

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2020

課題番号：16K06362

研究課題名(和文) 移動ロボットの集中による輻そうを回避するコグニティブ型マネジメントの実証的研究

研究課題名(英文) Cognitive Load Balance Managements for Mobile Robot Communications

研究代表者

岡 育生 (Oka, Ikuo)

大阪市立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：80160646

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：移動ロボットが経路上で集中した場合には、輻そうによりネットワークへの接続が困難となりバックログが増大する。これに対処するため、本研究では、移動ロボットが利用可能な複数のWiFiアクセスポイントのトラヒック、SN比などのネットワーク環境を認知した上で、それぞれのアクセスポイントの利用適格度メトリックを定義してアクセスポイントを選択し、トラヒック集中地点を迂回する方式を提案し、無線LANシミュレーションを用いてネットワーク特性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、移動ロボットが集中した場合に外部との通信ができなくなることを防ぐために、WiFiアクセスポイントのメトリックを定義し、メトリックによりアクセスポイントを選択する方式の開発を行った。これにより、移動ロボットはメトリックの高いアクセスポイントの方向を重視して移動することが可能となり安定性の高い通信の維持が実現できる。

研究成果の概要(英文)：The congestion control has often difficulties in the network, where many mobile robots locate in the same area. In this work, a method of routing for mobile robots is presented to reduce the congestion. A metric defined by SNR and traffic load is proposed to select the access point. SNR and traffic estimation methods are developed with an appropriate access point selection metric. Analytical and simulation results are presented for the estimation, and the network simulation confirms the superior performance of the proposed methods.

研究分野：通信工学

キーワード：アクセスポイント選択 SN比推定 ユーザ数推定 適格度メトリック

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年の急速な高齢化社会への移行に従って、生活補助や介護に関連した移動ロボットの活用が期待されている。また、IoT/M2M/D2D 関連やドローンなどを用いた物流用、センシング用移動ロボットのアプリケーションの急速な増大が予想される。これらの移動ロボットが経路上で集中した場合には、輻そうとなりネットワークへの接続要求が過大で、接続が困難となる。

移動ロボットのアプリケーションでは最短の移動ルートを選択することよりも、むしろバックログとならずネットワーク接続できる環境のほうが重要である場合も多い。この場合、移動ロボットの経路上のトラヒックを考慮し、過度なトラヒックの集中地域を避けてルーティングすることが効果的である。移動ロボットに搭載する通信手段として、セルラ方式の携帯電話ではカバレッジは広いものの狭領域での回線数、容量に制限があるため、柔軟性のある WiFi を用いてネットワークの負荷低減を図る WiFi オフローディングが適している。異なる特徴を有する各規格の WiFi 回線を十分に生かすには WiFi 回線の効果的な選択が必要となっている。

### 2. 研究の目的

移動ロボットが経路上で集中した場合には、輻そうによりネットワークへの接続が困難となりバックログが増大する。これに対処するため、本研究では、複数の WiFi アクセスポイントが利用できる環境において、移動ロボットが、各アクセスポイントのトラヒック、SN 比などのネットワーク環境を認知した上で、使用するアクセスポイントを選択し、トラヒック集中地点を迂回することが可能な「コグニティブ型マネジメント」を提案し、移動ロボットにおける無線 LAN のネットワーク特性を求め、その有効性を明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) SN 比推定

仲上フェージング通信路において尤度を用いた SN 比 (SNR) 推定法を提案し、解析を用いてその評価を行った。SN 比の確率密度関数を合流型超幾何関数を用いて表現し、SN 比を最尤推定する。

SN 比推定の許容誤差を定義し、SN 比推定結果がその許容誤差にはいない確率を、SN 比推定誤り率として導出した。ここでは、対数尤度関数を SN 比の関数としてみた場合に、対数尤度観測値の最大値を中心に左右対称であり、かつ、左右に単調減少する仮定を用いて解析を可能とした。レイリーフェージング通信路を仮定し、信号電力成分と雑音電力成分をガウス分布で近似することにより、これらの比である SN 比の確率密度関数を導出し、アクセスポイント選択誤り率を解析的に求めた。SN 比ならびに仲上  $m$  フェージングのパラメータ  $m$  の値を変化させ、この仮定が成立することを計算機シミュレーションを用いて明らかにした。

