

## [ポスター講演] アドホック測位ネットワークにおける 接続端末分散手法の評価

高嶋 瑤子<sup>†</sup> 石田 繁巳<sup>†</sup> 田頭 茂明<sup>††</sup> 福田 晃<sup>†</sup>

<sup>†</sup>九州大学大学院システム情報科学府・研究院 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地

<sup>††</sup>関西大学総合情報学部 〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1

**あらまし** 筆者らは、無線 LAN を用いたオンデマンド屋内位置情報サービスの実現を目指している。オンデマンド位置情報サービスでは測位システム構築コスト・ユーザ端末への測位アプリケーション導入コストの低減が重要となることから、文献 [1] ではアドホック測位ネットワークを用いた分散測位システムを提案した。この分散測位システムではユーザ端末が物理的に集中している場合に通信負荷が特定の無線 LAN アクセスポイントに集中するという問題がある。この問題の解決に向け、本稿では、端末の接続先を分散させて通信の混雑を緩和するアソシエーション応答確率制御を示す。アソシエーション応答確率制御は、端末がアクセスポイントに接続する際にアクセスポイントが送信するアソシエーション応答において確率的に失敗応答を行う手法である。通信の混雑しているアクセスポイントにおいて高い確率で失敗応答を行うことで端末接続先を通信の空いているアクセスポイントに分散させる。シミュレーションによって各アクセスポイントの接続端末数と通信量を評価し、アソシエーション応答確率制御の有効性を検証した。  
**キーワード** アドホック測位ネットワーク、位置情報サービス、Web サービス、接続端末分散。

## [Poster Abstract] Evaluation of Association Scattering for Ad-Hoc Wireless Positioning Network

Youko TAKASHIMA<sup>†</sup>, Shigemi ISHIDA<sup>†</sup>, Shigeaki TAGASHIRA<sup>††</sup>, and Akira FUKUDA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School/Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

<sup>††</sup> Faculty of Informatics, Kansai University

**Abstract** In our previous research, we have proposed an autonomous distributed localization system to realize on-demand location-based services [1]. This distributed localization system provides a location-based service as a Web service and distributes network traffic all over the AWPN based on distribution of user devices. Inherently, the distributed localization system faces a problem of network congestion when user devices are gathering in one place. In this paper, we propose a probabilistic association scheme to overcome this problem. WiFi APs returns failure association response with a certain probability that depends on the number of associated devices, which promotes device association to other APs. We perform simulations and show that our probabilistic association scheme effectively distributes device associations.

**Key words** Ad-hoc wireless positioning network, location-based service, Web service, distribution of WiFi device associations.

### 1. はじめに

携帯電話やスマートフォンなどの小型無線通信端末の普及に伴い、端末の位置情報を利用するサービスが増加している。位置情報を利用することで、地図上に端末の位置を表示したり、周辺環境に関連した情報を提供することができる。また、多くの位置情報を集めて分析することで、観光地において旅行者が立ち寄る観光スポットや宿泊地、観光ルートの傾向など、新た

な情報を得ることもできる。

位置情報の取得には、屋外においては主に GPS (Global Positioning System) が利用されている一方で、屋内では WLAN やカメラ、超音波など GPS に代わる様々な手法が研究されている。これは、屋外と比べて屋内では GPS 衛星からの電波が届きにくい上に隣接する店舗を区別するなど高精度な測位が求められるためである。

筆者らは、イベント会場や工事現場などにおいて一時的に利

用する位置情報サービスの実現に向けて、オンデマンド屋内位置情報サービスの研究を行っている。オンデマンド位置情報サービスの実現に向けて、測位システム構築コスト、ユーザ端末への測位アプリケーション導入コストの低減が重要となることから、アドホック測位ネットワークを用いた自律分散測位システムを提案している [1]。無線 LAN メッシュネットワーク技術 [2] を用いた測位システムであるアドホック測位ネットワークを利用し、無線 LAN 端末の接続先となっている無線 LAN アクセスポイント (AP) において測位計算を行うことで、AP の設置のみで測位システムを構築することができる。また、各 AP に Web サーバをインストールし、位置情報サービスを Web サービスとして提供することで、ユーザは専用アプリケーションをインストールすることなく Web ブラウザから位置情報サービスを利用することができる。

