることが確認できる。無線チャネルを共有するスライス数を増やした場合、ある瞬間では共存する端末数が増え分布が広がるのではないかと考えられ、受信完了予定時刻の時間的猶予が多めに必要になると考えられる。

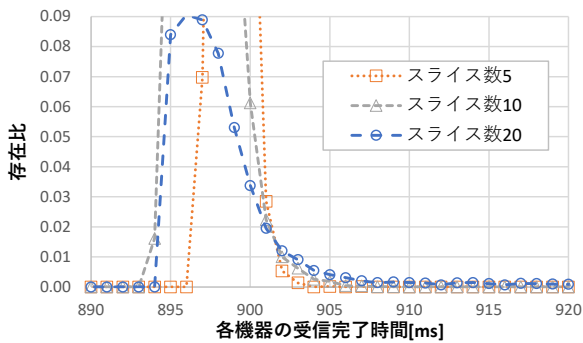


図 3 スライス数と受信完了時間の分布の関係

3.2 時間による分割の場合

時間で分割したスライスの場合、各機器が自身に割り当てられた時間を超過して送信しない限り、常に 1 台が無線チャネルを独占して使用する。例えば 800ms のリソースをスライス数 5, 10, 20 に時間で分割する場合、図 4 のように分割することによりスライス間の独立性が保たれる。ここでスライスあたりの時間が短くなると送信可能なパケット数が減るため、スライス数 5, 10, 20 に対し各スライスでの送信パケット数を 300, 150, 75 として評価を行った。

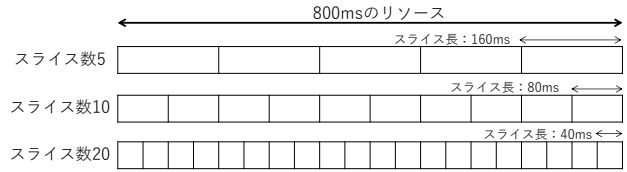


図 4 タイムスライスの分割例

パケット送信毎に一台のみが無線チャネルを独占して送信した場合、ランダム backoff 等による遅延が発生し、その積み重ねにより受信完了時間の揺らぎが生じる。図 5 は、スライス内でのパケット受信が完了しそのスライスが終了するまでの残り時間の分布で、スライス数を増やすとスライス内で送信するパケット数が減り受信完了からスライス完了までの時間は短いほうに分布し幅も小さくなる。

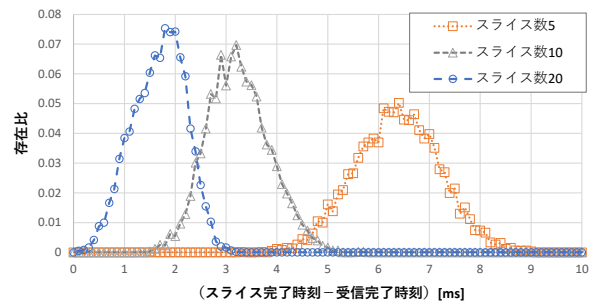


図 5 受信完了からスライス完了までの時間の分布

4. おわりに

「帯域」および「時間」で無線リソースを分割し、トラフィックを共存させる方式について、それぞれの適応範囲についてシミュレーションによる評価、検討を行った。帯域制限とタイムスライスによる無線リソース分割にはそれぞれ異なる利点があり、これらを併用して様々な用途に対応した通信制御を実現できるが、スライス数の増減等による収容可能容量の変化に考慮する必要があると考えている。

謝辞

本研究は、総務省の「電波資源拡大のための研究開発 (JPJ000254)」における委託研究「リアルタイムアプリケーションを支える動的制御型周波数共用技術に関する研究開発」により実施した成果を含む。

参考文献

- [1] 総務省情報通信審議会情報通信技術分科会, “工場のワイヤレス化のニーズと課題,” 2017年2月.
- [2] 板谷他, “製造現場における多種無線通信-製造現場における無線トラフィック,” 信学技報, RCS2016-157, pp.25-29.
- [3] 吉岡他, “狭空間における無線 LAN の送信タイミング制御に関する一検討,” 電子情報通信学会総合大会 B-5-53, 2018年3月.
- [4] 白川洋充, 竹垣盛一, “リアルタイムとその応用”, 朝倉書店, 2001年
- [5] 青木寛, 山口真司, 長谷川晃朗, 横山浩之, “無線リソース割り当て方式の評価,” 電子情報通信学会無線通信システム研究会, RCS2021-259, pp.48-53, 2022年3月.
- [6] <https://www.nsnam.org/releases/ns-3-35/>