

無線メッシュネットワークにおける通信品質向上方法の提案と評価

083430029 樋口豊章
渡邊研究室

1. はじめに

近年、無線 LAN を通信インフラとして用いるサービスが注目されている。しかし、無線 LAN の AP (Access Point) 間は、有線で接続されることが一般的であり、AP の設置場所が制限されたり、配線に多大なコストを要する。

この問題の解決策として、無線 LAN の AP 間をアドホックネットワークで接続する無線メッシュネットワークが提案されている。無線メッシュネットワークにおける端末/AP 間の通信はインフラストラクチャモードのため、既存の端末が容易にネットワークに参加することが可能である。

無線メッシュネットワークは、様々な研究機関で研究され、IEEE802.11 Task Group S(IEEE802.11s)において標準化が進められている。しかし、無線メッシュネットワークでは AP 間の通信は同一チャンネル上でマルチホップ通信を行うため、パケットの衝突がおきやすく、スループットが低下しやすいなどの課題がある。

本稿では、無線メッシュネットワークにおいてネットワーク全体の通信品質向上のため、AP の輻輳を改善する方法について提案する。通信品質を向上させることで、イベントや災害時など帯域の混雑が予想される環境でも、より多くの人が、より快適にネットワークを利用できるようになる。

2. 関連技術

2.1 Maximizing Local Throughput (MLT)

図 1 に MLT の概要を示す。MLT では、ビーコン/プローブ応答に含まれる接続端末数とパケットエラーレート (PER : Packet Error Rate) からスループットを推測することにより、端末が接続先 AP を決定する。また、接続関係確立後も端末が周辺 AP のビーコンフレームを取得することにより、常に自身の予想スループットが最大となる AP を選択する。しかし、この方法では AP を頻繁に変更してしまう可能性があり、また端末に改造を加えなければシステムを利用できないという課題がある。

2.2 ビーコン/プローブ応答信号拡張方式

MLT と同様にビーコンフレームやプローブ応答を拡張し、そこに AP が定期的にモニタリングした各配下端末の送受信スループットや、受信電波強度、パケットエラーレートといった情報を格納することにより、端末がスループットを推定し、最適な AP を選択する。この方法では、MLT のように不要な AP 変更は避ける事ができるものの、MLT と同様に端末側にも改造を加える必要があり、既存の端末では接続関係を確立することができない。

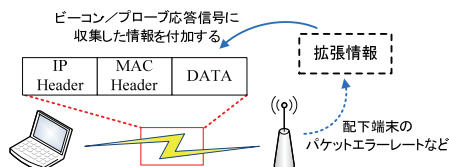


図 1 : MLT による解決策

3. 提案システム

3.1 一般端末の AP 選択方法

IEEE802.11 では、一般的に端末が AP を認識するためにアクティブスキャンが行われている。アクティブスキャンとは、端末と AP がプローブ要求信号とプローブ応答信号をやり取りすることによって接続確立に必要な情報を得る方法である。端末はネットワークに参入する際に、チャンネルを変えながらアクティブスキャンを行い、チャンネルが一致した AP と情報をやり取りする事で、端末の周囲のチャンネルが異なる複数の AP の存在を認識することができる。

以上の処理に対して、基本的に端末は受信したプローブ応答信号の受信電波強度が最も強い AP と接続関係を確立する。そのため、AP の通信状態が悪化していたとしても、端末における受信電波強度が強ければ、端末はその AP を選択する。

3.2 提案システムの概要と構成

図 2 に提案システムの構成を示す。通信状態が良好な AP_1 と輻輳状態となっている AP_2 の間に、ネットワークへの参入を試みる端末が存在する。ここでは、端末がネットワークへ参入するために、新しい AP を探す場合の動作を示している。図中における実線は AP_1 からの電波到達可能範囲を示している。2 種類の破線において内側の円を描く破線は AP_2 から発せられたプローブ応答信号の、外側の円を描く破線はそれ以外の AP_2 から発せられる信号の電波到達可能範囲を示している。

AP は、プローブ要求を受け取った時のアドホックモード側のトラフィックやパケットロス率などの情報を基にプローブ応答の電波強度を調整する。

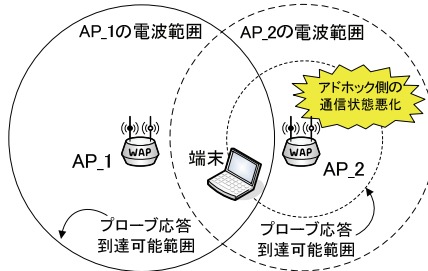


図 2 : プローブ応答の電波到達可能範囲

3.3 提案システムの動作

提案システムにおいて、各 AP は端末からプローブ要求が届くと、通信状態が良好な場合は通常の電波強度でプローブ応答を返し、トラフィックとパケットロス率が高くなり輻輳している場合は新たな端末が参入することを防ぐため、プローブ応答の電波強度を弱める。この方法により、端末は輻輳していない AP を経由して通信を行う可能性が高くなり、スループットの改善が期待できる。図 2 に示す環境において提案システムを適用すると、移動端末は AP1 と AP2 の両方からプローブ応答を受け取るが、AP1 の方が AP2 より電波が強いため、AP1 と接続関係を確立することになる。この方法で AP の輻輳状態が平均化され、ネットワーク全体のスループット改善を図ることができる。

図 3 に AP の輻輳状態と電波強度の関係を示す。AP のアドホックモード側の帯域利用率が増加して輻輳状態が悪化すると、図中の実線が示すようにプローブ応答の電波強度を輻輳状態に対し反比例するように弱める。しかし、プローブ応答の電波強度を極端に弱めてしまうと、新規・移動端末がネットワークに参入できない領域ができることがある。そこで電波強度の変化範囲に下限を設けて、端末の電波強度より強くなるよう設定する。

また、TCP 通信ではセッション数が少なくても帯域利用率が高くなるので、輻輳状態を検出するのにトラフィックのみを指標とするのは不十分である。そこで、TCP セッション数、UDP トラフィック量、パケットロス率などを統合的に判断することで、プローブ応答の電波強度を定めるものとする。

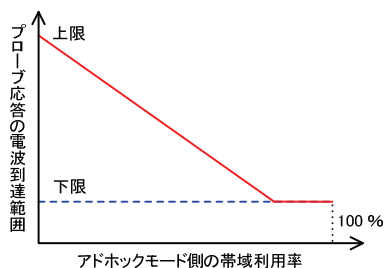


図 3：輻輳状態と電波到達可能範囲の関係イメージ

4. 評価

提案システムの有効性を示すため、ネットワークシミュレータ ns-2 を用いて、提案システムを無線メッシュネットワークに実装し、提案機能を適用した場合とそうではない場合の比較評価を行った。

