

アドホック測位ネットワークにおけるアドレス変換を用いた 負荷分散手法の初期的評価

石田 繁巳[†] 梶村 順平[†] 田頭 茂明^{††} 福田 晃[†]

[†]九州大学大学院システム情報科学研究院 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地

^{††}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、一時的な屋内位置情報サービスの実現に向けて WiFi メッシュネットワークを用いた測位システムである AWPN (アドホック測位ネットワーク) の開発を行っている [1, 2]. 本稿では, AWPN を用いた大規模な測位システムの実現に向け, AWPN における測位計算負荷分散手法を示す. AWPN では WiFi 端末が発した信号の RSS (受信信号強度) を複数の WiFi AP (アクセスポイント) で測定し, これらを測位サーバに転送して端末位置を推定する. そこで, MapReduce 型の分散計算において Map 処理を AP 上で, Reduce 処理を測位サーバ上で行うことで測位計算負荷を分散させる. また, Reduce 処理を分散計算ノードへ割り当てる Shuffle 処理をネットワークルータ上のアドレス変換によって行うことで, 測位サーバの台数変更に対して AP のファームウェア更新を必要としない柔軟な分散処理を実現する. 九州大学ウエスト 2 号館内に 4 台の AP を設置して収集した RSS 情報を用いて評価を行った結果, 測位計算負荷を約 25% のばらつきで測位サーバに分散できることを確認した.

キーワード アドホック測位ネットワーク, 負荷分散, ネットワークアドレス変換.

Initial Evaluation of Load Balancing using Network Address Translation for Ad-hoc Wireless Positioning Network

Shigemi ISHIDA[†], Jumpei KAJIMURA[†], Shigeaki TAGASHIRA^{††}, and Akira FUKUDA[†]

[†] Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University
Motooka 744, Nishi-ku, Fukuoka, 819-0395 Japan

^{††} Faculty of Informatics, Kansai University
2-1-1 Ryozenji-cho, Takatsuki-shi, OSAKA, 569-1095 Japan

Abstract We have developed an Ad-hoc Wireless Positioning Network (AWPN) to realize on-demand indoor location-based services [1, 2]. This paper extends our AWPN to handle huge number of localization requests. In the AWPN, WiFi APs measure received signal strength (RSS) of WiFi signals and send the RSS information to a localization server via a WiFi mesh network. The maximum number of WiFi devices is therefore limited by computational resources on the localization server. We push this limit by introducing a new load balancing technique: we use MapReduce computation framework and perform map operations on APs and reduce operations on localization servers. We also utilize a network router for shuffle operations using network address translation to avoid AP firmware update to adopt changes of the number of localization servers. We implemented and evaluated our load balancing technique to demonstrate that the load balancing evenly distributes localization calculations to multiple localization servers with approximately 25% variations.

Key words Ad-hoc wireless positioning network, load balancing, network address translation.

1. はじめに

GPS (Global Positioning System) モジュールを搭載したスマートフォンなどの普及とともに, ユーザの位置に応じて目

的地への案内や周辺情報の提供などを行う位置情報サービスが広がりを見せている. GPS は屋外でのみ利用可能であるため, 位置情報サービスを屋内へと拡大するために屋内測位システムの研究開発が進められている.

筆者らは、イベント会場や工事現場などにおいて利用するための一時的な屋内位置情報サービスの実現に向けて、AWPN（アドホック測位ネットワーク）の研究を行っている [1,2]。AWPN は、WiFi AP（Access Point: アクセスポイント）間の通信によってネットワークを構築する WiFi メッシュネットワーク技術 [3] を用いた測位システムである。WiFi 端末が発した ProbeRequest フレームを複数台の AP で受信し、その RSS（受信信号強度）情報を WiFi メッシュネットワークを通じて測位サーバに転送して測位計算を行う。

AWPN において測位対象エリアを拡大する場合、設置する AP 数の増加や測位対象となる端末数の増加によって測位サーバが受信する RSS 情報が増加し、測位計算負荷が重くなるという問題が生じる。1 台の WiFi 端末が発した 1 つの信号から位置を推定する測位計算は数ミリ秒程度で可能であるが [4]、数百台の端末の測位計算負荷は無視できない。特に、スマートフォンなどの WiFi 端末は 1 秒間に複数回という高い頻度で ProbeRequest フレームを送信することがあり、測位計算負荷増加の要因の 1 つとなる。

