

ネットワーク主導強制ハンドオーバーによる無線LAN負荷分散

吉田 智哉[†] 宮本 剛[‡] 黒田 正博[‡] 石原 進^{††}

[†] 静岡大学大学院理工学研究科 [‡] 情報通信研究機構 ^{††} 静岡大学工学部

Load Balancing of Wireless LAN with network triggered handover

Tomoya Yoshida[†] Goh Miyamoto[‡] Kuroda Masahiro[‡] Susumu Ishihara^{††}

[†] Graduate School of Science and Engineering, Shizuoka University [‡] National Institute of Information and Communications Technology ^{††} Faculty of Engineering, Shizuoka University

1 はじめに

CSMA/CA を基本とする MAC プロトコルを使用する無線 LAN のアクセスポイント (AP: Access Point) が提供する無線通信資源は、その AP に接続する移動端末 (MD: Mobile Device) によって共有されるため、AP に接続する MD の増加に伴い MD1 台当たりのスループットは低下してしまう。また、現在多くの MD は電波強度を基に自分に最も近い AP を選択するために、同一地域で利用可能な AP の負荷が不均一になり、ネットワーク全体のスループットを十分に高くできないという問題が生じてしまう。そのため、同一地域で異なるチャンネルを使用して複数の AP が利用可能な場合、AP の負荷状態に基づき適切な AP に MD を接続させるのが理想的である。

以上の問題を解消する方式の 1 つに [1] で提案されている自律分散型の AP 選択機構がある。MD 側で各 AP 毎に獲得可能なスループットを予想し、その値が最大になる AP を選択する方式である。しかし、様々なフローが発生した場合には MD 側で最適な AP を選択するのではなく、ネットワーク側で各 MD が接続する AP を選択し、その AP に MD を強制的にハンドオーバーさせる方式が有効であると考えられる。以下、ここで示したような個々の端末が AP より得る情報及び、ローカルに取得できる情報を元に接続先の AP を決定する手法を、端末主導型の AP 選択手法と呼ぶ。

本論文ではネットワーク側に配置された管理サーバが各 AP から定期的に送られてくる報告を基に負荷の状態を監視し、各 AP の負荷状況に応じて同一地域をカバーする負荷の低い隣接 AP に強制的に MD をハンドオーバーさせることにより無線 LAN の負荷を分散する手法を提案する。

2 ネットワーク主導強制ハンドオーバーによる負荷分散

2.1 目的と基本動作

本手法では一部の AP に負荷が集中するのを防ぎ、カバー域を共有している他の AP に負荷を分散させることで AP に接続する MD の通信の公平性を実現し、かつネットワーク全体のスループットを向上することを目的とする。例えば図 1 のような同一地域に複数の AP が配置されている環境下において、混雑している AP (AP1, AP3) に複数の MD が接続している一方で、MD が接続されていない AP (AP2) があるものとする。各 AP は管理サーバへ定期的に自身の負荷状況等を報告する。管理サー

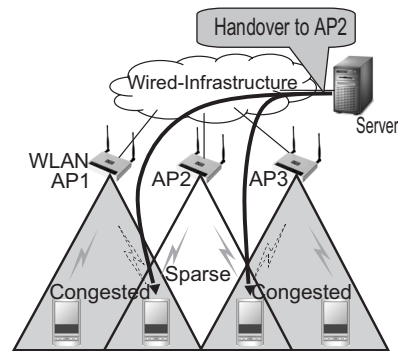


図 1: 想定環境

バはその報告を基に負荷の高い AP から負荷の低い AP へと MD を強制的にハンドオーバーさせる。これにより各 AP の負荷が分散され、ネットワーク全体のスループット向上が期待できる。本方式は (i) AP からの定期的な報告を基に負荷を計算する AP 負荷評価値の計算と (ii) 各 AP の負荷評価値を基に、評価値の高い AP から低い AP へ強制ハンドオーバーさせる MD を選出する処理の 2 つから構成される。

