

無線 LAN の複数ホスト同時通信時におけるスループット予測モデルの改良 An Improved Throughput Estimation Model for Concurrent Communications of Multiple Hosts in Wireless Local-Area Network

盧 天鵬[†] 船曳 信生[†] マノワール イスラム[†] クエンガ イスラム ムネネ[†] ラハディタ ウィディトラ スディビョ[†]
Tianpeng Lu[†] Nobuo Funabiki[†] Md. Manowarul Islam[†] Kwenga Ismael Munene[†] Rahardhita Widyatra Sudibyo[†]

[†] 岡山大学 大学院自然科学研究科

[†] Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University

1 概要

本研究グループでは、無線 LAN の性能向上を目的として、スループット予測モデルの研究を進めている。本モデルでは、アクセスポイント (AP) が単一ホストと通信する場合のスループットを高精度で予測することが可能であるが、複数ホストと同時通信する場合に、予測精度が大幅に低下することが実験で明らかとなっている。そこで本研究では、その実験結果に基づき、複数ホスト同時通信時におけるスループット予測モデルの改良を行う。また、本改良モデルの有効性をシミュレーションおよび実機実験により示す。

2 はじめに

現在、無線 LAN は、デバイスの小型化・低価格化や通信性能の向上により、世界中で普及している [1]。無線 LAN では、限られた通信帯域を複数の通信リンクで共有することから、その更なる性能向上には、トポロジーの最適化が重要である。その際、高精度なスループット予測モデルが不可欠となる。

本研究グループでは、*Log distance path loss model* [2] による受信信号強度 (RSS) の推定と、シグモイド関数による RSS からスループットへの変換の 2 段階で構成される、スループット予測モデル [3] を提案している。本モデルの有する複数のパラメータは、パラメータ最適化ツールを用いて、その最適値を求めている。

従来の研究では、本モデルは、アクセスポイント (AP) が単一ホストと通信する場合のスループットを高精度で予測することが可能であるが、AP が複数ホストと同時通信する場合に、予測精度が大幅に低下することが明らかとなっている。これは、AP に近いホストは、受信電波のノイズの低減や TCP ウィンドウサイズ [4] の増加などにより、より多くの通信機会を得ることができる反面、AP から遠いホストは、通信機会をより失っていくことで、これらのリンク間に不公平が生じ、モデルの予測精度が低下するものと考えられる。

本研究では、その実験結果に基づき、複数ホスト同時通信時におけるスループット予測モデルの改良を行う。また、本改良モデルの有効性を、シミュレーションおよび実機実験により示す。

3 従来のスループット予測モデル

本章では、従来のスループット予測モデルについて述べる。

3.1 モデルの概要

本モデルでは、まず、*Log distance path loss model* を用いて、受信機での RSS (dBm) を推定する。次に、シグモイド関数を用いて、RSS をスループット (Mbps) に変換する。これらの式が有する複数のパラメータの値は、パラメータ最適化ツールで最適化される。

3.2 RSS 推算モデル

Log distance path loss model では、以下の式により、受信機での RSS である、 P_d を推定する。

$$P_d = P_1 - 10\alpha \log_{10} d - \sum_k n_k W_k \quad (1)$$

ここで、 α は距離損失係数、 d は AP・ホスト間の距離 (m)、 P_1 は送信機から 1m の場所での RSS、 n_k は AP とホストの間のタイプ k の障害物の数、 W_k はタイプ k の障害物の強度減衰率 (dBm) である。 P_1 は、送信強度に依存する。

3.3 シグモイド関数

シグモイド関数では、以下の式により、 P_d からスループット S に変換する。

$$S = \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{120 + P_d}{c} - b\right)}} \quad (2)$$

ここで、 a 、 b 、 c はシグモイド関数のパラメータである。

3.4 パラメータ最適化ツール

パラメータ最適化ツールでは、タブーテーブルと山登り法を組み合わせたローカルサーチアルゴリズムを導入している。各パラメータを最適化することで、スループットの予測誤差を最小化することが可能である。