このような計算負荷問題に対しては Hadoop [5] を代表とする MapReduce 型 [6] の分散計算システムが広く利用されているが、AWPN においては十分な負荷分散効果を得ることが難しい。MapReduce 型の分散計算システムでは Map と呼ばれる振り分け、Reduce と呼ばれる集計に分けて処理が行われ、これらを複数のノードに分散させることで負荷分散が行われる。AWPN の測位計算は軽量であり、Map 処理・Reduce 処理を複数ノードに割り当てる Shuffle 処理や、処理結果データの通信オーバーヘッドが無視できない。

AWPN における測位計算負荷分散に向けた新たなアプローチとして、本稿では WiFi AP において測位サーバを自律的に選択する負荷分散手法を示す。本手法のキーアイデアは、これまでの分散計算システムで利用されてきた MapReduce 型処理における Map 処理を AP 上で行うことにある。ProbeRequest フレームを受信した AP はその RSS を測定し、RSS 情報を生成して測位サーバに送信する。このとき、RSS 情報の送信先測位サーバを ProbeRequest フレームの情報から決定する。これにより 1 台の端末が発した同一の ProbeRequest フレームに関する RSS 情報を同じ測位サーバに集約させることができる。

実環境では測位サーバの増設などによって多数の AP のファームウェアを書き換えることは非現実的であるため、提案する負荷分散手法ではネットワークアドレス変換を利用した Shuffle 処理によって測位サーバの台数変更に対応する。AP では受信した ProbeRequest フレームの情報に基づいて未使用のアドレス空間のアドレスを生成し、そこに向けて RSS 情報を送信する。送信された RSS 情報がネットワークルータに到達するとルータにおいてアドレス変換を施し、送信先アドレスを測位サーバのアドレスに書き換える。測位サーバの台数変更された場合にはルータのアドレス変換ルールを変更する。

提案する負荷分散手法によって測位サーバ負荷を均一に分散させることができることを検証するため、九州大学ウエスト 2 号館内に AP を 4 台設置して収集したデータを用いた評価を行った。その結果、20 台未満の測位サーバを用いる場合には分散するデータ量のばらつきが約 25% となることを確認した。

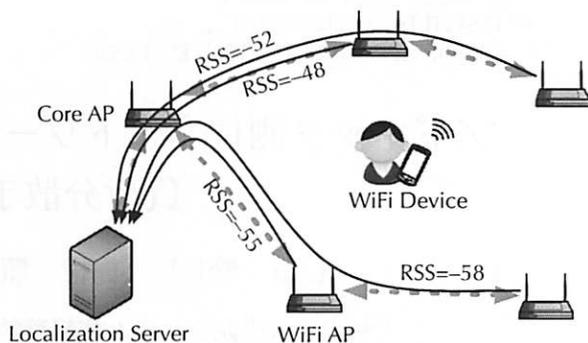


図 1 AWPN（アドホック測位ネットワーク）の概要

本稿の構成は以下の通りである。2. ではアドホック測位ネットワークについて述べ、測位対象端末の増加に伴う課題について述べる。3. ではアドホック測位ネットワーク向けの負荷分散手法を示し、4. で提案手法を用いた負荷分散システムを実装する。5. で負荷分散手法の評価を行い、最後に 6. でまとめとする。

2. アドホック測位ネットワーク

AWPN（アドホック測位ネットワーク）は、WiFi メッシュネットワーク技術によって形成された WiFi AP 間ネットワークを用いて WiFi 端末の測位を行うシステムである。図 1 に AWPN の概要を示す。AWPN では測位対象エリアに複数台の WiFi AP を設置し、1 台の AP には測位サーバを接続しておく。設置された AP はメッシュネットワーク技術を用いてマルチホップ通信によるネットワークを自動的に形成する。測位対象エリア内で WiFi 端末が発した信号を受信すると、複数台の AP がその信号を受信して RSS（受信信号強度）及び送信元アドレスを記録する。測定した RSS と送信元アドレスはまとめて RSS 情報として測位サーバに送信され、測位サーバにおいて多辺測量法などを用いて WiFi 端末の位置を推定する。

AWPN において測位計算負荷を分散させる場合には以下の 2 つの要件が求められる。

1 つ目は、測位サーバ台数の増減が AP に影響しないことである。測位計算負荷を分散させるとき、負荷が大きい場合には新たな測位サーバを追加するなど測位サーバ台数の変更が予想される。AWPN では測位対象エリアに数十～数百台の AP を設置することが想定されるため、測位サーバ台数の変更が AP の設定やファームウェアの変更に影響すると測位サーバの増減に伴って全ての AP のメンテナンスが必要となり、非現実的である。