無線メッシュネットワークには、我々がメッシュネットワークの実現方法の一つとして提案している WAPL (Wireless Access Point Link) を用いる。評価項目は移動端末間におけるスループットとした。

図 4 に示すようなネットワーク構成で提案システムと既存システムの比較評価を行った。フィールド上には、AP を等間隔に 6 台配置し、背景負荷として通信経路が AP_E と F を中継するような配置で 2 台の端末 (端末 C と D) に TCP 通信を行わせる。その上で、スループット測定用に設置した 2 台の端末 (端末 A と B) に 10 秒間の TCP 通信をさせ、そのスループッ

トを計測した。なお、端末 A は AP_A と C の間のやや AP_C に近い場所に配置した。なお、今回は単純なシステムであるため、輻輳状態を図る指標にトラフィック情報のみを用いた。

表 1 にスループットの比較を示す。既存システムのスループットが約 2.5Mbps であったのに対し、提案システムのスループットは約 4.2Mbps であった。既存システムのスループットが低いのは、WAP_C が端末 C と D の通信経路上にある WAP_E から発せられる電波の影響を受けた事が原因である。つまり、既存システムでは、よりプローブ応答の電波強度が強い WAP と接続関係を確立するため、端末 A は近距離にある WAP_C と接続関係を確立してしまい、端末 A・B と端末 C・D の通信が WAP_C と E によって互いに干渉しながら通信を行う。これに対し、提案システムでは WAP_C が発するプローブ応答の電波強度が弱くなるため、よりプローブ応答の電波強度が強い WAP_A と接続関係を確立し、端末 A・B の通信と端末 C・D の通信は互いに干渉することなく行われる。

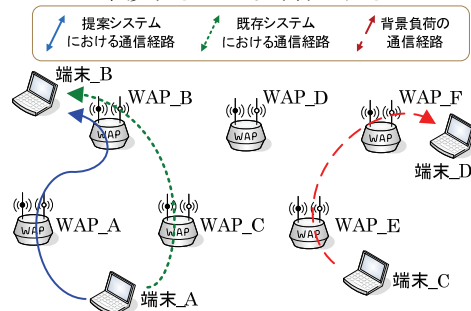


図 4：シミュレーションのネットワーク構成

	スループット
提案方式	4.2 Mbps
既存方式	2.5 Mbps

表 1：スループット比較

5. むすび

AP が常に自身のアドホックモード側のトラフィックを把握し、プローブ要求を受け取った時の自身のトラフィックの状態に応じて、プローブ応答の電波強度を調整することにより輻輳を改善し、ネットワークのスループットの低下を防ぐ方法を提案した。

シミュレーションにより簡単なネットワーク構成においては提案システムが有用であることを示した。今後は、大規模なネットワーク構成において移動端末による通信を行った場合などの評価を行う予定である。

また、パケットロス率、トラフィック情報、TCP セッション数、UDP トラフィックなどを輻輳状態の指標とした、最も効率の良い電波強度の調整のアルゴリズムを検討する。

参考文献

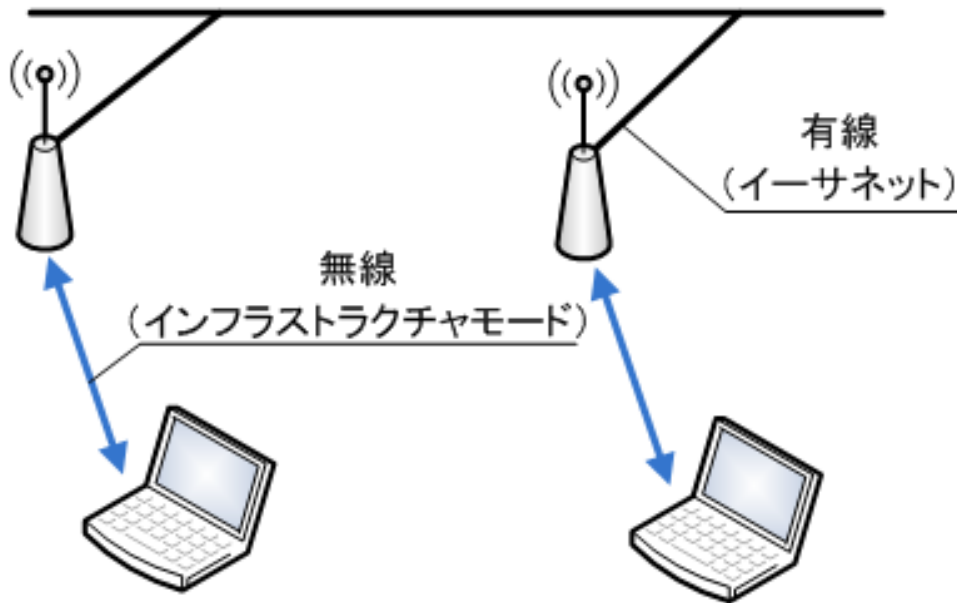
[1] 伊藤将志, 鹿間敏弘, 渡邊晃: 無線メッシュネットワーク” WAPL” の提案とシミュレーション評価, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.6, pp.-, Jun, 2008.