オンデマンド位置情報サービスを実現するこのような自律分散測位システムにおいては、端末が物理的に集中した場合に通信負荷が特定の AP に集中するという問題がある。自律分散測位システムは端末接続先 AP に RSSI (受信信号強度) 情報を集約させて測位計算を行うため、各 AP は接続されている端末数分の RSSI 情報を収集して測位計算を行うこととなる。このため、1 つの AP への端末接続の集中を防ぐ仕組みが必要となる。

これに向け、本稿では、無線 LAN AP においてアソシエーション応答を確率的に行う「アソシエーション応答確率制御」を提案する。アソシエーション応答確率制御により混雑した AP に端末が接続される確率を下げることで、混雑した AP から空いている AP に端末の接続先が分散され、通信負荷の集中を抑制する。アソシエーション応答確率制御の有効性を示すためにシミュレーション評価を行い、端末の接続先 AP が分散されること、本手法を用いない場合に比べて各 AP の通信量を削減できることを確認した。

本稿の構成は以下の通りである。2. ではオンデマンド位置情報サービスについて述べ、解決したい問題を示す。3. では問題解決のためにアソシエーション応答確率制御を提案する。4. ではシミュレーション評価を行い、アソシエーション応答確率制御の有効性を検証する。最後に 5. でまとめとする。

## 2. オンデマンド位置情報サービス

オンデマンド位置情報サービスでは、アドホック測位ネットワークを用いた分散型測位システムによってユーザ端末を測位し、AP 内の Web サーバによって Web サービスとして位置情報サービスが実現される。アドホック測位ネットワークは、無線 LAN メッシュネットワーク技術によって形成された無線 LAN AP 間ネットワークを用いて無線 LAN 端末の測位を行うシステムである。端末が発した無線 LAN 信号を複数台の AP で観測し、各 AP において RSSI 情報を取得する。RSSI 情報を無線 LAN メッシュネットワークを通じて端末接続先の AP に集め、ITU-R の電波減衰モデル [3] に基づいて多辺測量法により測位計算を行う。得られた端末の位置に基づいて AP 内の Web サーバが Web コンテンツを更新することで位置情報サー

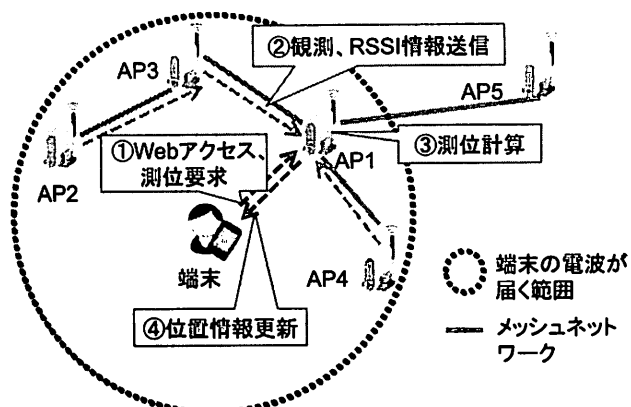


図1 オンデマンド位置情報サービス

ビスが実現される。

図1に、オンデマンド位置情報サービスの概要を示す。まず、ユーザはアドホック測位ネットワークを構築する無線 LAN AP の1つ (図1の場合は AP1) に接続する。(1) ユーザは端末の接続先である AP1 上の Web サーバの位置情報サービスページに Web ブラウザでアクセスする。位置情報サービスページには JavaScript プログラムが含まれており、Web ブラウザは Web サーバに対して定期的に測位要求信号を送信する。(2) AP は常に測位要求信号の電波を監視しておき、測位要求信号を検出した場合にはその RSSI を取得して、RSSI 情報を AP1 に送信する。(3) AP1 は集まった RSSI 情報を基にユーザ端末の位置を計算する。(4) AP1 の Web サーバは得られたユーザ端末位置に応じて Web コンテンツを更新する。

