

無線メッシュネットワークにおける輻輳改善の提案

樋口 豊章 伊藤 将志 渡邊 晃

名城大学大学院理工学研究科

Proposal of the Improvement of Traffic Congestion in Wireless Mesh Network

TOYOAKI HIGUCHI MASASI ITO AKIRA WATANABE

Graduate School of Science and Technology, Meijo University

1. はじめに

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 の設置に多大なコストを要する。この問題の解決策として、無線メッシュネットワークがある。

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する。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)においても標準化が進められている。しかし、多くの無線メッシュネットワークでは、その機能がルーティングプロトコルに依存しているため、ルーティングプロトコルを入れかえることができない。また、IEEE802.11s ではハンドオーバーに関する動作の詳細が未検討の状態で、シームレスなハンドオーバーを行うことができないなどの課題がある。

さらに、AP 間の通信は同一チャ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。

我々は無線メッシュネットワークの実現手段の一つとして“WAPL” (Wireless Access Point Link) を提案し、上記課題の解決を試みている。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されており、必要に応じてアドホックルーティングプロトコルを選択できる。また、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ーを実現できる。本論文では、残された課題となる AP 間通信のスループット向上のため、AP の輻輳を改善する方法について提案する。

提案方式では、端末の周囲に AP が複数存在する場合、AP の輻輳状態を考慮して接続関係を確立することにより、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。

以下、2 章で WAPL の詳細を、3 章では WAPL を用いた提案システムについて説明する。4 章ではシミュレーションによる評価と考察について述べ、最後に 5 章でまとめる。

2. WAPL

2.1 概要

図 1 に WAPL の構成を示す。WAPL において使用される AP を WAP(Wireless Access Point)と呼ぶ。WAP には 2 つの無線インタフェースがある。一方は端末とインフラストラクチャモードで通信を行い、もう一方はアドホックネットワークによって WAP 同士を接続する。

WAP のアーキテクチャを図 2 に示す。WAP はアドホック

ルーティングプロトコルには手を加えず、必要な機能を全てアプリケーションで実現している。そのため、ルーティングプロトコルを自由に選択できる。WAP は、現在、市販 AP と PC を Ethernet で接続することにより試作を行い、動作を検証済みである。

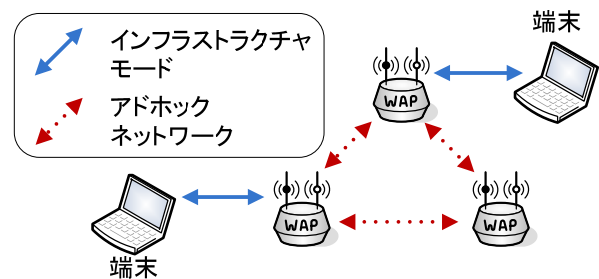


図 1 WAPL の構成

Figure 1 Configuration of WAPL.

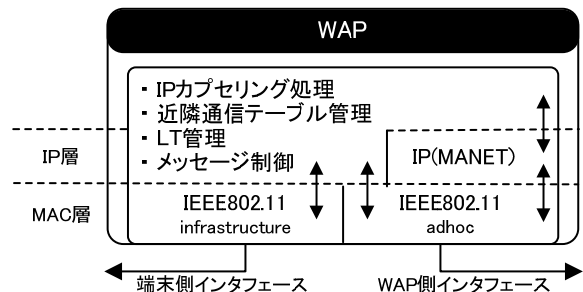


図 2 WAP のアーキテクチャ

Figure 2 Architecture of WAP.