2 つ目は、膨大な回数の測位計算を高速に行えることである。WiFi の通信距離を考慮すると WiFi 端末が発した ProbeRequest フレームはただか数台の AP で受信されるため、1 回の測位計算で使用される RSS 情報はただか数個である。受信した RSS 情報の処理は膨大な回数の測位計算となるため、測位計算を行うためのオーバーヘッドは可能な限り小さいことが望ましい。

このような要件を有する AWPN の測位計算負荷分散において既存の MapReduce 型の分散計算システムを導入すると、Map 処理・Reduce 処理の割り当てを行う Shuffle 処理やデー

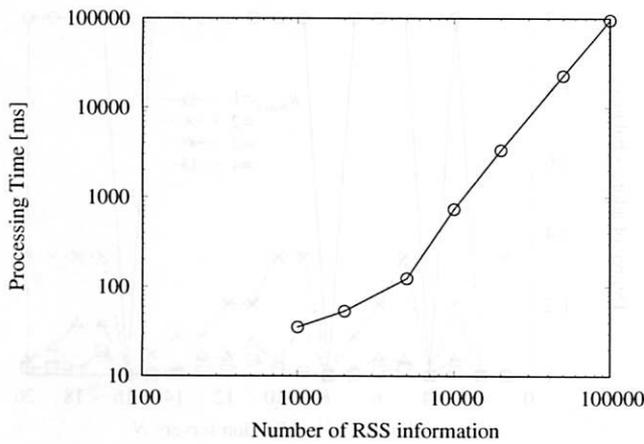


図2 MongoDBにおけるMapReduceを用いたRSS情報の集計処理時間の例

タ通信のオーバーヘッドが大きく、十分な負荷分散効果を得ることが困難である。MapReduce型処理ではRSS情報を分散データベースに集約させた後に測位計算が行われる。測位計算は、データベースに集約されたRSS情報を解析して端末毎・端末が発した信号毎に振り分けるMap処理と、振り分けられたRSS情報を用いて測位計算を行うReduce処理に分けて行われる。Map処理・Reduce処理の割り当て、すなわちShuffle処理はマスターノードと呼ばれる1台で行われるため、軽量の計算を膨大な回数繰り返すAWPNの測位計算ではマスターノードの負荷が無視できなくなる。また、Map処理・Reduce処理の結果は分散されたノードに保存されるため、Reduce処理ではMap処理結果を収集するデータ通信のために遅延が発生する。

図2は分散データベースMongoDBを用いてRSS情報の処理を行った場合の処理時間の例を示している。実環境で収集したRSS情報を1台のMongoDBに集約し、MongoDBのMapReduce機能を用いて端末毎・送信信号毎に振り分けてその個数をカウントする処理を行った。試行回数は100回である。図より、処理するRSS情報数が5,000を超えると処理するRSS情報数の増加とともに処理時間も大幅に増加していることが確認できる。測位計算を行わずRSS情報の個数をカウントするだけでもRSS情報の処理回数が膨大であるため、オーバーヘッドにより負荷が増加する。

3. アドレス変換を用いた負荷分散

2.で示した要件を満たすAWPN（アドホック測位ネットワーク）向けの負荷分散手法への新たなアプローチとして、本節ではアドレス変換を用いた負荷分散手法を示す。

3.1 概要

図3に、アドレス変換を用いたAWPN向け負荷分散の概要を示す。アドレス変換を用いた負荷分散手法のキーアイデアは、MapReduce型の分散計算システムにおけるMap処理をAP上で、Shuffle処理をネットワークルータ上で行うことである。WiFi端末がProbeRequestフレームを送信すると複数のAPがこれを受信してRSS（受信信号強度）を測定する。このとき、受信したProbeRequestフレームに基づいたkey値を計算するMap処理を行い、RSS値とともにRSS情報としてネットワー