このようなオンデマンド位置情報サービスでは、測位機能を各 AP 内で自律的に動作させることで通信負荷が分散される。例えば、図1では端末周辺で観測した RSSI 情報を端末接続先である AP1 に直接集めて測位計算を行っている。このため、AP5 のように端末から物理的に離れた AP は測位に関与せず、通信を行わない。測位に関与する AP が端末の周辺に限定されるため、端末の物理的な分散に応じて通信負荷がネットワーク全体に分散される。

一方、図2(a)に示すように、特定の AP にユーザ端末の接続先が集中した場合、AP1 付近の通信が混雑し、接続端末の通信品質が低下する。このような通信集中問題を防ぐためには、新たに位置情報サービスの利用者が現れた際に接続先を分散させる手法が有効である。例えば、図2(b)の端末 B のように接続先を混雑している AP1 から空いている AP6 に分散させることで、AP1 の通信量を軽減することができる。

端末の接続先を分散させる手法として、これまでも通信中の ACK 応答制御 [4] や通信量に応じた電波強度の制御 [5] が報告されている。これらの手法によって通信品質を改善できるが、接続前の端末やパッシブスキャンモードの端末には適用することができない。

## 3. アソシエーション応答確率制御

2. で述べたように、オンデマンド位置情報サービスでは端末が物理的に集中した場合に端末接続先を分散させることが求め

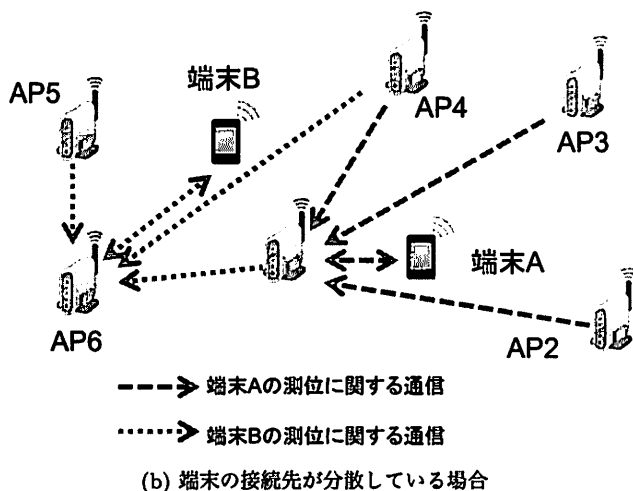
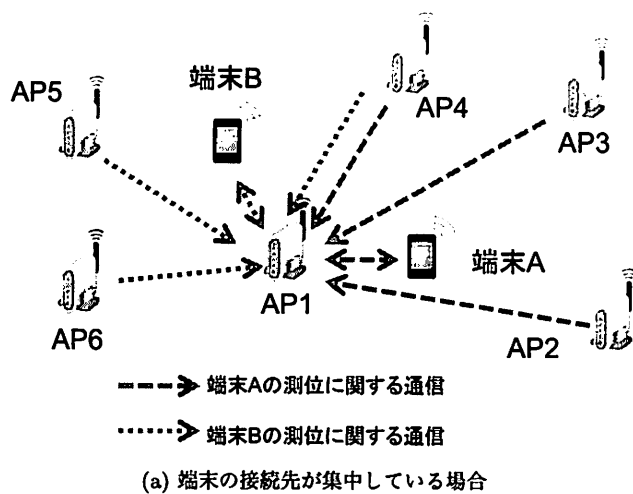


図2 端末の分散によって通信負荷が分散される様子

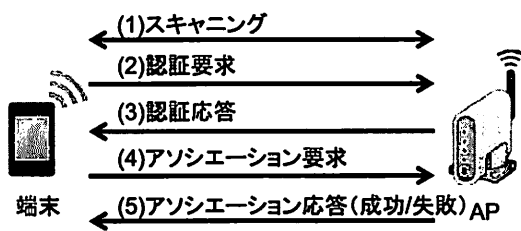


図3 端末接続の通信シーケンス

られる。ここで、AP との接続で必ず行われるアソシエーション応答に着目し、AP の混雑状況に応じて確率的に失敗応答を行うことで端末の接続先を分散するアソシエーション応答確率制御を提案する。本節では、まず端末が AP に接続するまでの流れを説明する。次に、アソシエーション応答確率制御により端末が分散される流れを述べる。

