

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K16044

研究課題名(和文) センシングと通信を融合する衝突利用型ワイヤレスネットワーク

研究課題名(英文) Collision Oriented Wireless Networks

研究代表者

猿渡 俊介 (SARUWATARI, SHUNSUKE)

大阪大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：50507811

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、電波によるセンシングと通信を組み合わせることで通信性能を向上するための基礎技術を実現することである。具体的には、空間の状態を取得する技術と衝突が発生する中でも通信可能な通信方式の2つを実現することを目的とする。空間の状態を取得する技術では、電波を用いて空間に存在する人の人数や衝突が発生しうるデバイス数を推定する「1. 空間情報センシング技術」を実現した。衝突が発生する中でも通信可能な通信方式としては、「2. 衝突利用型同時情報交換方式」「3. ネットワークMIMOを用いた衝突利用型通信方式」を実現した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to realize basic technology for improving communication performance by combining sensing and communication by radio waves. We have realized 1. spatial information sensing technology, 2. simultaneous information exchange method using collision, and 3. collision utilized communication method using network MIMO.

研究分野：センサネットワーク

キーワード：モバイルネットワーク

1. 研究開始当初の背景

世界の2013年第1四半期～2014年第1四半期のモバイルデータトラフィック増加は65%であり、このペースで増加し続けると、10年後には今のトラフィックの100倍を超える見込みである。さらにM2MやIoTのキーワードを下に、ネットワークに接続される端末の数・種類共に増加の一途を辿っており、電波資源の有限性という厳しい制約条件下で通信容量の飛躍的な大容量化という難問を解決する必要がある。

これまでの無線通信は1つの空間に1つの通信を前提として、他の通信との衝突を回避するために、他の通信を検出した場合には送信を抑制することを前提としていた。本提案書では、1つの空間とは、各通信が相互に電波干渉の影響を受ける空間を意味するものとする。衝突回避が前提の1対1の通信はシャノン限界に迫りつつあり、変調や符号化の工夫だけでは大容量化に限界が見えてきている。

現状の1対1通信のパラダイムを超えるためには、1つの空間において多数のアクセスポイントが多数の通信を意図的に衝突させる空間多重を積極的に利用する必要がある。空間多重を利用した手法としては、多対1通信が可能な逐次干渉除去、1対多通信が可能な重畳符号化、1対1通信で上り下りで同時通信する無線全二重通信、多対多・多対1・1対多通信が可能なネットワークMIMOが存在する。しかしながら、空間多重を極限まで増やすためには、多数のアクセスポイントと多様な端末間の伝搬路を推定するためのパイロット信号の送信オーバーヘッドが膨大になるという問題が発生する。例えば無線ノードが10台存在した場合、45の伝搬路それぞれに対して伝搬路を推定するためのパイロット信号を送る必要がある。また、時々刻々と変化するトラフィックと他システムからの干渉に対して、その瞬間にどの伝搬路の組み合わせによってどのような通信方式を用いるかを算出する計算コストも課題となる。例えば45の伝搬路が存在した場合、伝搬路の組み合わせは $45! \approx 1056$ となり、どの組み合わせが最も大容量に通信できるかを総当たりで算出するのは現実的ではない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、電波によるセンシングと通信を組み合わせることで通信性能を向上するための基礎技術を実現することである。具体的には、空間の状態を取得する技術と衝突が発生する中でも通信可能な通信方式の2つを実現することを目的とする。空間の状態を取得する技術では、電波を用いて空間に存在する人の人数や衝突が発生しうるデバイス数を推定する「1. 空間情報センシング技術」を実現する。衝突が発生する中でも通信可能な通信方式としては、「2. 衝突利用型同時情報

交換方式」「3. ネットワークMIMOを用いた衝突利用型通信方式」を実現する。

3. 研究の方法

1. 空間情報センシング技術

まず、空間の情報を電波でセンシングするためのRSSI同期サンプリング技術を実現した。RSSI同期サンプリングシステムでは、センサネットワークが展開されている空間において各センサノードが同期しながら端末間RSSIと周辺RSSIの2種類のRSSIを取得する。