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

名城大学大学院 理工学研究科
渡邊研究室

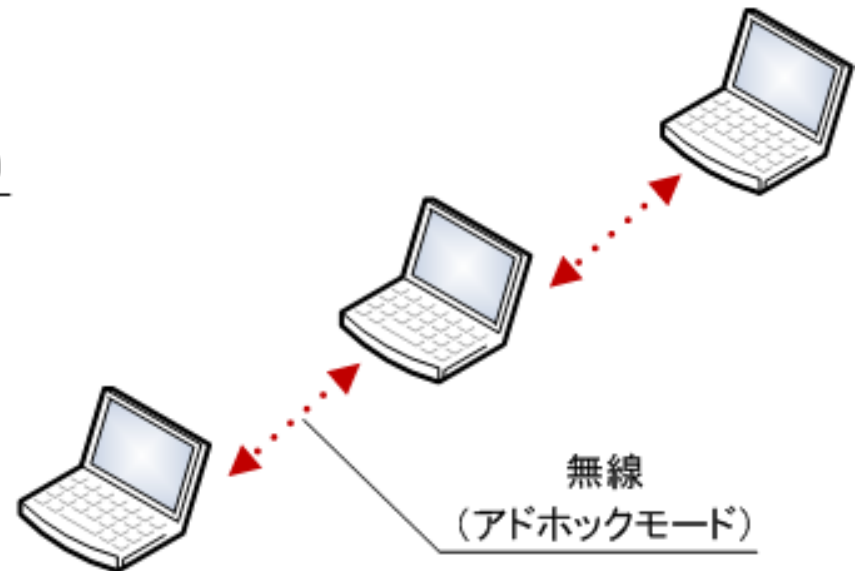
083430029 樋口豊章

- 無線LANを通信インフラとして用いるサービスが注目されている



インフラストラクチャモード

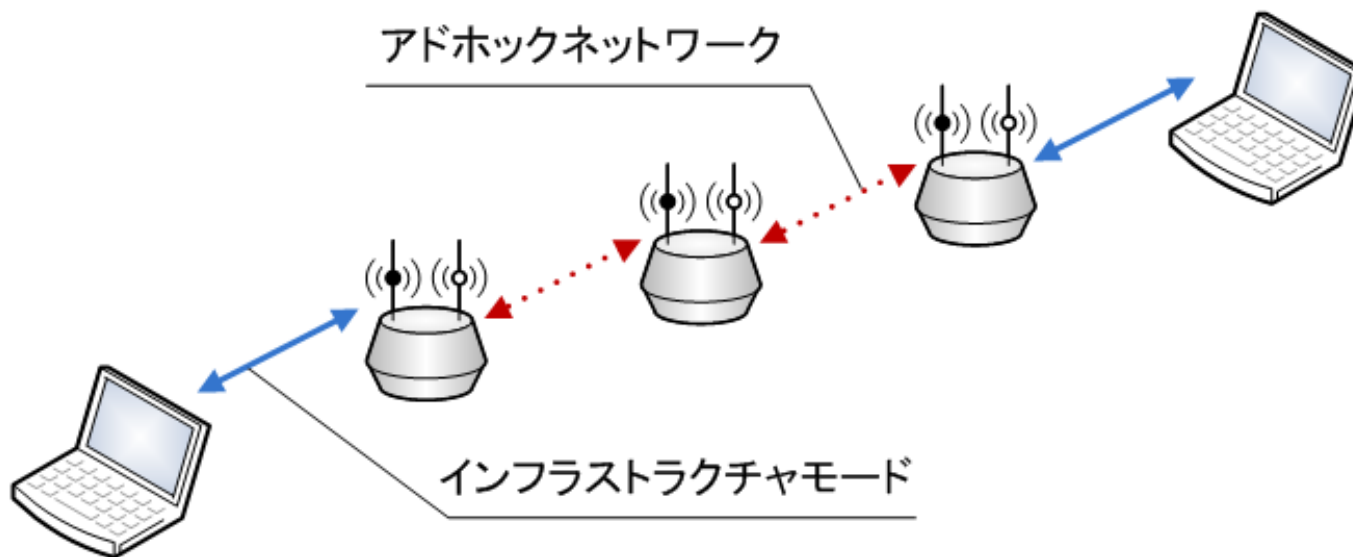
- AP (Access Point) を中継点として各端末が通信を行う通信方式



アドホックネットワーク

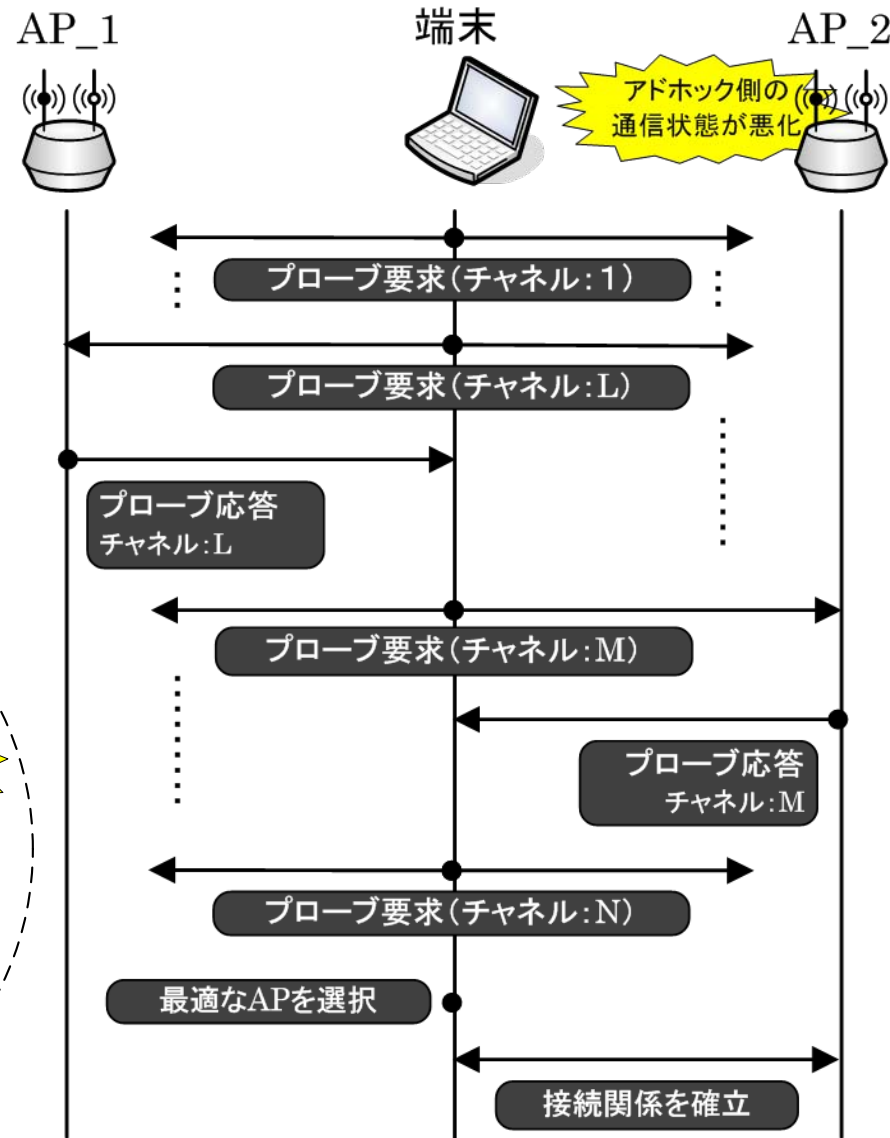
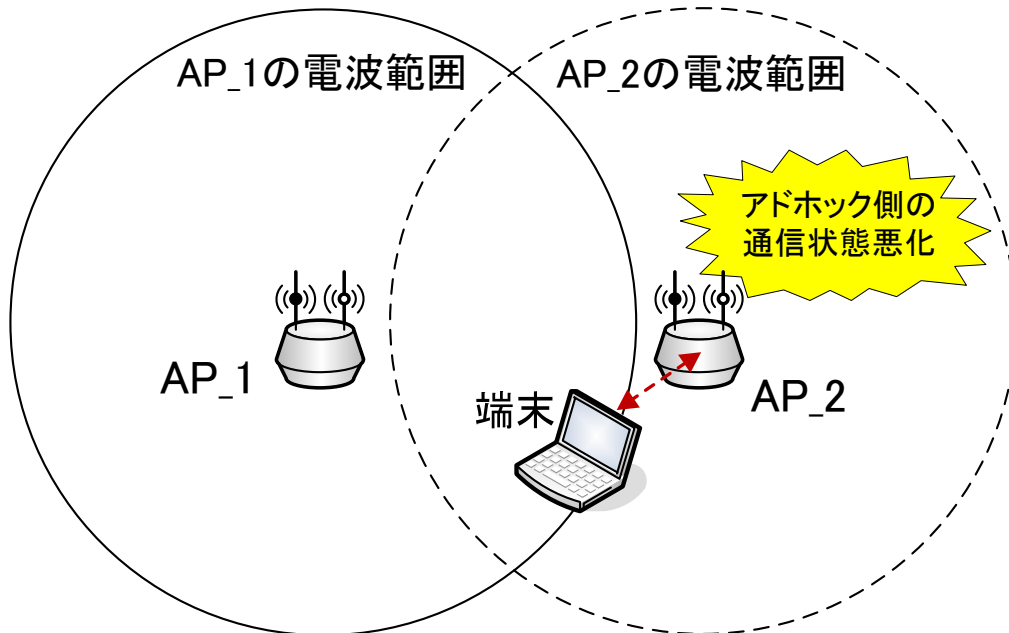
- 中継装置を介さず各端末が直接通信を行う通信方式