2.2 通信方式

パケットを目的の WAP へ適切に転送するために、WAP は端末の MAC アドレスとその端末が所属する WAP のアドホック側インタフェースの IP アドレスの対応関係を管理する LT (Link Table) を生成する。WAP は、端末からの ARP 要求を受信すると、他の WAP へ LT 生成要求メッセージをフラッディングにより広告する。LT 生成要求メッセージには探索端末の IP アドレス、送信元端末の IP アドレス、MAC アドレスが記載されており、LT 生成要求メッセージを受信した全 WAP は LT に送信元端末の IP アドレスと MAC アドレス、更に送信元 WAP の IP アドレスの対応関係を記録する。同時に配下に ARP 要求を送信し、目的端末が存在するかどうかを確認する。ARP 応答を受信した WAP はユニキャストで送信元 WAP に LT 応答メッセージを送信する。LT 応答メッセージには探索端末と送信元端末の IP アドレスと

MAC アドレスが記載されており、送信元 WAP は LT 応答メッセージを受信すると宛先端末の MAC アドレスと宛先 WAP の IP アドレスの関係を LT に記録する。ARP が終了すると端末は IP パケットの送受信を開始する。WAP は LT をもとに MAC フレームを WAP の IP アドレスでカプセル化して宛先 WAP に送信する。カプセル化されたパケットはアドホックルーティングにより宛先端末が所属する WAP へ転送される。宛先 WAP はカプセル化を開放して宛先端末へと転送する。

LT の内容は通信終了後、一定時間通信が行われない状態が続くと削除される。LT をオンデマンドで生成するため、制御メッセージによるトラフィックを削減することができる。また、WAPL では、端末が通信中に WAP 間を移動してもパケットをロスすることなく通信を継続するシームレスハンドオーバを実現できるという特徴がある。各 WAP は通信中のパケットを常時監視し、周辺端末の IP アドレス、及び MAC アドレスと WAP の IP アドレスを記録するテーブルを保持している。このテーブルを近隣通信テーブルと呼ぶ。これにより WAP は近隣の通信状態とその経路を常に把握している。

端末が移動すると、そのことを周辺 WAP に知らせ、LT を書き換える必要があるが、WAP は近隣通信テーブルを用いて、LT を修正すべき WAP を割り出し、ユニキャストで修正内容を通知する。ユニキャストは信頼性が高く、LT の修正を確実に行うことができる。このようにしてパケットロスの少ないシームレスハンドオーバを実現する。

3. 提案システム

3.1 提案システムの概要と構成

図 3 に提案システムの構成を示す。移動端末が通信中に移動すると、WAP/端末間の電波状況が悪化し、これまで接続関係を確立していた旧 WAP との通信ができなくなる。そこで移動端末は、旧 WAP との接続を切断し、周辺の新 WAP を探すため、チャネルスキャンを行う。チャネルスキャンは、チャネルを変更しながらプローブ要求を行う動作である。プローブ要求を受けた周辺 WAP はプローブ応答を返す。移動端末は複数のプローブ応答を受け取る可能性があるためチャネルスキャン終了後、その中から最も電波強度が強い WAP と接続関係を確立する。なお、WAP は定期的にビーコンメッセージを発信しており、移動端末は受信したビーコンメッセージの電波強度をチャネルスキャン開始のトリガとしている。

提案システムにおいては、WAP 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ているものとする。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。具体的には、輻輳状態に近い WAP は電波強度を弱めてプローブ応答を返す。電波強度を弱めると端末に選択される可能性が低くなるため、輻輳状態の WAP は選択されにくくなる。なお、ビーコンメッセージの電波強度を変化させると、新たに端末が参入する代わりに、既に WAP の配下にある端末をハンドオフさせてしまうといった問題などが発生する可能性があるため、電波強度の調整を行うのはプローブ応答のみとする。

図 3 に提案システムにおけるプローブ応答の電波強度を示す。輻輳状態に応じてプローブ応答の電波強度が異なっている。移動端末は WAP_A と WAP_B の両方からプローブ応答を受け取るが、WAP_A の方が WAP_B より電波が強いため、WAP_A と接続関係を確立することになる。この方法で WAP

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 4 に提案システムにおいて想定する WAP の配置を示す。各 WAP は、図 4 に示すように自身の電波が届く程度の距離にある WAP に対し等間隔に 6 角形になるよう配置する。

WAP のインフラストラクチャモード側とアドホックモード側の電波強度は等しく、全 WAP の電波強度は一定であり、固定された 6 個の WAP に電波が届くものとする。これに対し、移動端末はバッテリーで駆動する場合が多く、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。そのため、提案システムにおいて想定する端末の電波強度は、WAP の電波強度より低い、必ず 1 個以上の WAP に信号が届く程度の強度であることを仮定する。