端末間RSSIとは、あるセンサノードが信号を発信している時に、別のセンサノードがその信号を受信した時のRSSIを意味している。センサノード間に人がいる場合やマルチパスの変動によってRSSIが変動するため、空間の変化を捉えることができる。他のセンサノードから送信された無変調の正弦波を受信した時の電波の強さをRSSIとして計測する。人の平均の歩行速度は秒速約1.25メートル、人の横幅の平均は約30センチメートルであるため、センサ端末間で電波が直進していると考えた場合、サンプリング間隔を240ミリ秒以内にすれば人が通ったことによる影響がRSSIとして表れる。センサ端末間を通過しなかったとしても、電波は反射、屈折、回折、散乱して進むため、RSSIの変化として表れる場合がある。

周辺RSSIは、あるセンサノードで計測できる周辺の電波の強さをRSSIとして取得したものである。同じワイヤレスセンサネットワークに属するセンサノードが通信をしていない時にRSSIを取得する。無線LANやBluetoothなどその場に存在する無線通信デバイスの通信状況を捉えることができる。

端末間RSSIを用いて、空間の人数推定を行う仕組みを実現した。具体的には、端末間RSSIの分散を用いる。端末間RSSIは人の移動の他に温度や湿度などによって変化するため、収集した端末間RSSIをそのまま混雑度と結びつけて評価することは難しい。ユーザの通過による端末間のRSSIの変化は瞬間に大きく変動する。一方で、端末間のRSSIの温度や湿度による変化は緩やかであるため、分散を取ることで環境変動による端末間RSSIの変化の影響を小さくすることができる。また、前述した同期サンプリングを利用することで、ユーザが移動したのか、それとも複数ユーザが存在するかを区別することができる。

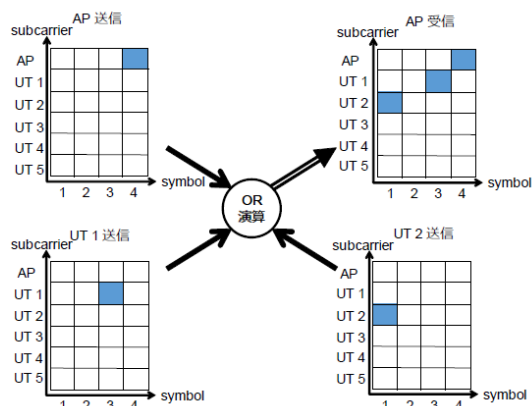
同期サンプリングで取得した場のRSSIを用いることで空間における無線通信デバイス数推定を行う仕組みを実現した。具体的には、周辺RSSIをクラスタリングアルゴリズムにかけてデバイス数を推定する。空間内にワイヤレスセンサネットワーク以外に稼働している無線通信デバイスが通信を行う時、デバイスの近くにあるセンサノードが取得する周辺RSSIの値が上昇する。Wi-Fi環境

において1パケットの送受信に要する最小時間は約20秒である。本稿におけるセンサノードのサンプリング間隔は200ミリ秒であるので、稼働デバイスによる周辺RSSIの上昇は確率的に表れる。稼働デバイスが存在する場合でも、周辺RSSIの上昇が測定できないこともあるため、収集した周辺RSSIをそのままデバイス数と結びつけて評価することは難しい。稼働デバイスが1台の時、周辺RSSIの値は、パケットを測定した場合と測定できなかった場合の2つの傾向に分けられる。稼働デバイス数が多いほど、各センサで観測される周辺RSSIの値は多くの傾向を持つため、空間における電波状況も多くの傾向が観測される。空間における電波状況の傾向毎に分けるため、クラスタリングを行い傾向の総数を求めることでデバイス数を推定する。

クラスタリング手法ではX-means法を用いる。X-means法とは分けるクラスタの総数を自動的に決定しながらクラスタリングする手法である。X-means法の動作としては(1)各クラスタ毎にクラスタを2つに分割。(2)各クラスタ毎に分割する前のBIC(Bayesian Information Criterion)よりも小さくなった場合分割、それ以外なら分割しない。を繰り返すことで、最適なクラスタ数を決定しながらクラスタリングを行う。

[2. 衝突利用型同時情報交換方式]

複数の端末が意図的にフレームを衝突させて同時かつ瞬時に情報共有することが可能な衝突利用型同時情報交換方式を実現した。衝突利用型同時情報交換方式とは、OFDM信号のサブキャリアの有無と無線全二重通信を組み合わせることで、複数端末が同時かつ双方向に情報を伝達することができる周波数ビットマップを用いる。周波数ビットマップは周波数方向の成分と時間方向の成分から構成される。周波数方向の成分はOFDM信号のサブキャリアに対応している。時間方向の成分はOFDM信号のシンボルに対応している。1つのシンボル上の1つのサブキャリアが1ビットに相当する。各端末が端末1, 端末2, ..., 端末NのどのIDに対応するかは端末が基地局にアソシエーションした時に基地局から割り当てられる。



[3. ネットワーク MIMO を用いた衝突利用型通信方式]

多数の端末が存在する空間において、端末同士の通信をあえて衝突させる手法としてはネットワーク MIMO が有効である。ネットワーク MIMO におけるチャネルサウンディングのオーバーヘッドの問題に対して、フィードバックを行いながら衝突させても大丈夫な通信ペアを決定する衝突利用型通信方式を実現した。ネットワーク MIMO を用いた衝突利用型通信方式では、現状のワイヤレスネットワークにおいてビデオのダウンロードやウェブの閲覧など下りのトラフィックが多い点に着目する。具体的には、上位層のスループットに応じて MIMO 伝送に参加するアクセスポイントのクラスタサイズを制御するクロスレイヤのアプローチを採用することで、オーバーヘッドを削減しつつ高いスループットを達成する。

ネットワーク MIMO を用いた衝突利用型通信方式では、コントローラが上流からパケットを受け取ると、コントローラに接続された全てのアクセスポイントの中から、ネットワーク MIMO に参加するアクセスポイントを複数選択する。本報告書では、コントローラに選択されたアクセスポイント群をクラスタと呼ぶ。本方式では、コントローラが上流からパケットを受け取る度に、どのアクセスポイントを用いてクラスタを生成するかを制御する。

まず、クラスタに参加しているアクセスポイントの集合 C を \emptyset で初期化する。その後、コントローラが上流からパケットを受け取るたびに以下の動作を繰り返す。まず、アクセスポイント追加フェーズにおいて、アクセスポイントの中からランダムに1つを選択してクラスタ C に追加する。次に、アクセスポイントを追加したクラスタ C を用いて複数回、データ送信フェーズとスループット測定フェーズを繰り返す。ここで複数回繰り返すのは、複数回のデータ送信の平均を用いてクラスタの制御を行うからである。最後に、複数回のスループットの測定に基づいて、アクセスポイント削除フェーズにおいてクラスタ C から不要と思われるアクセスポイントを削除する。

4. 研究成果

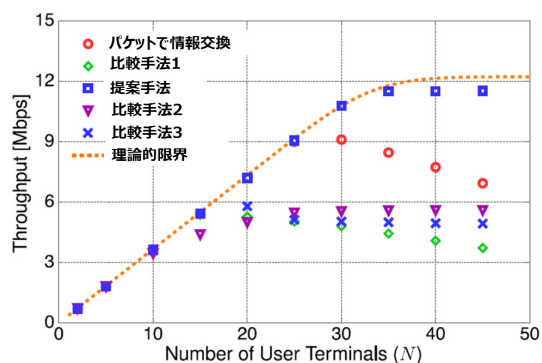
[1. 空間情報センシング技術]

大阪大学の研究室において評価を行った結果、研究室に人がいる・いないに関しては約92%、人数に関しては2人の誤差で約79%の確率で推定できることが分かった。

[2. 衝突利用型同時情報交換方式]

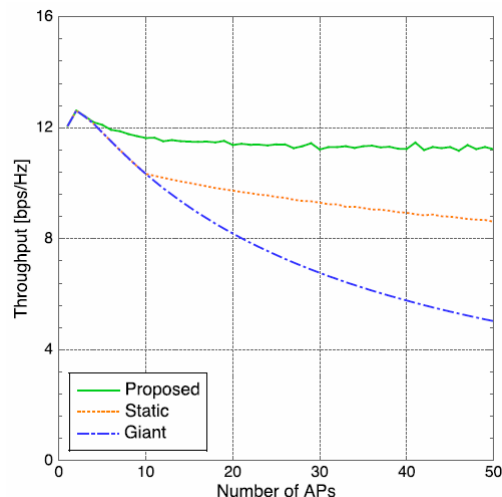
計算機シミュレーションによって評価を行った結果、衝突利用型同時情報交換方式を用いることで、理論的境界に近い性能が発揮できることが分かった。それに対して衝突さ

せずに情報交換を行う場合にはノード数がある一定値を超えると急激に性能が低下することも分かった。



[3. ネットワーク MIMO を用いた衝突利用型通信方式]

計算機シミュレーションによって評価を行った結果、同的に送信端末数が多い時に提案手法が最も性能が高くなることが分かった。



5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

猿渡 俊介、渡辺 尚、全二重無線通信の実用化に向けた課題と可能性、電子情報通信学会誌、査読なし、101 巻、2018、387-393

[学会発表] (計 8 件)

猿渡俊介、木崎一廣、小林 真、渡辺 尚、メディアアクセス制御の検証が可能なソフトウェア無線全二重通信機的设计、電子情報通信学会 2017 年総合大会、B5-124、pp. 460、名城大学 (愛知県名古屋市)、Mar. 2017

川崎慈英、小林 真、猿渡俊介、渡辺 尚、“複数アクセスポイントを用いた無線全二重データ電力同時伝送方式におけるスケジューリング手法の検討、” 情報処理学会第 79 回全国大会、1T-01、pp. 3-171 - 3-172、名

古屋大学 (愛知県名古屋市)、Mar. 2017
上熊須匠、小林 真、猿渡俊介、渡辺 尚、“上下分離可能型無線ネットワークのスループットに関する基礎検討、” 情報処理学会第 79 回全国大会、1T-02、pp. 3-173 - 3-174、名古屋大学 (愛知県名古屋市)、Mar. 2017
小林 真、猿渡 俊介、渡辺 尚、“無線全二重通信におけるノンフルバッファ状態に関する基礎検討、” 2016 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会、B-5-117、pp. 63、北海道大学札幌キャンパス (北海道札幌市)、Sep. 2016

守屋広汰、黒木琴海、秋本ゆり、猿渡俊介、LAN に接続された FPGA ボード間の時刻同期誤差の検証、2016 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会、北海道

上熊須 匠、小林 真、猿渡 俊介、渡辺 尚 "上下分離可能型異種無線ネットワークにおける基地局選択手法に関する考察" 情報処理学会モバイルコンピューティングとパーベイシブシステム(MBL)研究会、2017. pp.1-8、東京電機大学 Aug.2017

猿渡俊介、渡辺尚、全二重無線通信の可能性～電力伝送から Backscatter 通信まで～、電子情報通信学会無線通信システム(RCS)研究会(招待講演)、2018

猿渡俊介、IoT 用通信資源としての通信衛星、通信衛星の将来展望に関するワークショップ 2017(招待講演)、2017

6. 研究組織

(1) 研究代表者

猿渡 俊介 (SARUWATARI, Shunsuke)

大阪大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：50507811