- 無線メッシュネットワークは、無線LANのAP間をアドホックネットワークで接続したものである
 - 既存のAPと同様に端末/AP間の通信はインフラストラクチャモードで行うため、既存の端末が容易にネットワークに参加することができる



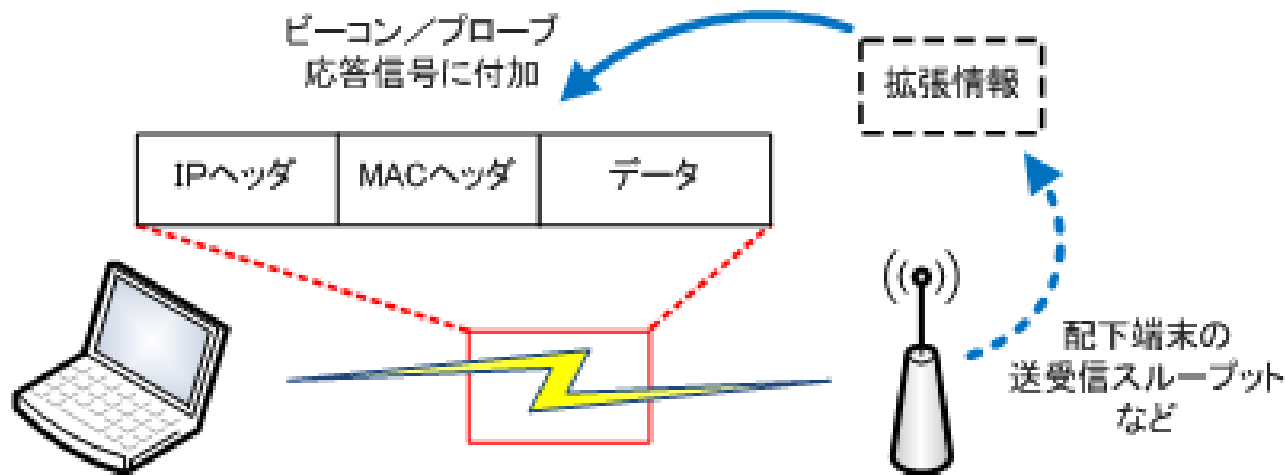
- IEEE802.11 Task Group S(IEEE802.11s)において標準化が進められている

- 端末はネットワークに参加するために、チャンネルスキャンを行う
- プロブ要求を受信したAPは、プロブ応答を返す
- 端末は、受信したプロブ応答の中で最も電波強度が強いAPと接続関係を確立する