具体的には、図 4 に示すように WAP と端末の電波到達可能範囲を、それぞれ 100m と 40m とする。また、各 WAP 間の距離を 80m と仮定する。

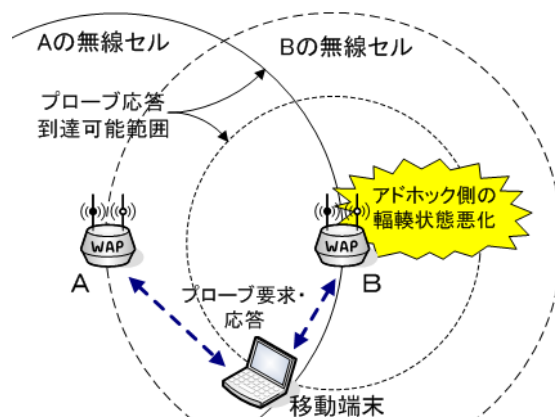


図 3 プローブ応答の電波強度

Figure 3 Radio-wave strength of probe responses.

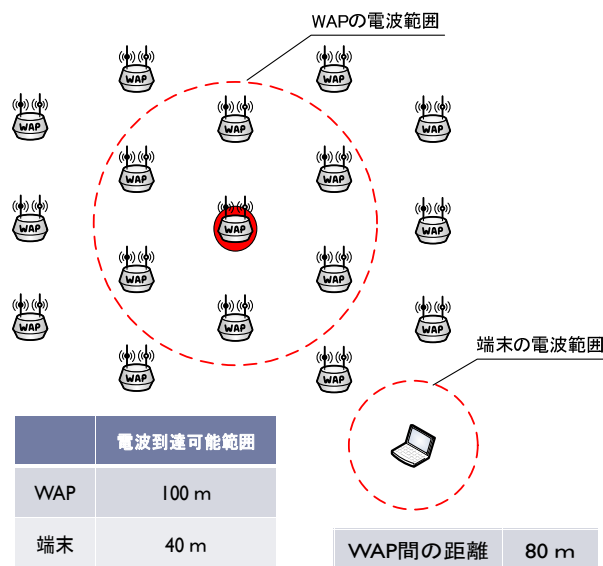


図 4 WAP の配置

Figure 4 Settings of WAPs.

3.2 提案システムの動作

提案システムにおいて、各 WAP は端末からプローブ要求が届くと、自身のトラフィックが少ない場合は通常の電波強度でプローブ応答を返し、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、端末はトラフィックの少ない WAP 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 5 に WAP の輻輳状態と電波強度の関係を示す。WAP 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。プローブ応答の電波強度の下限は端末の電波強度とする。つまり、WAP の電波到達可能範囲の上限は 100m、下限は 40m となる。

図 6 に提案方式における WAP と移動端末の動作を示す。図 6 は移動端末が移動後、チャンネルスキャンを開始したところから記述している。移動端末は全てのチャンネルに対してプローブ要求を発信し、プローブ応答の有無を確認する。プローブ応答があった場合は電波強度を記憶しておく。チャンネルスキャンが終了すると、受け取ったプローブ応答の中から最も電波強度が強い WAP を選択し、接続関係を確立する。WAP との接続確立は、認証要求／応答とアソシエーション要求／応答により完了する。

なお、プローブ応答の電波強度を弱めている WAP は、自身のトラフィックが改善されるに従い、プローブ応答の電波強度を元の電波強度まで戻していく。以上の動作により、端末はトラフィックの少ない WAP と接続関係を確立することができ、スループットが改善される。

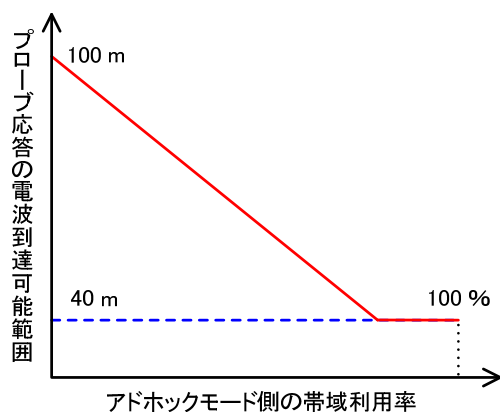


図 5 輻輳状態と電波強度の関係

Figure 5 Relationship between Congestion state and Radio-wave strength.