### 3.1 端末接続シーケンス

図3に、端末がAPに接続する際の通信シーケンスを示す。(1) ユーザ端末は、まずAPの発するビーコンやプローブ要求を用いて周囲に存在するAPの情報収集するスキャニングを行い、端末内のAP選択アルゴリズムに従ってAPを1つ選択する。次に、(2) 選択したAPに対して認証要求を送信して選択したAPが端末の利用を許可するかどうかを確認する。(3) AP

は端末が送信した認証情報を検証し、認証応答を送信して端末の使用を許可する。オンデマンド位置情報サービスでは認証において公衆無線LANなどで利用されているオープン認証を用いる。このため、認証応答においては常に成功応答が返される。(4) 端末はAPに対してアソシエーション要求を送信する。アソシエーション要求には、端末が対応している伝送速度やチャネル情報が含まれており、(5) APは使用する伝送速度・チャネルに端末が対応しているかを確認してアソシエーション応答を行う。

### 3.2 アソシエーション応答確率制御

アソシエーション応答確率制御は、APにおけるアソシエーション応答において端末とのアソシエーションが可能と判断した場合に確率的に失敗応答を行う手法である。失敗応答を受信した端末は、端末内のAP選択アルゴリズムに従って再びAPの1つを選択し、接続を試みる。再度アソシエーション要求を送る際に前回と異なるAPを選択する可能性があるため、一定の確率で端末の接続先を変更することが可能となる。APに接続されている端末数の増加に応じて成功応答の確率を減少させることで、接続端末数の少ないAPに端末が接続される確率を高めることができる。

### 3.3 応答確率関数

アソシエーション応答確率制御に向けては、成功応答の確率を決定する応答確率関数が必要となる。応答確率関数  $p(n)$  はAPの端末接続台数  $n$  の関数であり、以下の3つの条件を満たすことが求められる。

- (1)  $p(n)$  は確率関数であるため、 $0 \leq p(n) \leq 1$  である。
- (2)  $p(n)$  は単調減少である。1つのAPへの接続集中を防ぐために、接続端末数の増加とともに成功応答を減少させる。
- (3) 接続台数上限を  $n_{max}$  とすると、 $n > n_{max}$  において  $p(n) = 0$  である。APの通信・計算資源を勘案すると、接続可能な端末数には上限が存在するため、この上限を超えた場合に端末が接続されないようにする。

アソシエーション応答確率制御は端末の集中に伴う通信の集中を緩和させる手法であるため、1つのAPに接続端末が集中した場合に高い効果を得ることが望ましいと考えられる。そこで、接続端末数が多くなるほど応答確率の減少率が大きくなる関数を応答確率関数として利用する。

一例として2次関数を応答確率関数として用いる場合を考える。応答確率関数を  $p(n) = an^2 + bn + c$  とし、接続端末数上限  $n_{max}$  台以上では  $p(n) = 0$  ( $n \geq n_{max}$ ) とする。接続端末数が0台の時は  $p(0) = 1$ 、 $p(n_{max}) = 0$  となるようにパラメータを設定する。  $p(0) = 1$  より直ちに

$$c = 1 \tag{1}$$

が得られる。また、 $p(n_{max}) = 0$  より

$$b = -an_{max} - \frac{1}{n_{max}} \tag{2}$$

となる。さらに、条件(2)より

$$p'(n) = 2an + b \leq 0$$

表 1 シミュレーション評価環境

メッシュネットワーク規格	IEEE 802.11s (5 GHz 帯)
アクセスネットワーク規格	IEEE 802.11b (2.4 GHz 帯)
無線 LAN 端末	端末数 10 ~ 100
	初期配置 一様ランダム
	移動モデル Random Waypoint
測位要求送信間隔	1 秒
RSSI 情報サイズ	10 バイト
シミュレーション時間	10 秒
試行回数	1000 回