4 複数ホスト同時通信時のスループット測定実験

本章では、複数ホスト同時通信時のスループット測定実験を示す。

4.1 実験方法

岡山大学自然科学研究科棟において、複数ホスト同時通信時のスループット測定実験を行った。図 1 にその

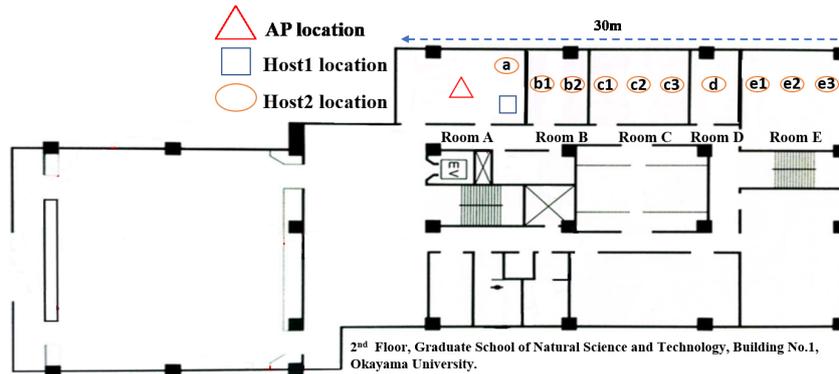


図 1: スループット測定実験のトポロジー

トポロジーを示す. ここでは, AP (NEC WG2600HP 2.4GHz 11n) を 1 台, ホスト (Inter(R) Dual Band Wireless-AC3165) を 2 台使用し, AP に有線接続したサーバーとホスト間で TCP 通信を行った. ホスト, サーバーいずれも, Windows OS を用いたノート PC である. スループット測定には, *iperf2.05* (ウィンドウサイズ 477Kbytes, バッファサイズ 8Kbyte), RSS 測定には *Homedale*[5] を用いた. 本実験では, AP とホスト 1 を Room A に設置し, ホスト 2 を a から e3 に順に移動させながら, 2 つのホストを同時通信した場合の各ホストのスループットを測定した.

4.2 実験結果と考察

表 1: 従来のスループット予測モデルのパラメータ

P_d	α	d	wall types			a	b	c
			cor.	par.	door			
-30	2.6	5	7	5	2	72	49	6

図 2 に実験結果, 表 1 に従来のスループット予測モデルの各パラメータを示す. ホスト 2 が a にある場合, 2 つのホストの通信機会は等しいため, スループットもほぼ同じである. しかし, ホスト 2 が AP から離れるにつれて, そこでの AP からの RSS が減少するが, ホスト 1 の RSS は減少しない. そのため, ホスト 1 は, ホスト 2 の通信機会を奪うことで, より多くの AP との通信機会を得て, スループットが上昇する. 逆に, ホスト 2 は, ホスト 1 のために通信機会を失うことでスループットが一層減少する. このように, 同一 AP と同時通信を行うホスト間に, AP との距離の差やそれによる RSS に差が生じた場合に, スループットの不公平性が一層強まることが実験により確認されたが, 従来のスループット予測モデルでは, それを考慮していないため, 予測精度が低下した.

5 スループット予測モデルの改良

本章では, スループット予測モデルの改良を提案する.

5.1 考え方

複数ホスト同時通信時の影響する要因は, 主に二つの点を考慮した. 一つ目には, 各ホストの AP からの RSS に差が生じることで, 結果的に, スループットの差が拡大するものと考えられる [6]. そこで, 複数ホスト同時通信時スループット予測モデルの改良として, 従来のモデルによる予測結果を, ホスト間の RSS の違いで補正することとした. 二つ目には, 同時通信ホスト数の増加に伴う, ホスト間の競合による, スループットの低下も考慮することとした.

5.2 モデル改良式

上記の二つ要因を考慮し, 複数ホスト同時通信時における, 以下のスループット予測モデルの改良式を提案する.

$$\hat{S}_i = S_i \cdot Tcf(rss_i) \cdot Srf(n) \quad (3)$$

ここで, \hat{S}_i はホスト i の改良後のスループット予測結果, S_i はホスト i の従来モデルでのスループット予測結果, $Tcf(rss_i)$, $Srf(n)$ は, 今回提案する通信機会補正係数, 速度低下補正係数 [7] である.

(1) 通信機会補正係数

本係数では, 同時通信する各ホストの RSS と, それらの全ホストでの RSS の平均値の比を利用して, その二次の対数式で, ホスト間の通信機会を補正する.

$$Tcf(rss_i) = p \ln^2\left(\frac{rss_i}{\bar{rss}}\right) + q \ln\left(\frac{rss_i}{\bar{rss}}\right) + 1 \quad (4)$$

ここで, rss_i はホスト i の RSS, \bar{rss} は全ホストでの RSS 平均値, p, q は固定係数である.