4. 評価

4.1 概要

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 WAPL 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。評価項目は移動端末間におけるスループットとした。無線メッシュネットワークでは、AP にインフラストラクチャモードとアドホックモードの 2 種類のインタフェースが必要である。しかし、ns-2 に WAPL の機能を実装した当時は、

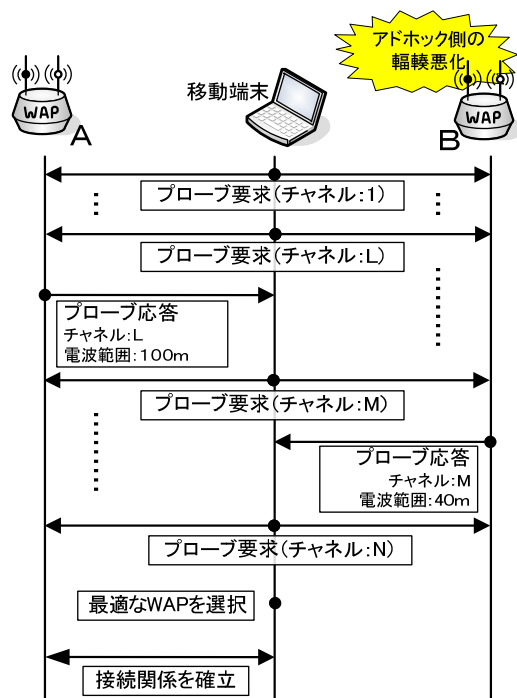


図 6 WAP と移動端末の動作

Figure 6 Operations of WAPs and a mobile node.

ns-2 に無線 LAN インフラストラクチャモードの機能がなかったため、AP と端末の接続には IEEE802.11 モジュールにビーコンの発信、電波強度による AP 離脱と再参入の判断、離脱・参入処理を行う機能を独自に追加することによって実現した。また、WAP に 2 種類のインタフェースを持たせるために、各インタフェースをもつ 2 つのノードの内部モジュールを直接リンクすることによって、シミュレーション環境を実現した。

今回のシミュレーションでは、インフラストラクチャモード側で用いるチャンネルを全て同一とした。また、WAP は等間隔に配置した。

4.2 端末間におけるスループットの比較

図 7 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、WAP を等間隔に 6 台配置し、背景負荷として通信経路が WAP_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 WAP_A と C の間のやや WAP_C に近い場所に配置する。

図 8 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 であるのに対し、提案システムのスループットは約 4.2Mbps である。これは、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 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のに対し、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たため、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ためである。

以上のことから、提案システムがネットワークの輻輳状態を改善し得ることが分かる。

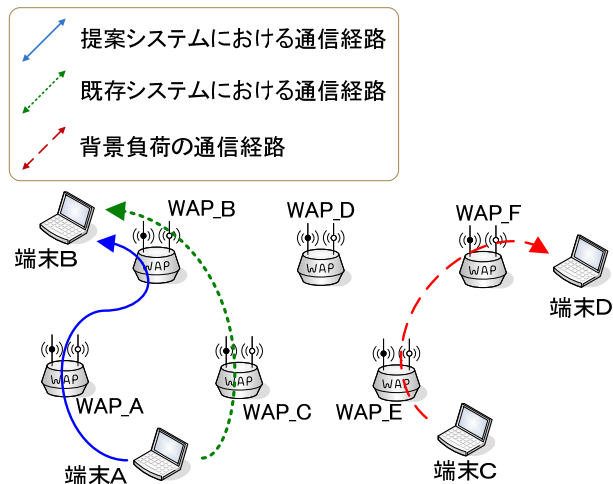


図 7 シミュレーションにおけるネットワーク構成
Fig.7 Network configuration in the simulation.