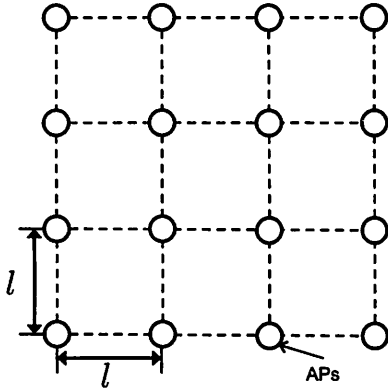


図 4 AP の配置 ( $l=50\text{m}$ )

$$\begin{aligned} (2n - n_{max})a &\leq \frac{1}{n_{max}} \\ |a| &\leq \frac{1}{n_{max}^2} \end{aligned} \quad (3)$$

となる。以上より、接続台数上限から定まる範囲で  $a$  を決定すればその他のパラメータも定まることが分かる。

#### 4. シミュレーション評価

3. で提案したアソシエーション応答確率制御の有効性を検証するため、ネットワークシミュレータ ns-3 [6] を用いてシミュレーション評価を行った。

##### 4.1 評価環境

表 1 にシミュレーション評価環境を示す。オンデマンド位置情報サービスを実現する分散測位システムは、AP 間のメッシュネットワークと、AP と端末間のアクセスネットワークの 2 つのネットワークを利用する。メッシュネットワークとして 5 GHz 帯における単一チャネルを用いた IEEE 802.11s ネットワークを構築した。アクセスネットワークとしては IEEE 802.11b ネットワークを用いた。分散測位システムでは周囲の AP によって端末が発した信号を観測する必要があるため、全ての AP が同一の周波数で動作するように 2.4 GHz 帯の単一チャネルを用いた。

図 4 に示すように、16 台の AP を 50m 間隔で  $4 \times 4$  のグリッド状に配置した。無線 LAN 端末はこのグリッドの領域に一様にランダムに配置した。端末を移動させる場合には Random Waypoint モデルに従って移動させた。

端末数  $N$  は 10 ~ 100 まで 10 刻みに変化させた。端末は 1 秒間隔でアクセスネットワークを介して測位要求信号を模擬す

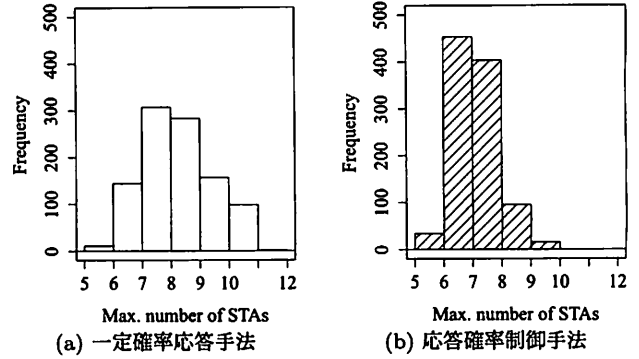


図 5 最大接続端末数のヒストグラム ( $N = 50$ )

る ping パケットを接続先 AP に送信する。この ping パケットを検出した AP は RSSI 情報を生成し、メッシュネットワークを介して UDP 通信で端末接続先 AP に送信する。RSSI 情報のサイズは 10 バイトとした。その他の値は ns-3 の規定値を用いた。10 秒間の通信をシミュレーションし、1000 回の試行を行った。

このような環境下で、以下の 2 つの方式を比較した。

##### (1) 一定確率応答手法

アソシエーション応答の確率が一定である従来手法である。接続台数上限を設けるため、接続台数上限に達するまではアソシエーション応答の確率が 1 であり、上限を超えた場合に 0 となるものとした。接続台数上限  $n_{max} = 10$  とした。

##### (2) 応答確率制御手法 (提案手法)

3. で示したアソシエーション応答確率制御を行う場合である。応答確率関数としては 2 次関数を用いる。接続台数上限  $n_{max} = 10$  とし、式 (1)~(3) に加えて  $p(7) < 0.5$  となるように  $a = -0.005$ ,  $b = -0.05$ ,  $c = 1$  とした。

#### 4.2 最大接続端末数

アソシエーション応答確率制御により端末の接続先が分散されることを確認するため、最大接続端末数を評価した。最大接続端末数は、全 AP の接続端末数の最大値である。シミュレーションにおいて端末は初期配置で固定させ、シミュレーションの終了時に各 AP に接続されている端末数を記録した。