#### (2) ユーザ数推定

CSMA/CA における送信制御のためのランダム遅延の観測結果を用いたユーザ数推定法を提案した。送信ユーザのランダム遅延であるバックオフは、ユーザ数が多いほど小さくなることに着目し、送信ユーザのバックオフの分布から最尤推定によりユーザ数を推定する。また、送信ユーザが送信成功か衝突かの情報も加えることでユーザ数推定の精度の向上を図った。

SN 比とユーザ数がパケット遅延に与える影響を解析的に評価し、SN 比が支配的な領域ならびにユーザ数が支配的な領域を変調方式ごとに明らかにした。

ランダム遅延の観測結果を用いたユーザ数推定において、ランダム遅延の確率分布の検討を行った。バックオフの凍結を考慮した上で、ランダム遅延のバックオフの確率分布を導出した。ユーザ数が 2 の場合には起こりうるすべてのバックオフ時間の組み合わせについて状態遷移を考え、時間軸で確率分布の解析を行った。ユーザ数が 3 以上の場合には、ユーザ間におけるバックオフ分布の統計的独立性を仮定するとともに、ユーザを着目ユーザとその他のユーザの 2 つのグループに分けることで、バックオフ分布の時間軸解析を可能とし、計算時間をユーザ数による指散開数的増加を線形増加にとどめた。

#### (3) SN 比とユーザ数で定義するメトリックの評価

SN 比推定ならびにユーザ数推定に誤りが存在すれば、アクセスポイントの選択を誤ることになる。802.11a 無線 LAN を対象として、既知のシンボルであるプリアンブルを用いて SN 比推定を行い、SN 比が最大となる無線 LAN アクセスポイントを選択する場合のアクセスポイント選択誤り率を導出した。

アクセスポイント選択のためのメトリックとして、送信すべきパケットが発生してから受信が完了するまでの遅延時間を採用した。SN 比とユーザ数から遅延時間を解析的に導出できることに着目し、推定した SN 比ならびに推定したユーザ数に正規分布の誤差があるものと仮定することで、遅延時間の確率密度関数を求めた。2 つのアクセスポイントを対象として、推定誤差

に起因するそれぞれの遅延時間の分布から、2つのアクセスポイントの遅延時間の差の平均値である希望成分と、ランダム成分である非希望成分を求め、DU比として評価した。また、このDU比からアクセスポイント選択誤り率を導出し、2つのアクセスポイントの環境と選択誤り率の関係性を明らかにした。

アクセスポイント選択のメトリックにSN比とユーザ数以外の多くのパラメータを加えることを容易にするため、メトリックをN次関数で表現した。SN比とユーザ数をメトリックに組み込んだ場合のメトリックの誤差とメトリックが有効となるSN比とユーザ数の領域を明らかにした。

遅延時間をアクセスポイント選択のメトリックとした場合のスループットと、信号強度をメトリックとした場合のスループットの違いについて、多値変調を用いる適応変調、ならびに、ユーザ配置の偏りの観点からシミュレーションを用いて比較検討を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) SN比推定

図1に仲上フェージング通信路における16QAMにおけるSN比推定の正規化自乗誤差を示す。標本数は50000であり、フェージングパラメータ $m$ は1, 5, 10である。提案手法と既存手法であるモーメント法との比較から、提案手法による推定精度の改善が確認できる。

図2は16QAMを用いる場合のアクセスポイント推定誤り率を示す。図中 $\epsilon$ は許容するSN比の推定誤差を表しており、推定結果が、正しいSN比と $\epsilon$  dB以上の誤差があれば誤りと判定している。フェージングパラメータは $m=1$ で、標本数は50000である。推定誤り率はSN比とともに現象してSN比が4 dBの時に最小となる。さらにSN比を増加させれば推定誤り率が劣化する。多値QAMの多値数を16, 32, 64とした場合には、 $m$ が3と5では多値数16の推定誤り率が最も良いが、 $m$ が1の場合には逆に多値数が64の場合に最も推定誤り率が良くなった。

##### (2) ユーザ数推定

図3にバックオフのランダム遅延の観測結果を用いたユーザ数推定の平方根平均自乗誤差(RMSE)を示す。ユーザ数が20程度までは、RMSEは1程度までであり、また、バックオフの確率分布のみではなく、送信成功か衝突かの情報を併用することで推定精度が改善している。