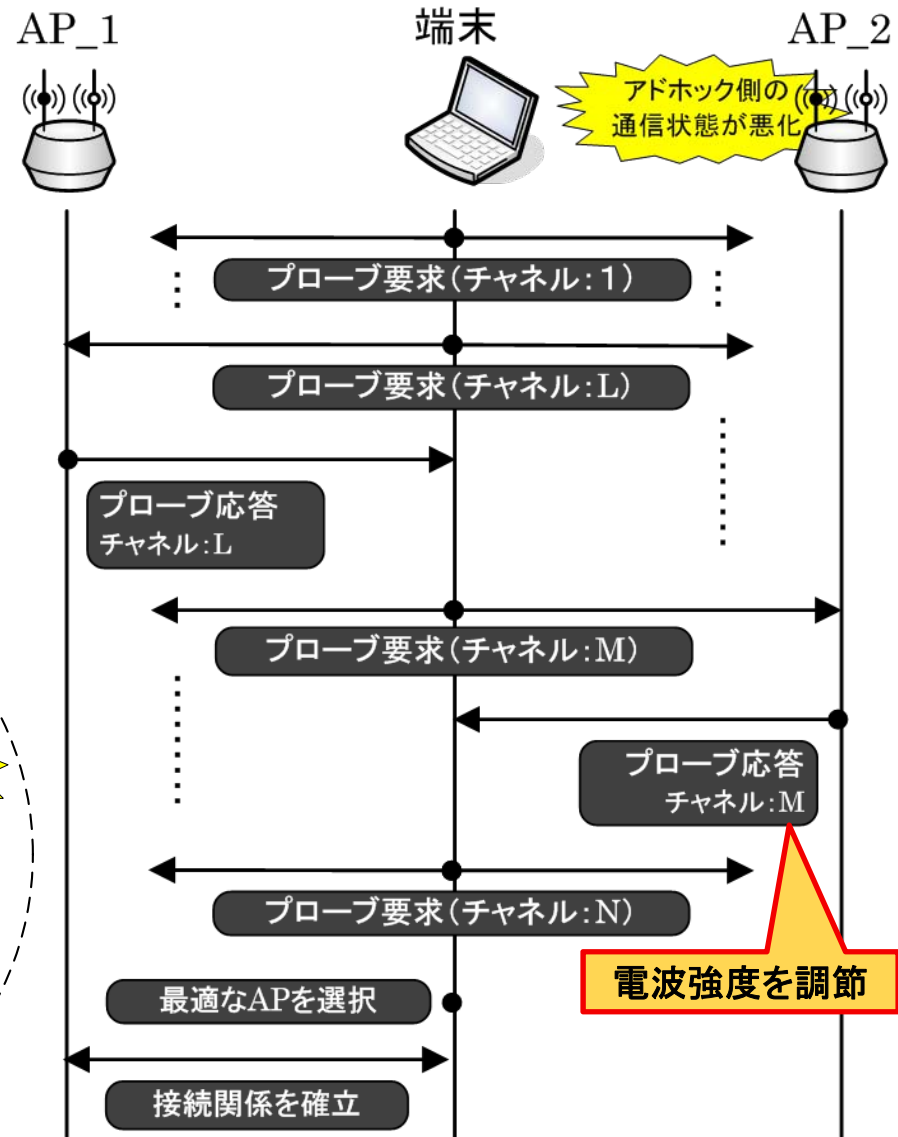
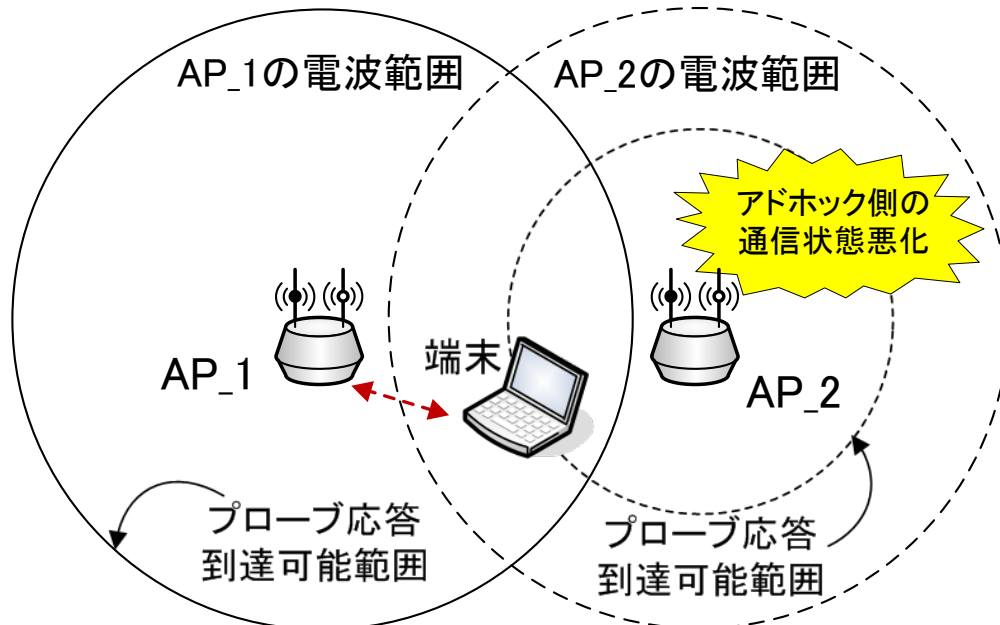
■ ビーコン／プローブ応答信号拡張方式

- APが定期的に各配下端末の送受信スループットや、受信電波強度、パケットエラーレートを監視する
- ビーコンやプローブ応答フレームを拡張し、APがモニタリングした情報を格納することで、端末がスループットを推定し、最適なAPを選択する

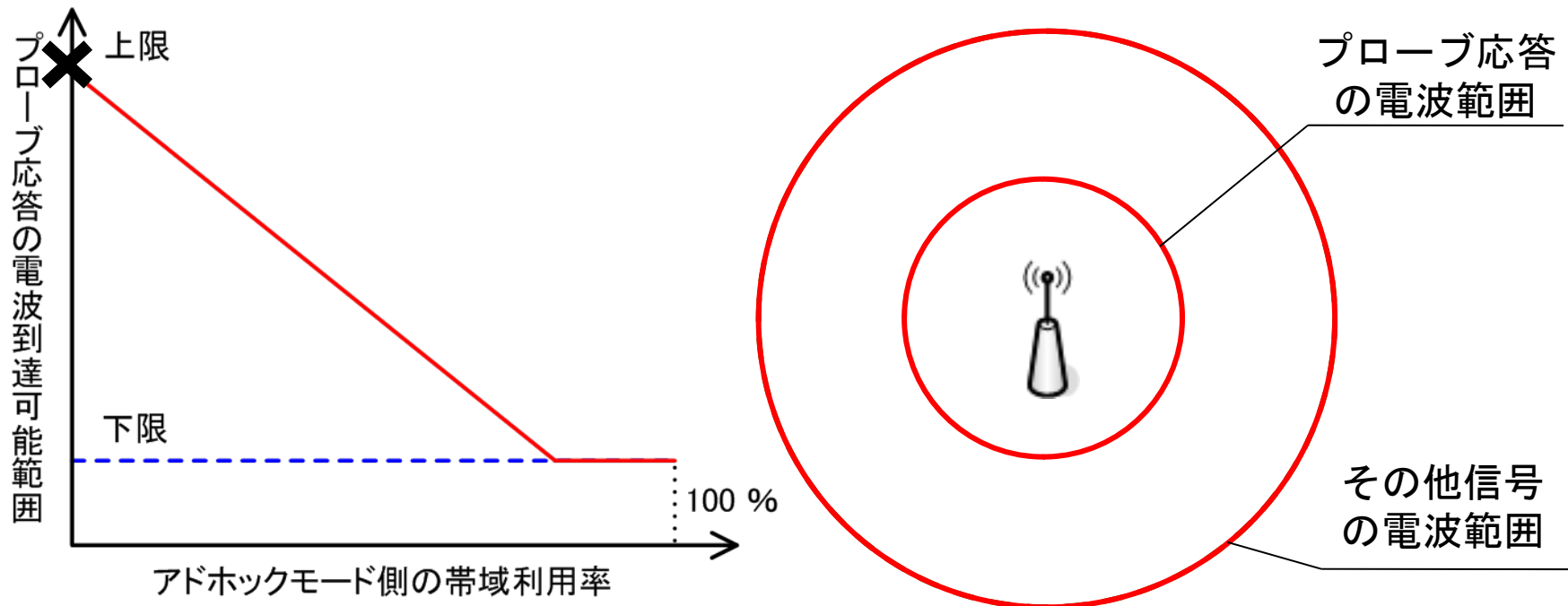


- パケットフレームを拡張するため、端末に改造を加える必要があり、既存の端末では、この方式を利用することはできない

- APが、アドホックモード側のトラフィックを把握し、輻輳状態に近付くにつれ、プローブ応答の電波強度を調整することにより、輻輳状態が悪化しているAPが端末に選択される可能性を低くする