(2) 速度低下補正係数

本係数では, 同時通信のホスト数が増加した場合に, ホスト間の干渉の増加による全体のスループットの低下を補正する.

$$Srf(n) = \frac{1}{n + \frac{0.1(n-1)}{4}} \quad (5)$$

ここで, n は同時に同一 AP に接続しているホストの数である.

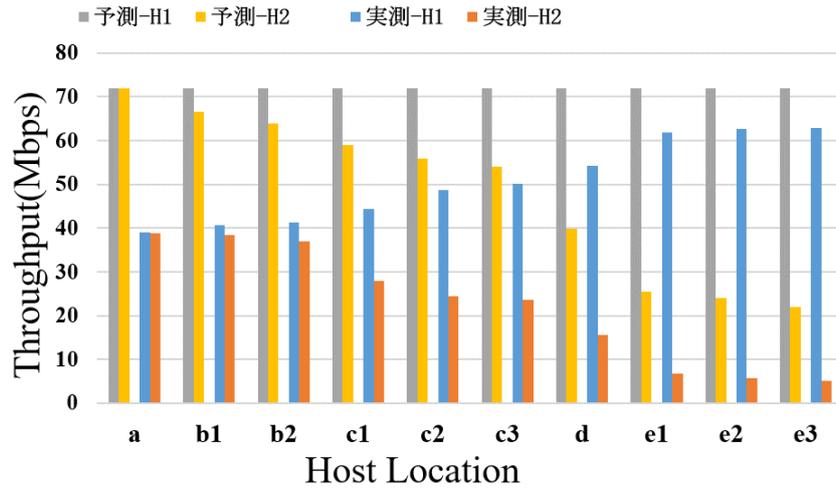


図 2: 実験結果

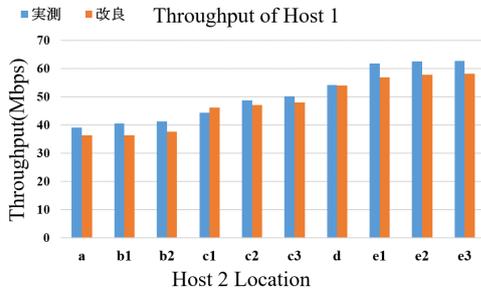
6 評価

本章では、改良モデルの評価について述べる。

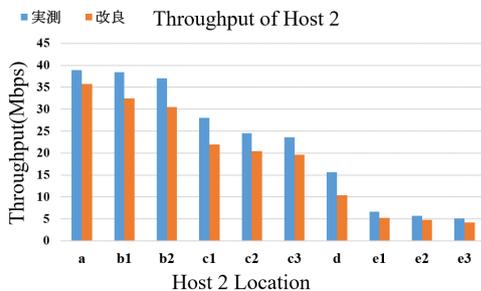
6.1 評価方法

提案した改良モデルの有効性を確認するため、まず、4章の実験データとトポロジーを用いて、評価を行う。次に、新たに、複数 AP を用いたトポロジーでの評価を行う。改良モデルのパラメータについては、 p の値は 1, q の値は 0.8 を採用する。

6.2 実験データでの評価



(a) ホスト 1



(b) ホスト 2

図 3: 評価

表 2: 改良前後のモデルの予測誤差の平均値と標準偏差

Host	Error(Mbps) before proposal		Error(Mbps) after proposal	
	avg.	sd	avg.	sd
H1	21.42	8.9	3.04	1.48
H2	25.9	5.75	3.82	2.02

先ず、図 2 の実験結果を適用して、提案する改良モデルを評価した。図 3 に改良後のスループット予測値と実測値の比較結果を示す。表 2 に、改良前後のモデルでの予測誤差の平均値、標準偏差を示す。この結果では、いずれのホストにおいても、モデル改良後のスループット予測値は実測値と概ね一致しており、予測誤差が改良前より大きく減少している。