また、ユーザ数の推定許容誤りを定義して推定成功率を求めている。推定許容誤りを10%, 20%, 30%とした場合に、推定成功率80%以上を得るには、許容誤差10%ではユーザ数10以下、許容誤差が20%ではユーザ数15以下、許容誤差が30%ではユーザ数20以下となることが明らかとなった。

図4は、ユーザ数が5, 20の場合のバックオフの確率分布の解析結果を示す。シミュレーション結果と解析結果がよく一致しており、解析の妥当性が確認できる。

図5はバックオフの確率分布の解析式を用いたユーザ数推定結果を示す。ユーザ数 $N$ の増加により推定精度が劣化するものの、10%から20%程度の推定誤差を実現していることがわかる。

##### (3) SN比とユーザ数で定義するメトリックの評価

図6にSN比の異なる2つのアクセスポイントがある場合の、レイリーフェージング通信路におけるアクセスポイント選択誤り率を示す。図中 $S:i$ はアクセスポイント間のSN比の違いが $i$  dBの場合のアクセスポイント誤り率のシミュレーション結果であり、 $A:i$ はアクセスポイント間のSN比の違いが $i$  dBの場合のアクセスポイント誤り率の解析結果である。図から、SN比の差が大きくなるにしたがって、解析結果とシミュレーション結果の差が大きくなるが、SN比の差が小さい場合にはよく一致している。また、ガウス通信路と異なり、レイリーフェージング通信路では、SN比の増加による誤り率の改善には限界が生じる。

図7にSN比とユーザ数推定に誤差がある場合のアクセスポイント選択誤り率を示す。基準となるアクセスポイントのSN比は5 dBでユーザ数は5である。遅延時間のDU比からアクセスポイント選択誤り率を求めている。SN比推定とユーザ数推定の誤差の標準偏差は0.5としている。図の座標は基準でないアクセスポイントのSN比とユーザ数であり、基準との差が大きいほど誤り率は小さい。

図8は遅延時間をアクセスポイント選択のメトリックとした場合に、メトリックを3次関数で近似した場合の重回帰分析によるメトリックを示す。一次関数による近似では10%を超える誤差が存在するが、3次近似では5%前後の誤差に改善された。

図9は、遅延時間をアクセスポイント選択のメトリックとした場合のスループットと、信号強度をメトリックとした場合のスループットの比較である。BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAMの適応変調であり、図(a)は30m x 30mの範囲にユーザが偏っている場合、図(b)は偏りが無い場合を示している。偏りが無い場合には遅延時間のメトリックと信号強度のメトリックの性能はほとんど等しいが、偏りがある場合にはユーザの遅延時間をメトリックとしたほうが、はるかに大きなスループットが得られることがわかる。