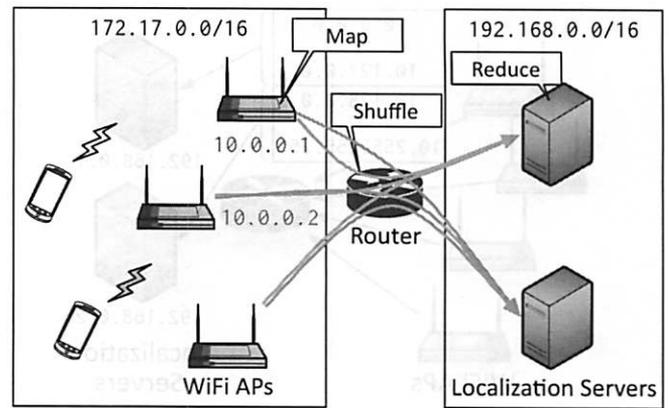


図3 アドレス変換を用いた負荷分散の概要

クルータに向けて送信する。ネットワークルータは受信したRSS情報のkey値に基づいてShuffle処理を行い、同じkey値を持つRSS情報を1台の測位サーバに転送する。測位サーバは受信したRSS情報を用いて測位計算、すなわちReduce処理を行う。

以降ではAPにおけるMap処理及びネットワークルータにおけるShuffle処理について詳述する。

3.2 受信フレームに基づいたMap処理

APにおけるMap処理では、APが受信したProbeRequestフレームの情報に基づいてkey値を計算する。ProbeRequestフレームの受信に伴って以下のような情報が得られる。

- ProbeRequestフレーム受信時刻
- 送信元WiFi端末のMACアドレス
- ProbeRequestフレームのSequence番号

key値とIPアドレスを関連付けておき、APは計算したkey値に関連付けられたIPアドレスに対してRSS情報を送信する。AWPN上で使用されていないアドレス空間を用い、ネットワークルータをデフォルトゲートウェイと設定しておけばRSS情報をネットワークルータに集約できる。例えば、図3に示した例で10.0.0.0/8というアドレス空間のアドレスに向けてRSS情報を送信することで、Shuffle処理を行うネットワークルータにRSS情報が集約される。

APの計算リソースは限られているため、key値の計算は簡素なものが望ましい。ここでは、8ビットのkey値 k を計算してIPアドレス空間10.0.0.0/24にそのまま対応させる場合を考える。もっとも単純な例として、送信元端末のMACアドレスの下位1バイト m とSequence番号 s からRSS情報の送信先IPアドレスの下位1バイト d を以下のように計算できる。

$$d = k, \quad k = (m + s) \bmod 256 \quad (1)$$

同一のWiFi端末が連続してProbeRequestフレームを送信する可能性があることを考慮し、この例に見られるようにSequence番号を含めてkey値を計算する。

3.3 アドレス変換を用いたShuffle処理

ネットワークルータにおけるShuffle処理では、未使用のアドレス空間に向けて送信されてきたRSS情報をネットワークアドレス変換機能によって測位サーバに転送する。これにより、ネットワークルータの設定を変更するだけで測位サーバの台数

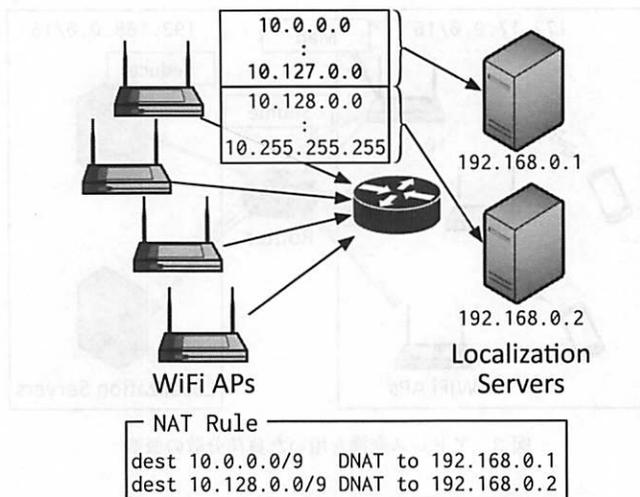


図4 アドレス変換を用いた Shuffle 処理の概要

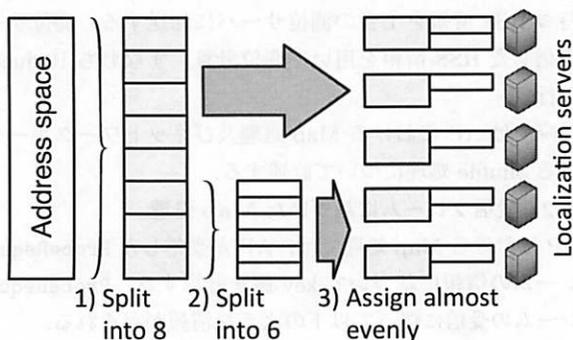


図5 アドレス空間の分割例 (測位サーバ台数 $N = 5$, 最大分割回数 $k_{max} = 2$ の場合)