まず、1000 回の試行における最大接続端末数の分布を評価した。図 5 に、端末数  $N = 50$  の場合の最大接続端末数のヒストグラムを示す。図の外観から、(a) の一定確率応答手法より、(b) の応答確率制御手法の方が接続端末数が少ない方へ分布が移動していることが分かる。この結果から、アソシエーション応答確率制御によって  $N = 50$  の場合に端末接続先を分散できていることが確認できる。

図 5 に示したような分布の変化が端末数  $N$  を変化させた場合にも得られることを検証するため、端末数  $N$  を変化させた場合の最大接続端末数を評価した。各端末数  $N$  における最大接続端末数は、各試行における最大接続端末数の全試行に渡る平均値とした。

図 6 に、端末数  $N$  を 10 から 100 まで変化させた場合の最大接続端末数を示す。図 6 より、一定確率応答手法よりも応答確

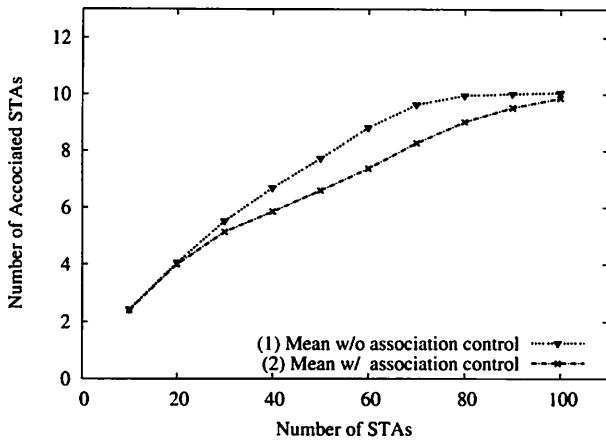


図 6 端末数  $N$  に対する最大接続端末数

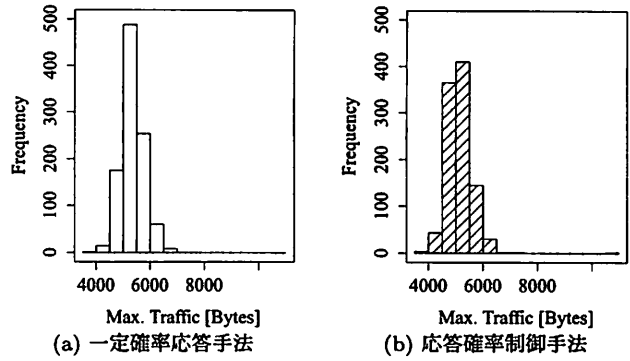


図 7 最大通信量のヒストグラム ( $N = 50$ )

率制御手法の方が最大接続端末数が小さいことが分かる。最大接続端末数の差は端末数の増加とともに増加するが、 $N = 80$ を超えるとその差は再び小さくなる。これは、接続台数上限近くまで端末が接続される AP が増加するためと考えられる。測位システムが収容可能な端末数の限界に近づくほど、アソシエーション応答確率制御による接続先分散の効果も小さくなると言える。

以上の結果から、アソシエーション応答確率制御によって端末の接続先を分散できることが確認できる。

図 6 では、端末数  $N$  が大きい場合に最大接続端末数の平均値が接続台数上限の 10 を超えていることが確認できる。これは、接続端末数の確認とアソシエーション応答に時間差があるためと考えられる。(接続台数上限 - 1) 台の端末が接続されている AP が端末からのアソシエーション要求を受信すると接続端末数を確認してからアソシエーション応答を返却し、接続端末数に 1 を加える。しかし、AP がアソシエーション応答を返却する直前に別の端末からアソシエーション要求を受信した場合、AP はこの端末に対してもアソシエーション応答を返却し、接続端末数に 1 を加える。この結果、AP には (接続台数上限 + 1) 台の端末が接続されることとなる。

### 4.3 最大通信量

アソシエーション応答確率制御により特定の AP における通信の混雑を緩和できることを確認するため、最大通信量を評価した。各 AP の通信量は、シミュレーション時間全体において各 AP が送信・転送した RSSI 情報のデータ量の総和である。最大通信量は全 AP の通信量の最大値である。端末は初期配置から移動させて通信をシミュレーションした。