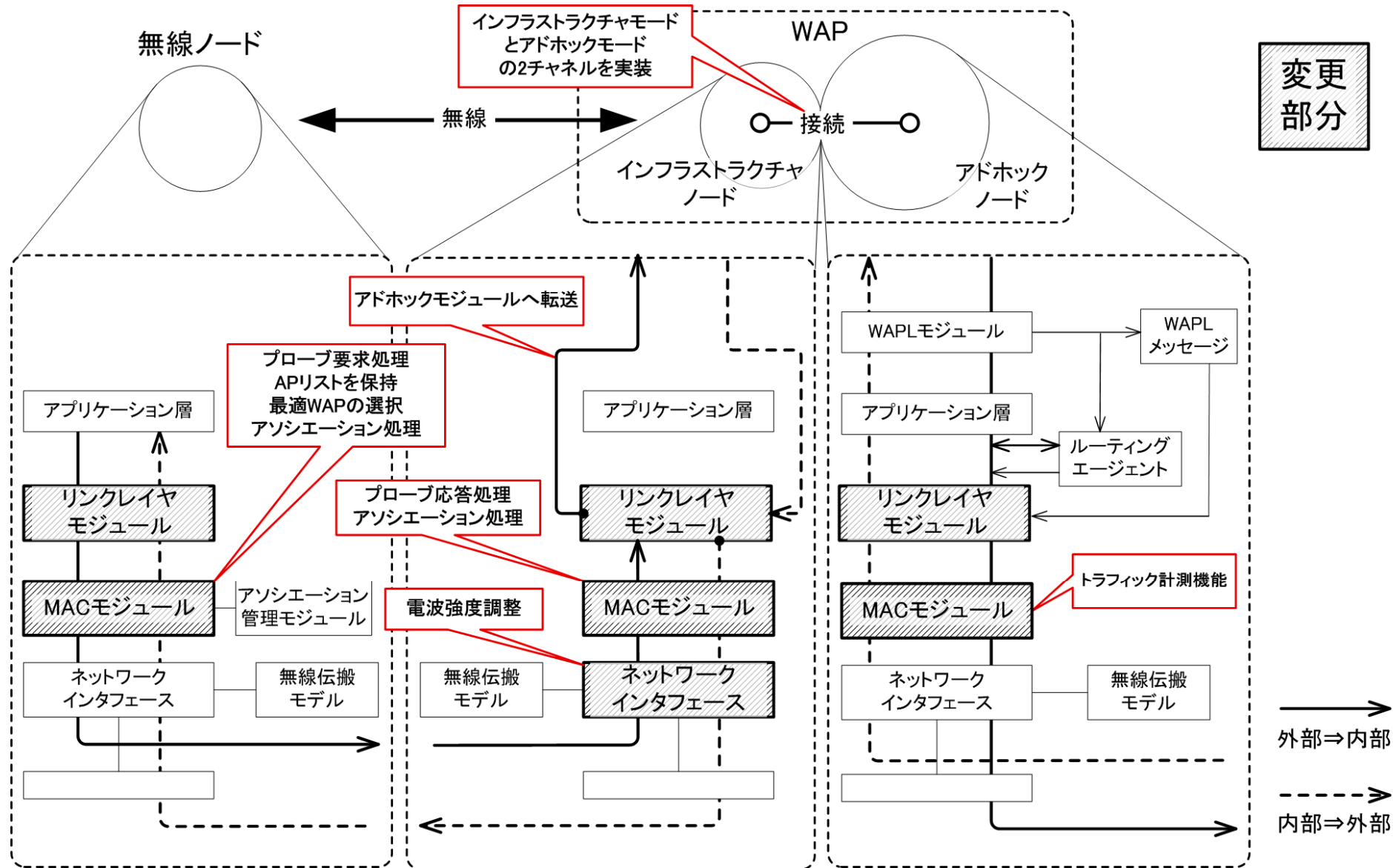


- APは、アドホックネットワーク側のトラフィックが増加すると、プローブ応答の電波強度をトラフィックに応じて弱める
- プローブ応答の電波強度の下限は端末の電波強度
- その他の信号の電波強度を変化させることはない