変更に対応できる。

図4に、ネットワークルータにおける Shuffle 処理の概要を示す。図では、AP から $10.0.0.0/8$ のアドレス空間に向けて送信された RSS 情報を $192.168.0.1$, $192.168.0.2$ の2台の測位サーバに転送する例を示している。送信先のアドレス空間 $10.0.0.0/8$ を $10.0.0.0/9$ と $10.128.0.0/9$ という2つのサブネットに分割し、各サブネット宛の RSS 情報を各測位サーバに転送する。Reduce 処理の分散先を均等にするために2つのサブネットは同じ大きさのアドレス空間となるように分割する。

本方式では測位サーバの台数 N が 2^n 台 (n は $n \geq 0$ の整数) でない場合にアドレス変換ルールが複雑になるという問題がある。例えば、図4に示した例で測位サーバを3台にする場合、理想的にはアドレス空間が同一の大きさとなるように

- $10.0.0.0 \sim 10.85.85.84$
- $10.85.85.85 \sim 10.170.170.169$
- $10.170.170.170 \sim 10.255.255.255$

の3つに分割することが望ましい。しかしながら、85, 170 は16進数でそれぞれ55, AAであり、ネットマスクだけで分割することは困難である。

測位サーバの台数 N が 2^n 台でない場合には、サブネットの数が N を超えるまでアドレス空間を 2^n 個のサブネットに分割し、各サブネットを各測位サーバに割り当ていく。ここでは測位サーバ台数 $N = 5$ の例を用いて説明する。図5に示すよう

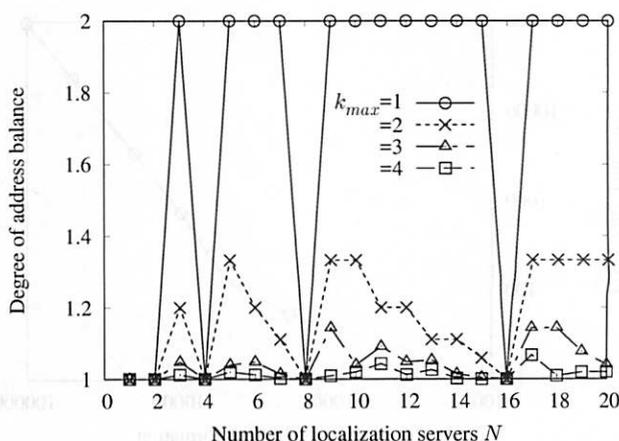


図6 測位サーバの台数 N に対するアドレス均一度 (最大分割回数 $k_{max} = 1, 2, 3, 4$ の場合)

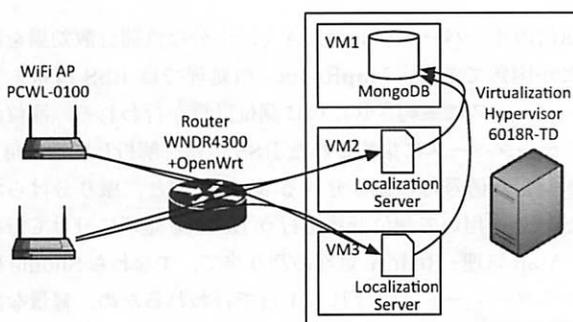


図7 実装の概要

に、まず分割したサブネットの個数が $N = 5$ を超えるようにアドレス空間を8個のサブネットに分割し、5個のサブネットはそのまま各測位サーバに割り当てる。残った3個のサブネットは6個のサブネットに分割して各測位サーバに割り当てる。このような分割操作を最大分割回数 k_{max} 回まで繰り返した後、残ったサブネットは一部の測位サーバに割り当てる。