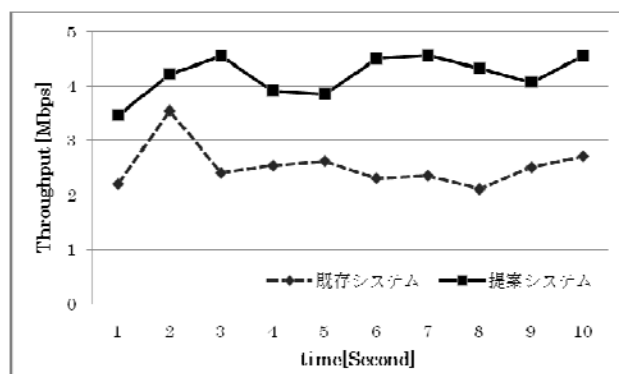


図 8 スループットの比較
Fig.8 Comparison of throughputs.

5. むすび

WAP 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。

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ため、輻輳が大きい WAP は電波強度を弱めてプローブ応答を返すことにより、輻輳が大きい WAP が端末に選択される可能性を低くなる。そのため、WAP 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。

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。

参考文献

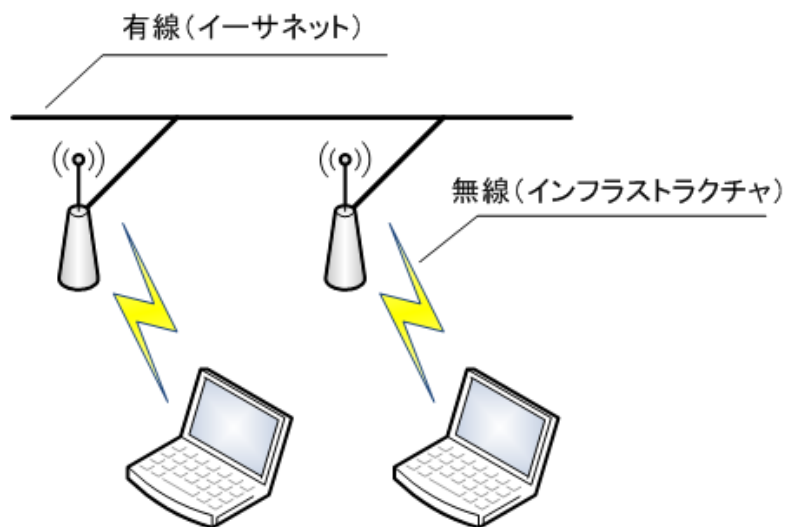
- [1] 伊藤将志, 鹿間敏弘, 渡邊晃: 無線メッシュネットワーク” WAPL” の提案とシミュレーション評価, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.6, pp. -, Jun.2008.
- [2] 加藤佳之, 伊藤将司, 渡邊晃: 無線アクセスポイントリンク” WAPL” の提案と評価, マルチメディア, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02007) シンポジウム論文集, 情報処理学会シンポジウム, Vol.2007, No.1.
- [3] 大和田泰伯, 照井宏康, 間瀬憲一, 今井博英: マルチホップ無線 LAN の提案と実装, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J89-B, No.11, pp.2092-2102
- [4] 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, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J89-B, No.6, pp.811-823
- [4] 高橋ひとみ, 齊藤匡人, 間博人, 戸辺義人, 徳田英幸: MANET における TCP スループット推定による経路選択機構の実環境評価, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.12, pp.2857-2870, Dec.2005.
- [5] MeshNetworks,
<http://www.motolara.com>
- [6] IEEE802.11,
<http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>
- [7] Packethop
<http://www.packethop.com>
- [8] Metro Mesh
<http://www.tropos.com/>
- [9] MeshCruzer
<http://www.thinktube.com/>
- [10] Navda, V., Kashyap, A. and Das, S.R.: Design and evaluation of iMesh: an infrastructure mode wireless mesh network, World of Wireless Mobile and Multimedia Networks, pp.164-170 (2005).
- [11] Aoki, H., Chari, N., Chu, L. et al.: 802.11 TGs Simple Efficient Extensible Mesh (SEE-Mesh) Proposal (2005).
- [12] Chen, J. and Chen, Y.-D.: AMNP: Ad Hoc Multichannel Negotiation Protocol for Multihop Mobile Wireless Networks, IEEE International Conference on Communication (2004).
- [13] A.Yair, et al., ”Fast Handoff for Seamless Wireless Mesh Networks”, MobiSys’06, June 19-22, 2006.
- [14] N.Vishnu, et al., ”Design and Evaluation of iMesh: an Infrastructure-mode Wireless Mesh Network”, WoWMoM2005, 13-16 June 2005.
- [15] Michael Bahr, ”Proposed Routing for IEEE 802.11s WLAN Mesh Networks”, WICON’06, Aug 2-5, 2006.