まず、1000 回の試行における最大通信量の分布を評価した。図 7 に、端末数  $N = 50$  の場合の最大通信量のヒストグラムを示す。最大接続端末数の場合と同様に、(a) の一定確率応答手法と (b) の応答確率制御手法を比較するとアソシエーション応答確率制御によって通信量が小さい方向へ分布が移動していることが分かる。

図 7 に示したような分布の変化が端末数  $N$  を変化させた場合にも得られることを検証するため、端末数  $N$  を変化させた

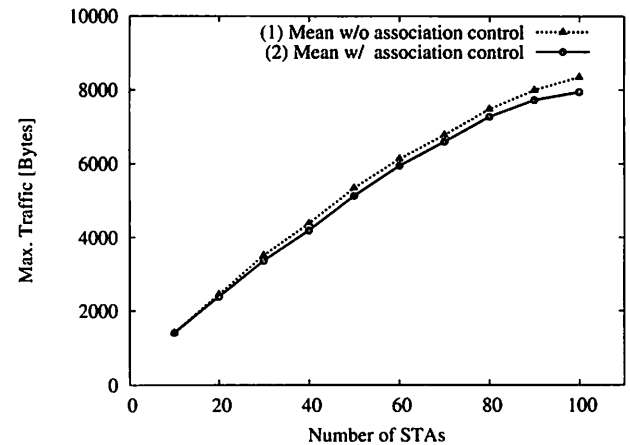


図 8 端末数  $N$  に対する最大通信量

場合の最大通信量を評価した。各端末数  $N$  における最大通信量は、各試行における最大通信量の全試行に渡る平均値とした。

図 8 に、端末数  $N$  を 10 から 100 まで変化させた場合の最大通信量を示す。図 8 より、一定確率応答手法よりも応答確率制御手法の方が最大通信量が小さいことが分かる。この結果から、アソシエーション応答確率制御によって端末の集中による通信の集中を緩和できることが確認できる。

## 5. おわりに

本稿では、アドホック測位ネットワークを利用したオンデマンド位置情報サービスの実現に向けて、端末の物理的な集中によって通信が集中するという問題を解決する必要があることを示した。この解決に向け、接続端末数に応じて確率的に失敗応答を行うアソシエーション応答確率制御を提案し、シミュレーション評価を通して端末の接続先が分散されること、通信集中が軽減することを確認した。

今後の課題としては、応答確率関数の最適化や、RSSI 情報を接続先 AP に集めるまでのルーティングプロトコルの検討などが考えられる。

謝辞 本研究の一部は、科研費 (25870928) 及び文部科学省「社会システム・サービスの最適化のための IT 統合システム構築」(採択課題名: 「社会システム・サービス最適化のためのサイバーフィジカル IT 統合基盤の研究」) の助成で行われた。

## 文 献

- [1] 和泉 晃, 石田繁巳, 田頭茂明, 荒川 豊, 福田 晃, “アドホック測位ネットワークにおけるアプリケーションレス測位手法,” 信学技報, pp.1-6, モバイルネットワークとアプリケーション研究会 (MoNA2013-69), Jan. 2014.
- [2] S.A. Mahmud, S. Khan, S. Khan, and H. Al-Raweshidy, “A comparison of MANETs and WMNs: Commercial feasibility of community wireless networks and MANETs,” Proc. ACM Int. Conf. Access Networks (AccessNets), no.18, pp.1-7, Sept. 2006.
- [3] ITR-R, “Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz,” Recommendation ITU-R P.1238-1, 1999.
- [4] 山下 豊, 渡部公介, 小室信喜, 阪田史郎, 塩田茂雄, 村瀬 勉, “複数無線 LAN の合計スループットを最大化するための受信機制御によるアクセスポイント選択方式,” 信学技報, pp.13-18, ネットワークシステム研究会 (NS2011-52), July 2011.
- [5] 樋口豊章, 伊藤将志, 渡邊 晃, “無線メッシュネットワークにおける通信品質向上の提案と評価,” 情報処理学会研究報告, pp.49-56, モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会, Jan. 2009.
- [6] “Network simulator ns-3”. <https://www.nsnam.org/>.