サブネット分割を用いたこのようなアドレス空間の割り当ては測位サーバに対するアドレス空間の不均一な割り当て、さらには測位計算負荷の不均一な割り当てにつながるが、最大分割回数 k_{max} を大きくすれば不均一性を小さくできる。図6に、測位サーバの台数 N に対するアドレス均一度 (Degree of address balance) を示す。アドレス均一度は、測位サーバに割り当てられたアドレス数の最大値と最小値の比であり、1に近いほどアドレスが均一に割り当てられていることを示している。図より、最大分割数 k_{max} を1~4まで変化させるとアドレス均一度の最大値は2, 1.33, 1.14, 1.07と小さくなっていくことが分かる。アドレス空間を細かく分割しての転送はネットワークルータの負荷を増加させるため、最大分割数は測位サーバにおける測位計算負荷の均一化とネットワークルータの負荷のトレードオフから決定する。

4. 実装

提案するAWPN (アドホック測位ネットワーク) 向け負荷分散手法の動作の実証と基本性能の評価に向けて、WiFi Meshノードを用いて提案する負荷分散手法を実装した。図7に

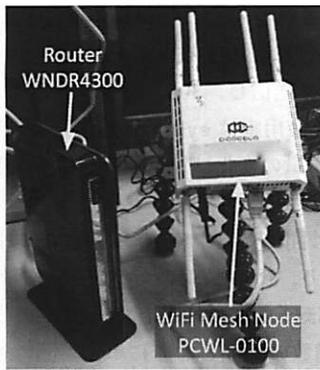


図 8 実装に用いた AP 及びネットワークルータ

表 1 PCWL-0100 の主要諸元 (抜粋) [7]

見通し内中継回線到達距離	約 150 m (伝搬環境によって変化)
中継回線出力	16 dBm
アクセス回線出力	16 dBm
アクセス回線無線 IF	IEEE 802.11b/g 対応
中継回線無線 IF	2 つ内蔵 (アクセス回線無線 IF とは別)
	5.15 ~ 5.35 GHz
本体サイズ	幅 142 mm × 縦 118 mm × 奥行き 39 mm

実装の概要を、図 8 に実装に用いた WiFi メッシュノード及びネットワークルータを示す。

WiFi メッシュノードとして PicoCELA 社の PCWL-0100 [7] (以下 PCWL と表記) を用いた。表 1 に PCWL の主要な諸元を示す。PCWL は中継機能を有した WiFi AP であり、PCWL 間のマルチホップ通信により自動的にネットワークを構築することができる。PCWL 上では Linux が動作している。この Linux 上で、ProbeRequest フレームを受信して RSS 情報を生成して Map 処理を行うプログラムを動作させた。ネットワークルータは OpenWrt の動作する Netgear 社の WNDR4300 である。

測位サーバは仮想化ハイパーバイザ VMware ESXi 6.0 を用いて作成した仮想マシン上に構築した。仮想化サーバは Supermicro 6018R-TD であり、CPU は 8 コア・動作周波数 1.8 GHz の Intel XeonE5-2630Lv3、メモリは 16 GB、2 TB の HDD を 4 台を搭載している。この仮想化サーバ上で CPU 数 1、メモリ 2 GB の仮想マシンを 3 台作成し、Debian/GNU Linux 8.0 を動作させた。3 台の仮想マシンにおけるディスクアクセスが互いに影響しないように仮想マシンは物理的に異なる HDD 上に作成した。

1 台の仮想マシン上で測位結果を格納するデータベースを動作させ、残りの 2 台の仮想マシン上で測位サーバプログラムを動作させた。測位結果を格納するデータベースは MongoDB である。測位サーバは C++ プログラムとして実装した。測位サーバではネットワークルータから受信した RSS 情報を用いて多辺測量法により WiFi 端末の位置を推定し、その結果をデータベースに送信する。

5. 評価

3. で示した負荷分散手法の初期的な性能評価として RSS 情報送信先の均一度を評価した。均一度は、RSS 情報がどの程度均一に測位サーバに分散されるかを示す指標である。また、