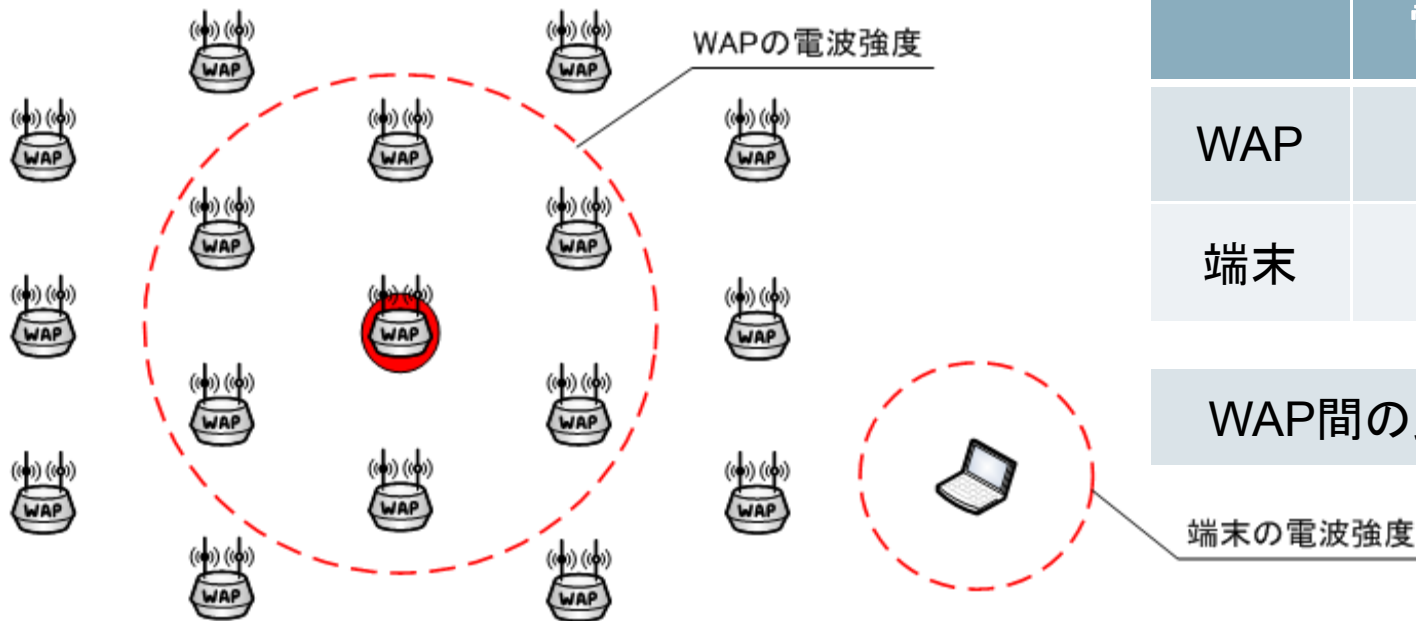


- シミュレーション
 - 従来システムと提案システムにおいて通信を行った際のスループットを比較することで提案システムの有用性を調べる
- 評価には、無線メッシュネットワークとして“WAPL”を用いる
- WAPL(Wireless Access Point Link)
 - WAPLの機能はアドホックルーティングプロトコルから独立して実現しているため、必要に応じてアドホックルーティングプロトコルを自由に選択できる
 - 各APが通信中のパケットを常時把握することにより、端末が移動してもパケットロスのないハンドオーバを実現できる
- WAPLにおけるAPを“WAP(Wireless Access Point)”と呼ぶ
- 参考
 - 伊藤 将志, 鹿間 敏弘, 渡邊 晃
無線メッシュネットワーク”WAPL ”の提案とシミュレーション評価
情報処理学会論文誌, Vol.49, No.6, pp.1859-1871, Jun.2008.

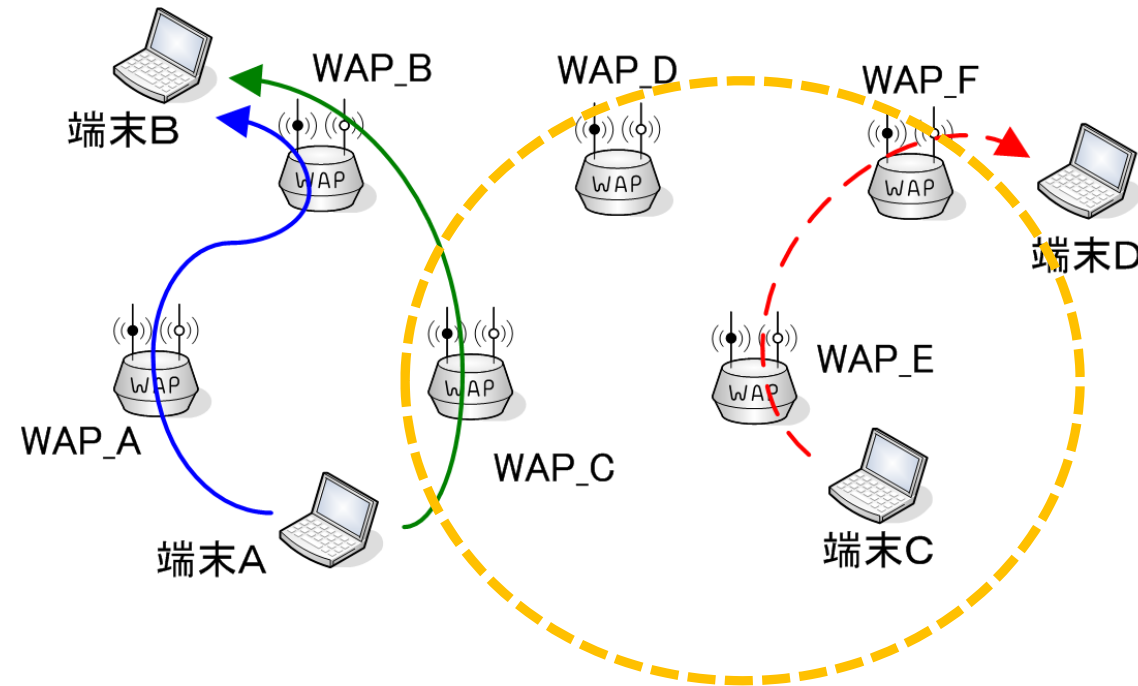
シミュレーション評価 - ns-2の改造



- WAPのインフラストラクチャモード側とアドホックネットワーク側の電波強度は等しく、全WAPの電波強度は一定
- 移動端末はバッテリーで駆動するケースが多く、電力消費を抑えるため、電波強度が低く設定されることがある
- 必ず1個以上のWAPに端末の電波が届くようにWAPを配置する