無線メッシュネットワークにおける 輻輳改善の提案

名城大学大学院 理工学研究科
樋口豊章 伊藤将志 渡邊晃

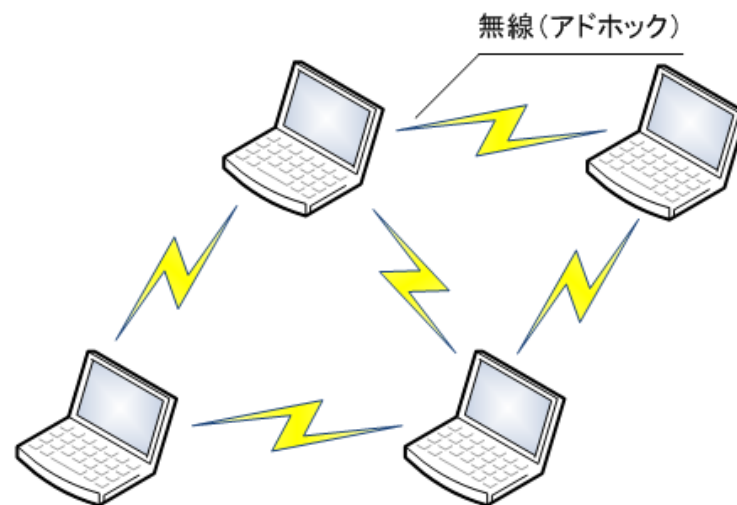
はじめに

- ▶ 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



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

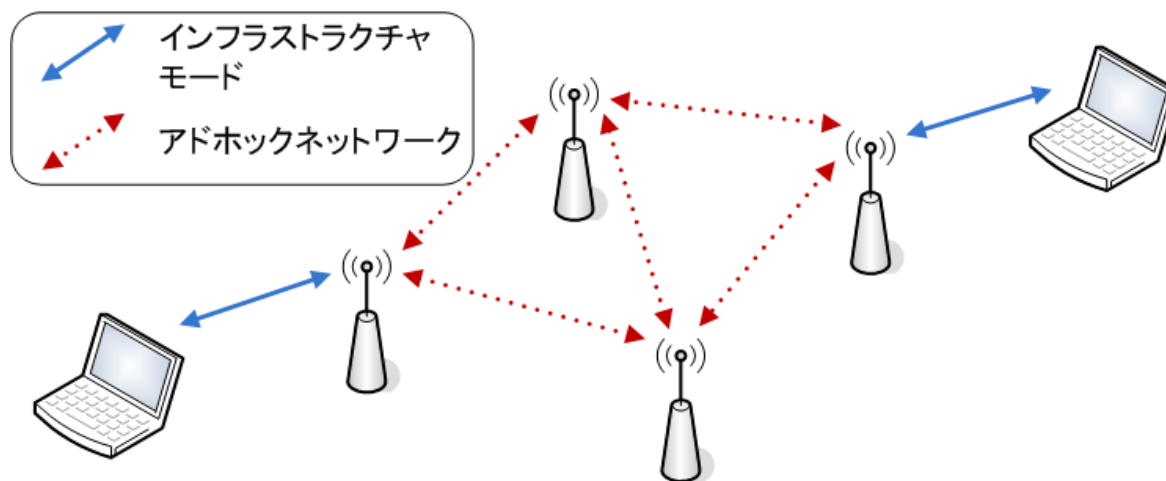


アドホックネットワーク

- ▶ 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とは

- ