

令和 2 年 7 月 10 日現在

機関番号：52605

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14686

研究課題名（和文）無線分散ネットワークにおける結合振動子活用型チャンネル選択に関する研究

研究課題名（英文）Channel Allocation based on Beacon-coupled Non-linear Oscillators in Distributed Wireless Networks

研究代表者

稲毛 契 (Inage, Kei)

東京都立産業技術高等専門学校・ものづくり工学科・准教授

研究者番号：80759506

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：無線分散ネットワークの各端末が送信するビーコン送信タイミング決定に非線形振動子を用い、干渉関係にある端末が異なるグループに自動的に属する自律分散クラスタリングについて提案を行った。この手法は他端末から送信されたビーコンの受信タイミングと自身のビーコン送信タイミングとの差に応じて自身のビーコン周期を変更する引き込み現象を用いることで、干渉関係にある端末間のビーコン送信に位相差（時間差）を持たせ、それ以外の端末と位相（タイミング）が揃うようにすることができる。さらに仮想的なグローバル同期用の振動子ネットワークを構築し、外部に情報を集約する必要の無い自律分散チャンネル割当を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

情報化社会において、すでにインフラになりつつある無線ネットワークでは携帯電話の他に、公衆無線LANが大きな役割を果たしつつある。しかし無線LANは電波強度が強くても通信品質が低い場合が多くある。この原因の一つに、街中に多数設置された無線LAN基地局（アクセスポイント：AP）が使用するチャンネルが適切に棲み分けられていないことが挙げられる。本研究の成果では、そのチャンネル棲み分けをハードウェアの変更を必要とせずソフトウェアの動作変更のみで、制御するサーバなどを必要とせず、チャンネル棲み分けを行うことができる。今後、無線通信量・端末数が増加していく将来においても効率的な通信を実現する一助となる。

研究成果の概要（英文）：For channel selection in distributed wireless networks, we proposed clustering method via pull-in phenomenon in non-linear oscillators coupled by beacon transmission. In the proposed method, beacon transmission timing is decided based on phase of own non-linear oscillator that phase is changed according to phase difference from coupled oscillator. As a result, interfered APs transmit beacon with different timing and non-interfered APs transmit with same timing. Channel clustering can be created based on transmission timing. In addition, we added a processing of moving average on the beacon reception processing, and improved success probability. We also constructed another oscillator network for virtual global synchronization by adding phase information in the beacon frame, and realized autonomous and distributed channel allocation based on the two oscillator phases.

研究分野：無線通信

キーワード：無線通信 分散ネットワーク チャンネル割当 非線形振動子 引き込み減少

様式 F - 19 - 2

1. 研究開始当初の背景

(1) スマートフォン・タブレットが広く普及し、無線通信が常に利用出来ることを前提とするユーザの端末数が急激に増加した。近年ではコンテンツのリッチ化・クラウド化によるユーザ1人辺りの通信データ量(トラフィック)も急激に増加している。今後も、より高速な無線回線を前提としたコンテンツ増加は確実であり、増加し続ける大量トラフィックに対処可能な通信システムの構築が急務である。

(2) 現在の携帯端末で気軽にインターネットを無線で利用できる環境は、主に携帯電話のデータ回線である移動通信システムと、無線 LAN (WLAN) と呼ばれる IEEE 802.11 システムによって構築されている。駅やビル内など公共性の高い場所に親機 (Access Point : AP) が設置され、多数のユーザが WLAN を利用できるようになった。しかしスマートフォンなどでは携帯回線よりも WLAN 通信を優先するが、IEEE 802.11 の通信では多数ユーザ接続時にインターネットが繋がらないという、問題が多発・常態化している。この問題は、大きく分けて2つの原因に起因する。CSMA/CA と呼ばれる時間軸上の衝突回避機能が不十分であること。自律分散的に効率の良い利用チャネルを選択する機能を定義していないこと。

2. 研究の目的

(1) 本研究課題では、無線チャネルを介した結合非線形振動子による自律分散型高効率チャネル利用を目的とする。そこで、研究代表者は非線形振動子ネットワークの引き込み位相特性に着目し振動子で利用チャネル決定用ネットワークを形成し、利用チャネルを同期・分散させる手法について次のような課題を設定し検討を行う。

無線チャネル結合型非線形振動子の引込効果による隣接 AP 間非同相同期の実現

引き込み現象を利用して、隣接 AP 間非同相同期を行う。ここでは無線チャネルのようなある平均値から確率的変動をする結合素子を介して、2つの AP が一定の位相差で同期可能な振動子モデルを検討し、干渉強度に応じた位相差で同期可能となる手法に関する検討を行う。

複数 AP 間における相互結合・引込現象を利用した利用チャネル分散の実現

2つの AP 間の信号強度に応じたチャネル利用を確立した後、複数 AP 間の相互結合を利用し信号が届かない AP 間での利用チャネル分散を検討する。具体的には非線形振動子の引き込み現象が直接信号が観測できない AP 間でも適切なチャネル選択が行えるような非線形振動子について検討を行う。

3. 研究の方法

(1) 非線形振動子を用いたクラスタリング

他 AP からのビーコンが届く状態を相互干渉関係にあると見なし、それらのビーコン受信を入力として自ビーコンの送信タイミングを変更する。具体的には図1に示すように自ビーコン送信タイミングと他 AP からのビーコン受信タイミングの時間差から位相差に変換し、自身の振動子の角速度を次式で変更する。

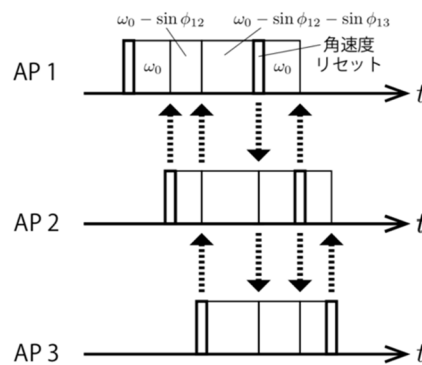


図1. ビーコン送受信タイミング差から位相計算

$$\frac{d}{dt} \phi_i = \omega_0 + \varepsilon \sum w_{i,j}[t] \left(1 - \frac{\phi_{ij}}{\pi}\right) \sin(\phi_{ij}) \quad (1)$$

ここで、 ϕ_i は AP i の振動子位相、 ω_0 は基本角速度、 ε は結合係数、 ϕ_{ij} は AP j からのビーコン受信タイミングから計算される位相差、 $w_{i,j}[t]$ は時刻 t における AP j からの指数平滑平均のための係数である。 $w_{i,j}[t]$ は次式で計算される。

$$w_{i,j}[t] = w_{i,j}[t - t_x] \times (1 - \alpha)^{t_x/T_0} + \alpha \quad (2)$$

α は1以下の正の値をとる平滑化定数、 t_x は前回ビーコン受信時間からの経過時間、 T_0 はビーコンの基本周期である。式(1)に従って角速度を変化させた後、周期が 2π となった時に角速度を基本値にリセットし、そのタイミングでビーコンを送信する。また途中でさらに別APからビーコンを受信した場合は現在の速度に更に加算する形で、変更を加える。

(2) 自立分散チャネル選択のための同相同期振動子

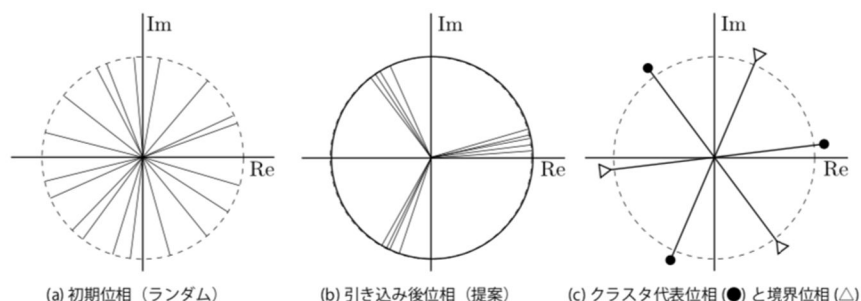


図2. APの位相状況とクラスタリング

図2に示すように、(a)のバラバラな振動子初期位相が、提案振動子による引き込みを使い(b)の $2\pi/3$ ずつずれた位相状態で安定する。(b)の状態を書くAPが自身の位相情報のみで使用チャネルを決定するには、(c)の6点のいずれかの位置に位相を全AP共通の基準を全てのAPが持っていれば良い。この基準がない場合は、APが自身の位相を外部に集約しなければならず、完全に自律分散の形で位相を決めるには基準用振動子位相が必要となる。

そこでビーコンパケットのデータフレームに同相同期用振動子の位相情報を追加することで、2つの異なる振動子ネットワーク構築することを考える。1回のビーコン受信から、タイミング差による位相差情報と、ビーコン復調による位相乗の2つの情報を得ることになる。同相同期はこれまでの提案で用いている非同相同期用振動子ネットワークと比較して、非常に収束が早く同期状態が安定している。その為、(b)の3つに分かれた位相群とは異なる(c)の位置に同期した振動子位相が位置するようにすることのみに注力すれば良い。

その非同相同期用振動子と同相同期用振動子の位相差を所望の位相差に保つたまた、引き込みを行うには次式を用いて、同相同期用振動子の引き込み処理を行う。

$$\theta_{ij} = \theta_i - \theta_j \quad (3)$$

$$p_i = \sin(3(\theta_i - \phi_j) - \pi) \quad (4)$$

$$\frac{d}{dt}\theta_i = \omega_0 + \eta p_i - \epsilon' \sum \sin(\theta_{ij}) \quad (5)$$

それぞれの振動子の引き込みが完了したのち、各APは2つの振動子の位相差から使用するチャネルを決定する。

4. 研究成果

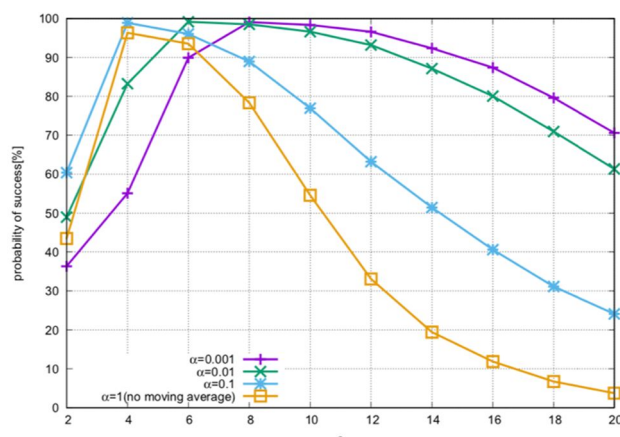


図3. 集中制御(非同相同期用振動子ネットワークのみ)の成功確率

19個のAPを六角セルの中心に配置し、IEEE 802.11のパラメータを用いて、振動子の引き込みを行い、その結果から各APの利用チャネル決定を行った。この時は各APは自身の位相情報を外部に報告し、そこでクラスタリング計算を行った後に、その結果に基づいて使用チャ

ネルを選択している集中制御を一部取り入れた形になっている。図 3 にその結果を示す。この結果における成功確率とは、19 個全ての AP において、隣接する AP では必ず異なるチャンネルを選択できた状態となった確率である。 ε および α によって成功確率が大きく変化するが、いずれの α においても適切な ε の値が存在し、98%以上の高い成功確率を得ることができる。とくに ε の変化によって成功確率の増減が激しいが、 ε の値が小さい場合は、引き込みの値が小さくなるため収束に時間がかかりすぎるため、規定時間経過した状態では十分な引き込みが完了していないために成功確率が低下している。また ε が大きい場合には、角速度の値が大きく変動しやすくなるため 1 回のビーコン受信の影響が大きくネットワークとして不安定になったために確率が低下している。

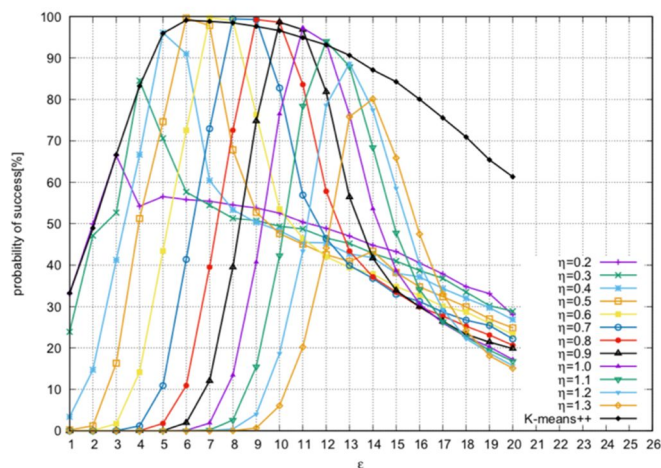


図 4 . 自律分散 (同相同期用振動子ネットワーク有り) の成功確率

また各 AP が、同相同期用振動子を具備し、完全に自身の位相情報のみで使用チャンネルを決定した時の成功確率を図 4 に示す。 ε および η の値によっては、集中制御を行ったときと同等の成功確率を得ることができ、同相同期用振動子ネットワークを用いた自律分散的なチャンネル割当が有効であることがわかる。しかし、成功確率が最大化される ε と η の組み合わせについては、チャンネルや AP 配置の依存が大きく、事前に計算で求めることが難しい可能性が高いことが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中野隼輔、稲毛契
2. 発表標題 非線形振動子を用いた自律分散クラスタリングに基づくチャンネル割当
3. 学会等名 電子情報通信学会スマート無線研究会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 中野俊輔、稲毛契
2. 発表標題 非線形振動子を用いた干渉強度に基づいたグラフ彩色手法
3. 学会等名 電子情報通信学会スマート無線研究会
4. 発表年 2018年～2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考