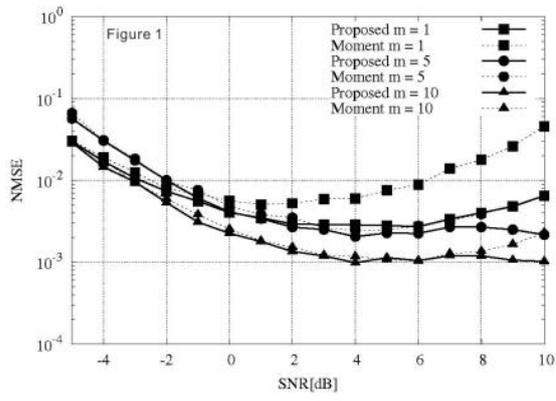


図1 推定 SN 比の正規化自乗誤差

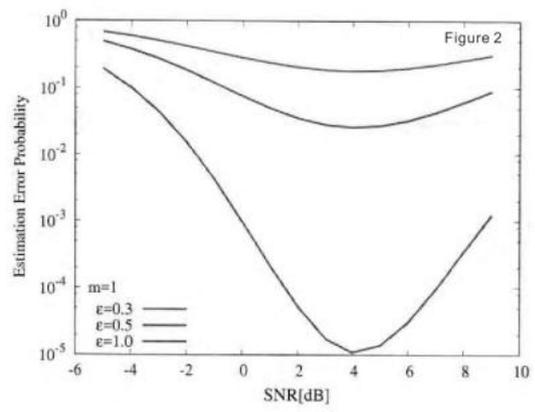


図2 16QAM の推定誤り率

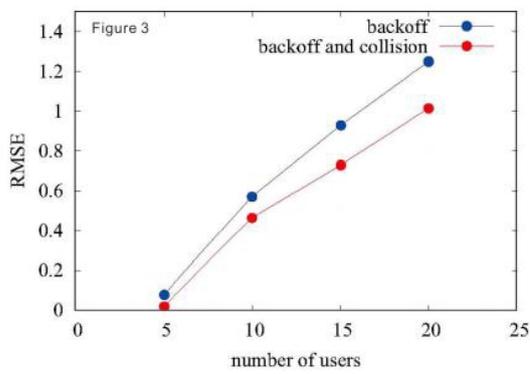


図3 推定ユーザ数平方自乗誤差

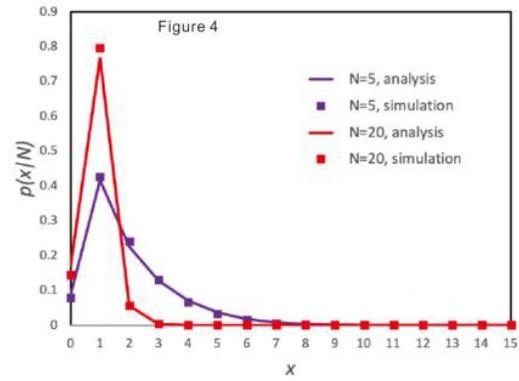


図4 バックオフの確率関数

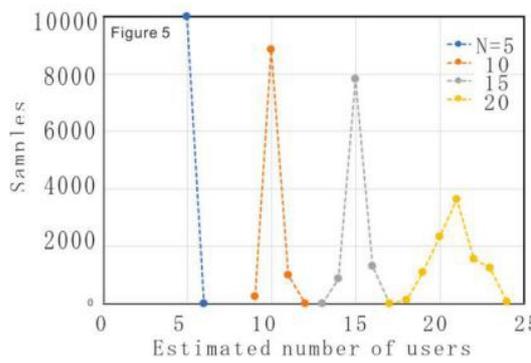


図5 ユーザ数の推定結果

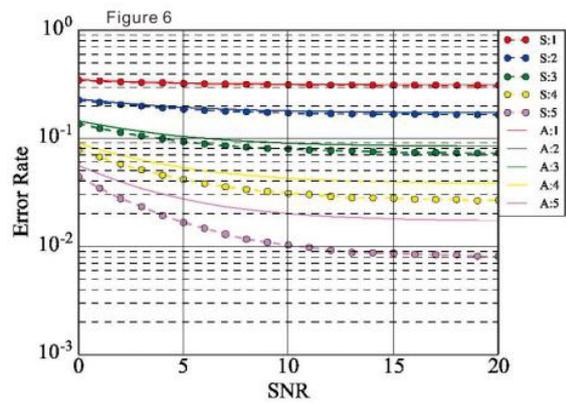


図6 通信路選択誤り率

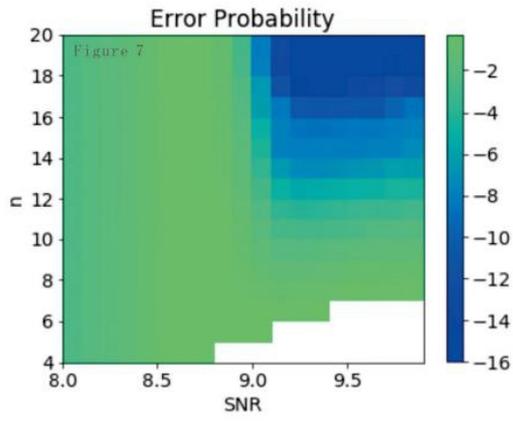
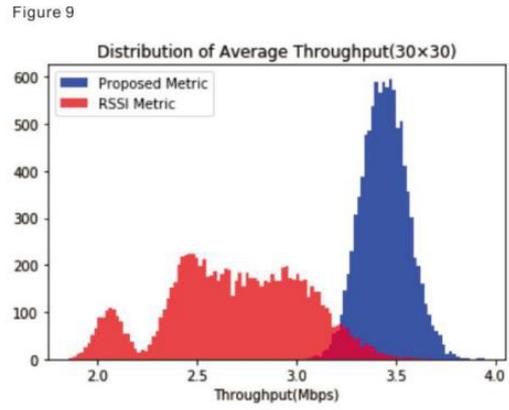