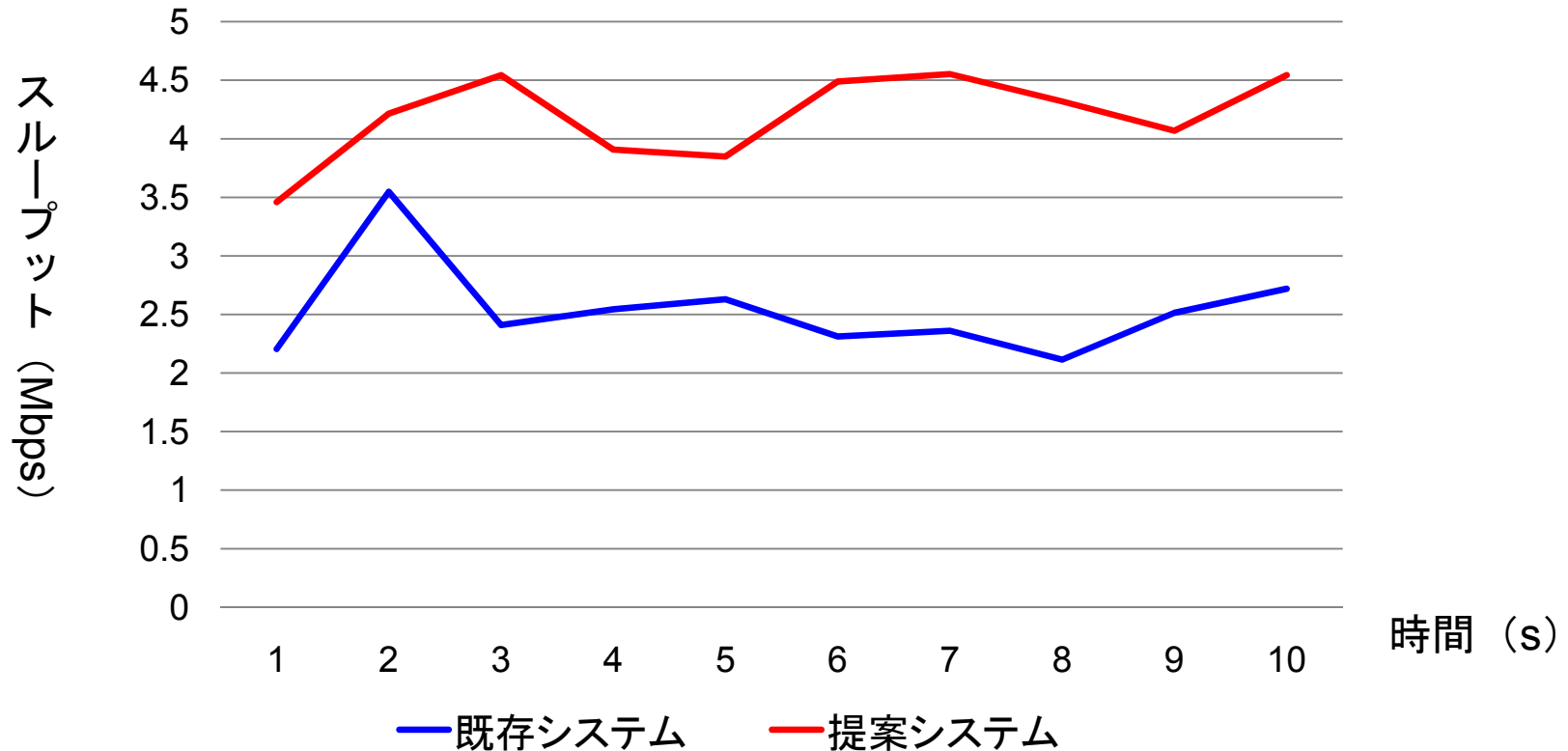


	電波到達可能範囲
WAP	100 m
端末	50 m
WAP間の距離	80 m



端末数	4 (台)
WAP数	6 (台)
WAPの電波到達範囲	100 (m)
端末の電波到達範囲	50 (m)
チャンネル アクセス方式	CSMA/CA
無線帯域	54Mbps
最大キュー長	120(pkts)
MAC	802.11
アドホック ルーティング プロトコル	OLSR
トランスポート層	TCP
アプリケーション層	FTP
パケットサイズ	1000(byte)

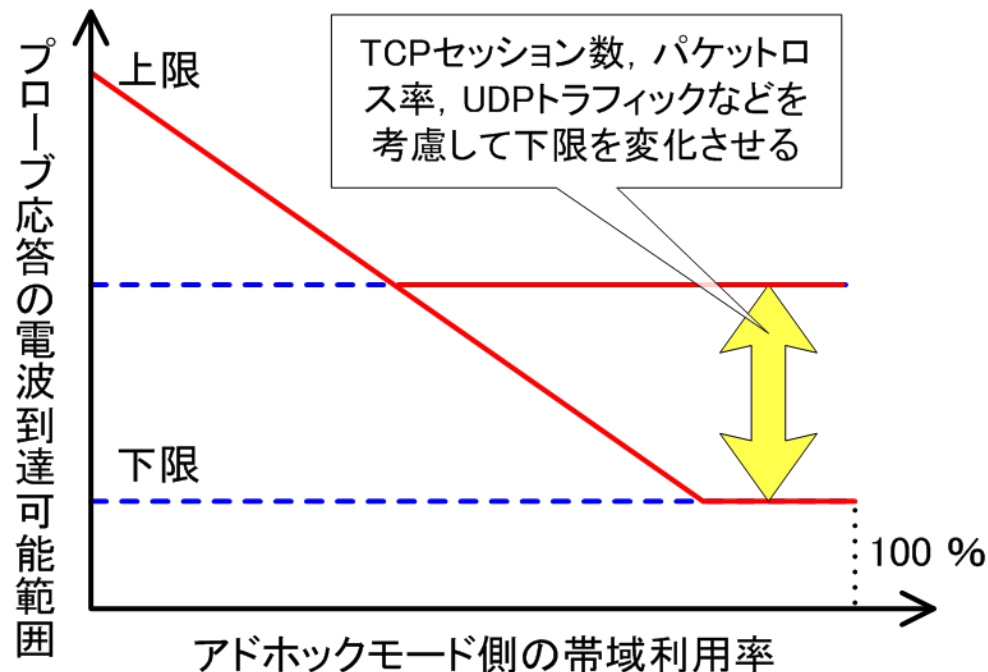
- ▶ 端末A→BのTCP通信を実行しスループットを測定
 - ▶ 既存システムなら端末Aは“ 緑の経路 ”を選択
 - ▶ 提案システムなら端末Aは“ 青の経路 ”を選択



- 既存システムのスループット : 約2.5Mbps
- 提案システムのスループット : 約4.2Mbps

- APの輻輳状態を考慮して端末との接続関係を確立することによりネットワークのスループットの低下を防ぐ方法を提案した
- プローブ応答の電波強度が弱まると端末に選択される可能性が低くなる
 - 輻輳が大きいAPは、プローブ応答の電波強度を弱めて送信することにより、端末に選択されにくくなる
- APの輻輳状態が平均化され、ネットワーク全体のスループット改善を図ることができることをシミュレーションにより評価した
- 今後は、大規模なネットワーク構成における評価を行う
- 輻輳状態を検出する指標を増やす

- TCP通信は、通信帯域を可能な限り利用しようとするので、セッション数が少なくても帯域利用率が増加してしまう
- 輻輳状態を検出する指標がトラフィック量だけでは、真に混雑しているかどうかは分からない
- そこで、TCPセッション数やパケットロス率、UDPトラフィック量など、輻輳状態を検出する指標を増やす必要がある



- “アソシエーション数の制限”など端末からのプローブ要求を拒否するシステムでは、端末がネットワークに参加不可能な領域ができてしまう