2.2 負荷評価値の計算

負荷評価値 A とは各 AP の混雑具合を数値化したものと定義する。MD 間のスループットの不公平性を解消し、ネットワーク全体のスループットを向上させるため、負荷評価値は以下の性質を持つべきである。

- 負荷評価値はその AP 及び配下の MD の通信によって、無線チャンネルが占有される時間の割合を表す。無線 LAN は電波強度によりビットレートが変化するため、同じ量のデータを送ったとしても MD のビットレートが低いとチャンネル占有率が大きくなってしまふ。従って、負荷評価値は単純に AP が処理したデータ量ではなく、ビットレートを考慮したチャンネル占有時間を反映した値であるべきである。
- 負荷評価値は MD が実際に送信したデータ量、もしくは送信しようとしたデータ量を反映する。
- 負荷評価値均一化のためのハンドオーバー対象 MD 選出が容易である。

負荷評価値の計算は、管理サーバが各 AP から定期的に報告される測定値を基に行うこととする。負荷評価値として利用す

る値の候補はいくつか考えられる．以下，負荷評価値の候補を挙げる．各候補の特性については 4 章で議論する．

- (A) AP 配下の各 MD の送信フレーム数の和
- (B) AP 配下の各 MD の再送信フレーム数の和
- (C) (A) と (B) の和
- (D) AP 配下の各 MD のオーバーフローしたフレーム数
- (E) AP 配下の各 MD の送信バッファに蓄えられたフレーム数
- (F) AP 配下の MD のデータ送信レートの和

2.3 強制 HO 対象 MD 選出方式

管理サーバは前節で述べた負荷評価値に基づき，以下のヒューリスティックに従って強制ハンドオーバ対象 MD を選出する．以下，MD が接続中の AP に与えている負荷評価値を M_j とする．

1. 注目している AP a と， a とカバー域を共有する隣接 AP の集合を $N(a)$ とする． $N(a)$ に含まれる AP の負荷評価値の平均を a における負荷評価値の目標 U_a とする．

$$U_a = \frac{\sum_{i \in N(a)} (A_i)}{|N(a)|} \quad (1)$$

ここで $|N(a)|$ は $N(a)$ に含まれる AP の数， A_i は $N(a)$ の負荷評価値を表す．

2. $A_a > U_a$ の場合， $A_i < U_a$ となる隣接 AP 配下の MDのうち， $|M_j - (A_a - U_a)|$ が最小の MD j をハンドオーバ対象とする．この後， j がハンドオーバしたことを前提として $N(a)$ 中の各 AP の負荷評価値 $A_i \in N(a)$ を更新する．

この処理を $|A_a - U_a| < \alpha$ が満たされるか，ハンドオーバによって $|A_a - U_a|$ を減少することができなくなるまで繰り返す．ここで， α は負荷評価値判定のための閾値であり， $\alpha > 0$ である．

以上の手順を定期的に各 AP に対して行う．

3 評価

本提案の有効性を確かめると共に，2.2 で挙げた負荷評価値の候補が負荷評価値の要件を満たしているかどうかを検証するために，シミュレーションによる評価を行った．

3.1 シミュレーションモデル

図 2 のように $60[m] \times 60[m]$ の 2 次元平面上に AP と 52 台の MD を配置した．MD の不均一な配置を表現するため，図 2 の灰色の領域には MD を中心に 2 台，白色の領域には MD を中心に 1 台それぞれ配置した．全ての MD はどの AP にも接続することができ，移動しないものとする．無線 LAN 網は IEEE802.11b により構築され，通信帯域幅を 11Mbps とした．このシミュレーションでは電波強度によるビットレートの変化は考慮していない．

各 MD は AP へ UDP による CBR トラフィックを送出する．各フレームのサイズは 1500bytes とした．MD52 台のうち半数はデータの送信レートを 768Kbps，残りは 256Kbps とし，これら 2 種類の MD が均等になるよう，図 2 のように配置した．測定結果の図示の都合上，各端末には，送信レート別に，端末密度が高い平面左下から右上に向かって昇順となるように番号を割り当てた．

シミュレーションは 2 つのフェーズに分けて行った．

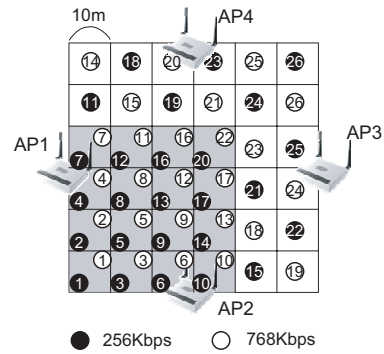


図 2: AP と MD の配置

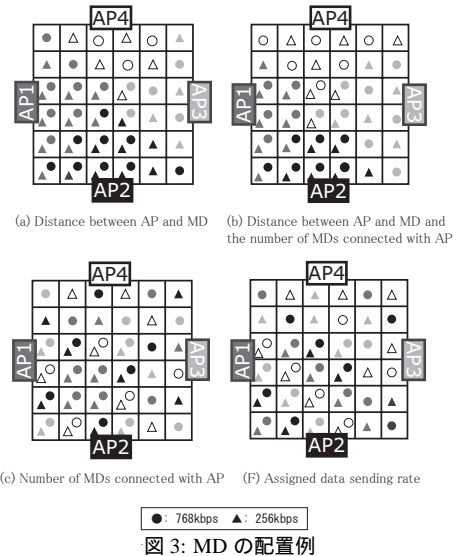


図 3: MD の配置例

【フェーズ 1】 端末主導の AP 選択とネットワーク主導の AP 選択を比較するため，それぞれの手法を基に，各 MD が接続する AP を割り当てた．この状態で各 MD からの CBR トラフィックを 100 秒間流した．

【フェーズ 2】 負荷評価値の候補が，その負荷評価値を均等化することで，端末の通信ごとの公平性が保たれるようになるのか，ネットワーク全体のスループットが向上するのかわるため，フェーズ 1 のシミュレーション動作後に各 MD から収集できる負荷評価値を基に，各 AP の負荷評価値を計算した．さらに，その負荷評価値に基づき，各 AP に接続する MD の再配置を 100 秒ごとに行い，この再配置間隔 100 秒ごとの各 MD 毎のスループットを測定した．

なお，シミュレーションには GloMoSim[2] を用いた．

3.2 端末主導とネットワーク主導 AP 選択の比較

フェーズ 1 は，以下に示す端末側で得られる通信トラフィックを反映しない情報を用いて端末手動で MD-AP の対応を決める方法 (a), (b), (c) と，ネットワーク側で得られる負荷評価値に従いネットワーク主導で MD-AP の対応を決める方法を比較した．このときの MD の配置例を図 3 に示す．

- (a) AP と MD 間の距離 (既存手法)
- (b) AP と MD 間の距離とその AP に接続している MD 数 ([1] で提案されている端末自律分散型 AP 選択機構)
- (c) AP に接続している MD 数

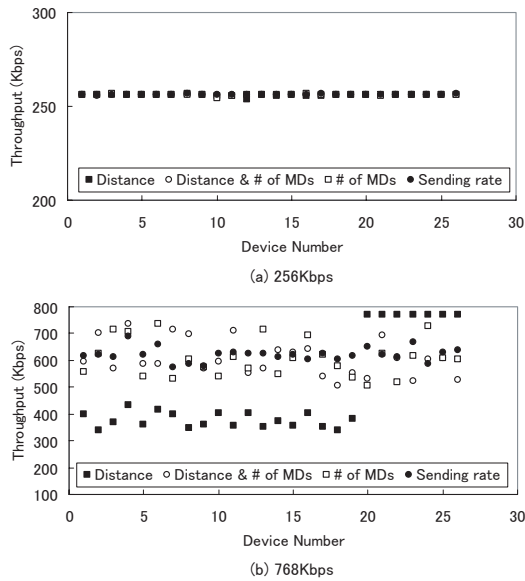


図 4: 各 MD ごとのスループット

表 1: (a)(b)(c)(F) 配置時におけるスループットの平均値と標準偏差

AP selection criterion	256Kbps		768Kbps	
	Average (Kbps)	Std. Dev. (Kbps)	Average (Kbps)	Std. Dev. (Kbps)
(a) Distance	256	0.545	481	179
(b) Distance & # of MDs	256	0.134	607	67
(c) # of MDs	256	0.445	608	69
(F) Sending rate	256	0.227	621	26

最初のフェーズ 1 の 100 秒間における各 MD のフローのスループットを図 4 に示す。また、各フローについて得られたスループットの平均と標準偏差を表 1 に示す。

MD からの送信レートが 256Kbps の場合のスループットは、各評価値や混雑している箇所、混雑していない箇所に関わらず差が見られなかった。

一方、データ送信レートが 768Kbps の場合では、スループットに違いが見られた。(a) の値を基に AP 選択する手法では、混雑していない箇所では 768Kbps のスループットを得ているものの、混雑している箇所ではスループットが小さくなってしまっていた。表 1 に示す通り、(a) の平均スループットは 4 評価値の中で最も小さく、標準偏差は最も大きくなった。(b)、(c) の値を基に AP 選択する手法や負荷評価値 (F) を用いた手法では、(a) よりノード間のスループットの格差は小さくなっていることがわかる。(b) と (c) はほぼ同じ平均スループット、標準偏差であった。

(F) では 4 評価値の中で最も平均スループットが高く、その標準偏差は、最も小さい値となった。

3.3 負荷評価値の比較

フェーズ 2 では、2.1 に示した負荷評価値 (A) ~ (E) を用いて各 AP の負荷評価値を計算した。この時の結果を表 2 に示す。

負荷評価値 (A), (B), (C) を用いた手法では、初期 AP 割り当てを (a) MD-AP 間の距離の値を基に行った場合のみに各 AP の負荷評価値に差が見られた。表 1 のデータ送信レートが 768Kbps の場合の結果を見ると、初期の AP 割り当てを (b), (c) の値を基に行った場合、(F) の場合よりも平均スループットが小さく、(F) で得られる状態に至る改善の余地があるといえる。しかしながら、負荷評価値 (A), (B), (C) を用いた場合、初期 AP 割り当てが (b), (c), (F) では各 AP の負荷評価値に差が見られなかった。

評価値 (D), (E) を用いた手法では、(a) の場合だけでなく、

表 2: フェーズ 1 終了後の初期 AP への負荷評価値及びその標準偏差

LAV after 100sec		Initial Condition			
		(a)	(b)	(c)	(F)
(A) # of transmitted frames	AP1	46,747	47,033	46,975	47,030
	AP2	46,840	47,141	47,013	47,034
	AP3	7906	75	36	29
	AP4	30,030	46,963	47,054	47,034
	Std. Dev.	7,906	75	36	29
(B) # of retransmitted frames	AP1	16,731	12,239	12,034	11,682
	AP2	15,994	11,616	12,607	11,715
	AP3	23,244	12,378	12,633	13,268
	AP4	20,192	12,216	12,338	12,784
	Std. Dev.	3,347	338	280	792
(C) Sum of (A) and (B)	AP1	63,478	59,272	59,009	58,712
	AP2	62,834	58,757	59,620	58,749
	AP3	63,954	59,456	59,681	60,242
	AP4	50,222	59,179	59,392	59,818
	Std. Dev.	6,616	296	304	770
(D) # of frames dropped by overflow	AP1	25,321	1,866	10,139	7,966
	AP2	31,474	10,167	5,873	7,980
	AP3	0	14,303	14,252	8,261
	AP4	0	5,990	1,928	8,153
	Std. Dev.	16,587	5,356	3,988	142
(E) # of frames amassed in transmission buffer	AP1	70,748	49,314	57,859	55,688
	AP2	81,473	57,876	53,600	55,703
	AP3	40,713	62,145	62,145	55,844
	AP4	30,034	49,349	53,631	55,784
	Std. Dev.	24,318	5,517	5,506	73

(b), (c) の値を用いた場合においても各 AP の負荷評価値に差が見られた。

次に、最も平均スループットが低く、MD 間のスループットの分散が高い結果が見られた初期 AP 選択基準が (a) 距離の場合において、負荷評価値 (A) ~ (E) および、2.2 のハンドオーバー対象 MD 選出アルゴリズムに基づき、各 MD が接続する AP の再割り当てを 100 秒おきに 3 回実施した。なお、負荷評価値の閾値は $\alpha = 0.1U_a$ とした。それより得られた平均スループットと標準偏差の変化を図 5 に示す。

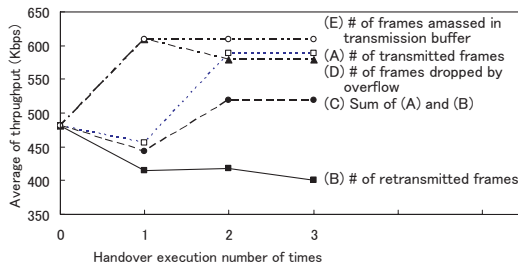
平均スループットは負荷評価値 (B) を用いた手法を除いた (A), (C), (D), (E) の 4 手法に改善が見られた。中でも負荷評価値を (E) 送信バッファに蓄えられたフレーム数とする手法で最も高い平均スループットが得られた。加えて、負荷評価値 (D) 及び (E) を用いた 2 手法は他の手法と比べて少ないハンドオーバー実施回数で平均スループットが増加している。スループットの標準偏差も平均スループットと同様に、負荷評価値 (B) を用いた手法以外の 4 手法で改善が見られた。また、負荷評価値 (E) を用いた手法が少ないハンドオーバー回数で標準偏差が最も小さくなった。

4 考察

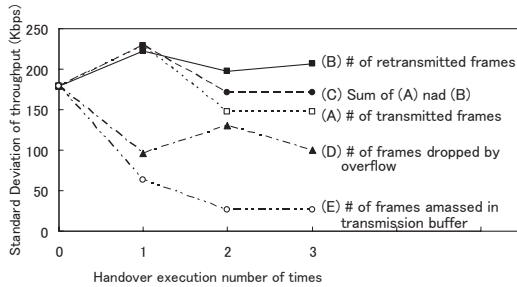
4.1 端末主導とネットワーク主導 AP 選択の比較

データ送信レートが 256Kbps, 768Kbps いずれの場合も、AP 選択基準を端末側で取得できる (a), (b), (c) の値に基づいて AP 選択を行った場合より、ネットワーク側が取得可能な負荷評価値 (F) に基づいて AP 選択を行った場合の方が、MD の位置に関係なく、同じデータ送信レート間でほぼ同等のスループットが得られた。以上から、端末主導で接続する AP を選択する手法よりも、ネットワーク主導で接続する AP を選択する手法の方が効果的であることがわかる。

しかし、理想的な結果が得られた (F) の手法は、実際に各 MD のデータ送信レート、つまり要求する帯域を各 MD 毎に厳密に知ることは難しい。従って、この結果に近い値が得られるよう



(a) Average of throughput



(b) Standard Deviation of throughput

図 5: 負荷評価値候補の比較

な負荷評価値の検討が必要である。

4.2 負荷評価値候補の比較

今回行ったシミュレーションでは MD からのトラフィックは CBR トラフィックのみであり、ビットレートが 768Kbps, 256Kbps のフローどちらもフレームサイズは 1500bytes で同値である。従って、評価値 (B) はエラーによって再送信したフレーム数を表していることからフレームエラー率、評価値 (C) は実際に MD が送信した全フレーム数を表しているの、チャンネル占有率に相当すると考えることができる。

しかし、表 2 に示す通り、評価値 (B), (C) を用いた手法では、混雑している AP (AP1, 2) と混雑していない AP (AP3, 4) 間で負荷評価値に差が見られない。このことから、送信フレーム数や再送信フレーム数は、AP の付加均等化という観点から負荷評価値として適切ではない。評価値 (D), (E) を用いた手法では混雑している AP と混雑していない AP 間で負荷評価値に差が表れていることから、オーバーフローしたフレーム数や送信バッファに蓄えられたフレーム数は AP 負荷均等化のための利用価値があるといえる。

図 5 を見ると、評価値 (A) ~ (D) を用いた手法より、評価値 (E) を用いた手法の方が高い平均スループット得られ、標準偏差も小さくできているということがわかる。これはフレームエラー率やチャンネル占有率では、ネットワークが飽和状態になるとネットワーク許容量以上の負荷を表すことができないのに対して、各 MD の送信バッファに蓄えられたフレーム数は、MD が送信したフレーム数ではなく、送信したいフレーム数を反映しているからと考えられる。

(D) は MD が送信することができなかったフレーム数を反映しているため、混雑している箇所では負荷が数字として表れる。逆に混雑していない箇所では全てのフレームを送信することができ、送信できなかったフレーム数が 0 になってしまう。このような MD は $M_j = 0$ として扱われてしまうため、負荷が無いと判断されてしまい、負荷評価値としては不適合である。

以上から、AP 配下の MD の送信バッファに蓄えられたフレーム数の和を負荷評価値とした手法が最も効果的である。

4.3 フレームサイズの影響

今回のシミュレーションでは、各 MD が送信するフレームサイズは同一であるとした。しかし、フレームサイズが一定ではないという条件では、全てのフレームを 1 として扱おうと、サイズの大きなフレームを長時間かけて送信する事と、サイズの小さなフレームを短時間で送信する事が同一になってしまうため、今回とは異なる結果が得られる可能性がある。

4.4 ビットレートの影響

今回のシミュレーションでは電波強度によるビットレートの変化を考慮していないので、AP からの距離が遠くても距離の近い MD と同じビットレートで送信できてしまう。Bejerano らは文献 [3] で、電波強度によるビットレートの変化を考慮した AP の負荷均等法を提案している。この本稿での評価のように、MD より発生するトラフィックの測定値に基づく負荷計算などは行われていないが、単純に混雑していない AP を選択する手法より、混雑していても距離が近く、高いビットレートを得られる AP を選択する手法の方が良い結果が得られることが示されている。そのため、ビットレートの変化を考慮したシミュレーションによる結果の再確認が必要である。

5 まとめ

本論文ではネットワーク側に配置された管理サーバで各 AP から定期的に送られてくる報告を基に AP の負荷の状態を監視し、各 AP の負荷状況に応じて同一地域をカバーする負荷の低い隣接 AP に強制的に MD をハンドオーバーさせることにより無線 LAN におけるフローの公平性を保ち、ネットワークのスループットを向上させる手法を提案した。

AP の負荷の表現方法として、いくつかの負荷評価値の候補を挙げた。シミュレーションの結果、負荷評価値の候補のうち、AP 配下の MD の送信バッファに蓄えられたフレーム数の和を負荷評価値として用いる手法は、既存の AP との距離を基に接続する AP を選択する手法や [1] で提案されている端末自律分散型 AP 選択機構に比べ、ネットワーク全体のスループットを向上し、移動端末間のスループットの分散を減少させることが確かめられた。

今後の課題としては、TCP を含めた様々なトラフィック、多種のフレームサイズ、移動端末の移動や出入り、電波強度によるビットレートの変化等を考慮したシミュレーションが挙げられる。また、電波強度によるビットレートの変化に対応するため、ハンドオーバー予定の AP での予想スループットと接続中の AP でのスループットを比較し、移動先の AP の方が低くなると判断されたらその移動端末のハンドオーバーを中止し、他のハンドオーバー候補の MD を探すといった工夫を盛り込む必要がある。

参考文献

- [1] Yutaka Fukuda, Yuji Oie, "Decentralized Access Point Selection Architecture for Wireless LANs -Deployability and Robustness-," Proceeding of the IEEE VTC2004-Fall, 2004.
- [2] GloMoSim: <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/gloimosim/>
- [3] Yigal Bejerano, Seung-Jae Han, Li (Erran) Li, "Fairness and Load Balancing in Wireless LANs Using Association Control," MobiCom'04, 2004.