図7 通信路選択誤り率



(a) 30m x 30m

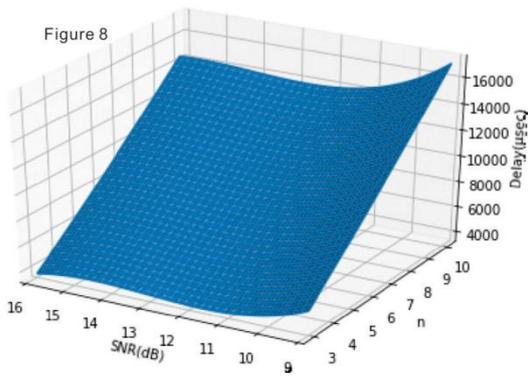
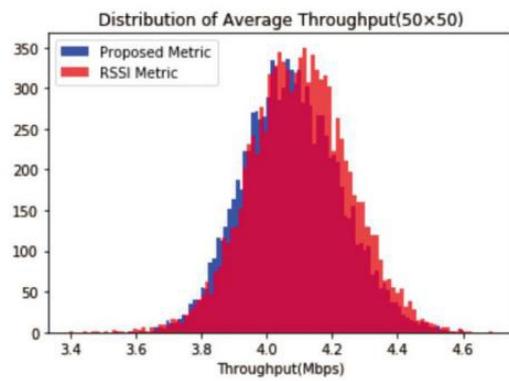


図8 3次の多項式メトリック



(b) 50m x 50m

図9 ユーザの平均スループット

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 佐本紘希、岡育生、阿多信吾
2. 発表標題 CSMA/CAにおけるバックオフ凍結を考慮したバックオフ時間の確率分布
3. 学会等名 電子情報通信学会情報理論研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koki Samoto, Ikuo Oka, Shingo Ata
2. 発表標題 Probability Distribution Analysis of Backoff Time with Frozen Backoff in CSMA/CA
3. 学会等名 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥立大雅、岡育生、阿多慎吾
2. 発表標題 無線 LAN におけるSNRとユーザ数を考慮した通信路選択のメトリックに関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会情報理論研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taiga Okutate, Ikuo Oka, Shingo Ata
2. 発表標題 Channel Selection Metric by the Number of Users and SNR in WLAN
3. 学会等名 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本憲祐, 岡育生, 阿多信吾
2. 発表標題 無線LANにおけるバックオフの凍結を考慮したバックオフ分布によるユーザ数推定
3. 学会等名 第41回情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本憲祐, 岡育生, 阿多信吾
2. 発表標題 無線 LAN におけるバックオフの観測情報と衝突情報を用いたユーザ数推定
3. 学会等名 電子情報通信学会情報理論研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村上達彦, 岡育生, 阿多信吾
2. 発表標題 ユーザ数推定とSNR推定による通信路選択における一検討 村上達彦, 岡育生, 阿多信吾
3. 学会等名 電子情報通信学会情報理論研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村上達彦, 岡育生, 阿多信吾
2. 発表標題 仲上- $m$ フェージング環境における SN 比の推定誤り率解析
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松本憲祐, 岡育生, 阿多信吾
2. 発表標題 無線LANにおけるDCFのバックオフを用いたユーザ数推定
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tatsuhiko Murakami, Ikuo Oka, Shingo Ata
2. 発表標題 An Error Probability Analysis for SNR Estimation in Nakagami-m Fading
3. 学会等名 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Norihiko Matsumoto, Ikuo Oka, and Shingo Ata
2. 発表標題 Number of Users Estimated by Statistics of Random Backoff Time In WiFi Networks
3. 学会等名 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西島 慎二, 岡 育生, 阿多 信吾
2. 発表標題 トラヒックとSNR推定による通信路選択に関する一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会情報理論研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西島 慎二, 岡 育生, 阿多 信吾
2. 発表標題 無線LANにおけるSNR推定に基づいた通信路選択の誤り率解析
3. 学会等名 第39回情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shinji Nishijima, Ikuo Oka, Shingo Ata
2. 発表標題 Maximum Likelihood Estimation for SNR in Nakagami
3. 学会等名 The International Symposium on Information Theory and Its Applications
4. 発表年 2016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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関