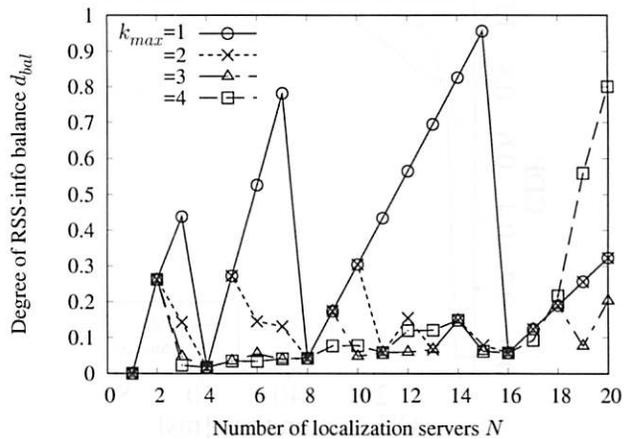


図 9 測位サーバ台数に対する RSS 情報送信先の均一度 d_{bal}

AWPN (アドホック測位ネットワーク) 導入時に何台の測位サーバが必要となるかを見積もるため、測位計算時間と測位計算負荷を評価した。

均一度と測位計算時間の評価では、実環境で収集したデータを用いた。九州大学伊都キャンパスウエスト 2 号館 7 階の研究室内に PCWL を 4 台設置し、スマートフォンなどの WiFi 端末が発した ProbeRequest フレームを受信して RSS 情報を生成した。約 3.5 日間に渡って 137,061 個の RSS 情報を収集し、評価に用いた。4 台の AP で得られる RSS 情報の数は負荷分散が必要となるほど多くはないため、1 台の測位サーバを用いて RSS 情報の収集と測位計算を行った。

5.1 RSS 情報送信先の均一度

測位サーバ台数を変化させた場合に各サーバが受信する RSS 情報数のばらつきを評価するため、収集した RSS データを用いて RSS 情報送信先の均一度を評価した。均一度 d_{bal} は、測位サーバ i が受信した RSS 情報の数 n_i を用いて以下で定義される。

$$d_{bal} = \max \left| \frac{n_i - \bar{n}}{\bar{n}} \right| \quad (2)$$

ここで \bar{n} は測位サーバが受信した RSS 情報数の平均値である。均一度が 0 に近いほど RSS 情報が測位サーバ群に対して均一に分散されたと言える。

3.2 で示した式 (1) による Map 処理と、3.3 で示した Shuffle 処理を用いて RSS 情報を測位サーバに分散させた場合に各測位サーバが受信する RSS 情報数を算出した。この結果を式 (2) に代入して均一度を求めた。

図 9 に測位サーバ台数 N に対する均一度 d_{bal} を示す。図 9 と図 6 とを比べると、アドレス均一度が大きい場合には RSS 情報の受信回数にばらつきが生じて均一度が大きくなることが分かる。最大分割回数 k_{max} を大きくすると均一度の最大値は小さくなる傾向にある。 $k_{max} = 1 \sim 4$ の範囲では $k_{max} = 3$ のとき最大で 0.26 となっている。送信先アドレスがアドレス空間上で均一に分布していないことを考慮すると、均一な負荷分散のためには式 (1) で示したような単純な key 値の計算ではなく、適切な hash 関数の検討が必須であると考えられる。

5.2 測位計算時間

RSS 情報の収集と同時に 1 台の測位サーバを用いて測位計算

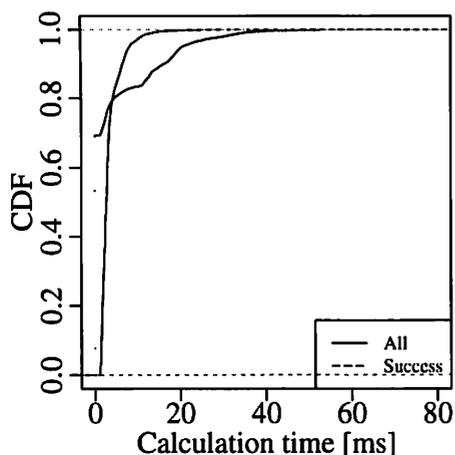


図 10 測位計算時間の累積分布

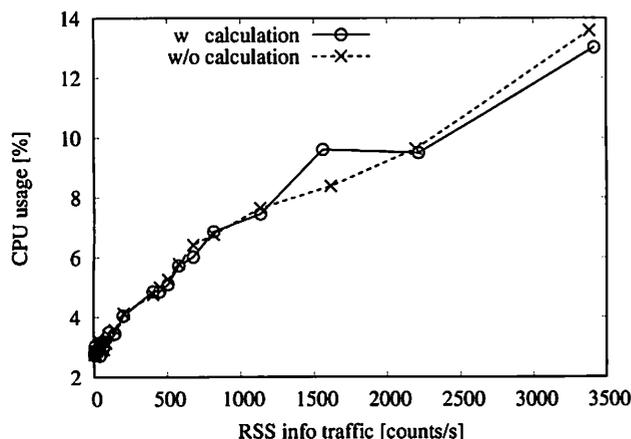


図 11 1秒間に受信するRSS情報数に対するCPU使用率

を行い、各端末の測位計算に要した時間を計測した。137,061個のRSS情報を用いて80,941回の測位計算が行われた。

図10に測位計算時間の累積分布を示す。黒線は全測位計算、青線は測位に成功して計算結果が得られた場合をそれぞれ示している。図より、80%以上の測位計算は5ミリ秒以内に完了していることが分かる。また、測位が成功したものに限り83.6%が5ミリ秒以内に、96.9%が10ミリ秒以内に測位計算が完了している。並列計算を行わない場合には1秒間に100回以上の測位計算を行う場合に測位サーバを複数台用意すれば良いと言える。