6.3 複数 AP での評価

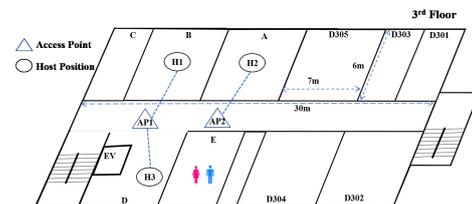


図 4: 対象とするトポロジー

次は、岡山大学工学部 2 号館 3 階において、複数 AP を用いた場合の評価を行う。図 4 に、対象とするトポロジーを示す。このトポロジーでは、ホスト 1, ホスト 3 は AP1 と接続し、同時通信を行う。一方、ホスト 2 は AP2 と接続し、単体通信を行う。

表 3, 表 4 に、スループット予測モデルによる、各 AP と各ホストが単体で通信した場合のスループット、

表 3: AP1・ホスト単体通信時のモデル・実測結果

Host	Throughput (Mbps)		RSS (dBm)	
	Sim.	Mea.	Sim.	Mea.
H1	60.5	64.9	-61	-58
H2	25	27.2	-75	-72
H2	70.7	73.6	-47	-45

表 4: AP2・ホスト単体通信時のモデル・実測結果

Host	Throughput (Mbps)		RSS (dBm)	
	Sim.	Mea.	Sim.	Mea.
H1	30.4	36.3	-73	-70
H2	68.6	70.3	-53	-51
H2	40.2	48	-69	-61

RSS の予測値と、本実験による実測値を示す。いずれも、概ね一致している。ここで、単独通信の場合には、今回の提案は無関係である。

表 5: 改良モデル適用前後のスループット予測結果

Host	Tp. (Mbps)	Tp. (Mbps)	Tp. (Mbps)
	before proposal	after proposal	Mea.
H1	60.5	26.8	28.3
H2	68.6	68.6	70.3
H3	70.7	37.2	37.9

表 5 に、全ホスト同時通信時における改良モデル適用前後のスループット予測結果および実測結果を示す。スループット測定結果は、改良モデルによる予測結果にほぼ一致しており、ここでも、提案する改良モデルの有効性が確認された。

7 おわりに

本研究では、同一 AP に対する複数ホスト同時通信時におけるスループット予測モデルの改良を提案した。また、改良モデルの有効性を評価した。今後の課題は、様々な無線 LAN 環境下での提案モデルの精度検証、特に、同時通信ホスト数増加時の検証である。その際、同一環境で同時に動作する AP を更に増加すると、AP 間の干渉、特に AP のチャンネル内競合とチャンネル干渉を考慮することが必須である [8]。それにより、精度検証の同時に、適切なチャンネル割当も行うこととする。その上で、提案モデルを無線 LAN トポロジーの最適化に適用し、その有効性を検証する。

参考文献

[1] B. P. Crow, I. Widjaja, J. G. Kim, and P. T. Sakai, "IEEE 802.11 wireless local area networks," IEEE Commun. Mag., vol.35, no.9, pp. 116-126, Sept. 1997.

[2] D. B. Faria, "Modeling signal attenuation in IEEE 802.11 wireless LANs," Tech. Report, TR-KP06-0118, Stanford Univ., July 2005.

[3] K. S. Lwin, N. Funabiki, C. Taniguchi, K. K. Zaw, M. S. A. Mamun, M. Kuribayashi, and W.-C. Kao, "A minimax approach for access point setup optimization in IEEE 802.11n wireless networks," Int. J. Network. Comput., vol. 7, no. 2, pp. 187-207, July 2017.

[4] A. S. Tanenbaum, Computer Networks, Prentice Hall, Jan. 2010.

[5] Software Verzeichnis development, Home-dale WLAN Monitor, <http://www.the-sdz.com/products/homedale>.

[6] 長谷川公嗣, 武野紘和, 中津悠斗, 大宮学, "IEEE802.11n 無線 LAN による RSSI と平均 throughput の関係," 情報論, Sep 2011, Vol.52, No.9, pp.2829-2840.

[7] S. K. Debnath, N. Funabiki, K. S. Lwin, K. I. Munene, and M. Saha, "Modifications of throughput estimation model for concurrent communications of multiple hosts in wireless local-area network," IEICE General Conference, BS-2-2, pp. S3-S4, March 2018.

[8] 熊谷菜津美, 磯村美友, 村瀬勉, 小口正人, "無線 LAN アクセスポイントのチャンネル内競合とチャンネル間干渉を同時に考慮したチャンネル割当方法," 信学技報, vol. 112, no. 288, CQ2012-68, pp. 59-64, Nov. 2012.