測位計算に成功して測位結果が得られたのは全体の8.6%の6,955回である。評価では4台のAPを用いたが、多辺測量法を用いた測位計算には4台のAPからのRSS情報が必要となるため4台全てのAPからRSS情報が送信されないと測位計算を行うことができない。RSS情報の個数が足りずに測位計算を行うことができなかった場合は測位計算全体の69.3%を占め、5ミリ秒以内に測位計算が完了した。長い計算時間を要したのはその他の理由で測位計算が失敗した場合、すなわち測位計算が失敗した場合である。

5.3 測位計算負荷

測位計算負荷に比べてRSS情報を受信する処理の負荷が高いことを検証するため、RSS情報のトラフィック量を変化させ

ながら測位計算を行う場合と行わない場合のCPU使用率を比較した。測位計算に成功するダミーのRSS情報を測位サーバに対して周期的に送信し、300秒間のCPU使用率の平均値を評価した。CPU使用率はsysstatを用いて取得した。RSS情報のトラフィック量の変化は1秒間に送信するRSS情報の数を変化させて模擬した。

図11に、1秒間に受信するRSS情報数に対するCPU使用率を示す。図より、RSS情報のトラフィック量の増加とともにCPU使用率がほぼ線形に増加しているということが分かる。RSS情報の受信数の増加とともに単位時間に行うRSS情報の受信処理、測位計算の回数が増加するためにCPU使用率が増加すると考えられる。

測位計算を行う場合と行わない場合でCPU使用率に大きな差は確認できない。測位計算の有無による差は測位計算のCPU使用を示すと考えられるため、測位計算処理はRSS情報の受信処理に比べて軽量であると言える。

6. おわりに

AWPN(アドホック測位ネットワーク)を用いた大規模な測位システムの構築に向けて、本稿ではAWPN向けの測位負荷分散手法を示した。本分散手法では、MapReduce型処理のMap処理をAPで、Shuffle処理をネットワークルータにおけるネットワークアドレス変換で、Reduce処理を測位サーバによって行う。測位サーバの台数を変更された場合にはネットワークルータのアドレス変換ルールを書き換えるだけで良いため、測位サーバ台数変更にも柔軟に対応できる。実空間上で収集したデータを用いて評価を行った結果、Shuffle処理のアドレス変換設定を適切に施すことで測位計算負荷を約25%のばらつきで測位サーバに分散できることを確認した。

謝辞 本研究の一部は、科研費(15H05708, 15K12021, 16K16048)及び東北大学電気通信研究所における共同プロジェクト研究の助成で行われた。

文 献

- [1] 石田繁巳, 田頭茂明, 福田 晃, “オンデマンド位置情報システムに向けた分散測位システムの通信量評価,” 信学技報, pp.169–174, 知的環境とセンサネットワーク研究会 (ASN2014-141), Jan. 2015.
- [2] S. Ishida, S. Tagashira, Y. Arakawa, and A. Fukuda, “On-demand indoor location-based service using ad-hoc wireless positioning network,” Proc. IEEE Int. Conf. Embedded Software and Systems (ICCESS), pp.1005–1013, Aug. 2015.
- [3] 阪田史郎, 青木秀憲, 間瀬憲一, “アドホックネットワークと無線LANメッシュネットワーク,” 信学論 (B), vol.J89-B, no.6, pp.811–823, June 2006.
- [4] 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.
- [5] The Apache Software Foundation, “Apache Hadoop”. <http://hadoop.apache.org/>.
- [6] J. Dean and S. Ghemawat, “MapReduce: Simplified data programming on large clusters,” Commun. ACM, vol.51, no.1, pp.107–113, Jan. 2008.
- [7] PicoCELA, “PCWL-0100カタログ,” available online. <http://www.picocela.com/12477.html>.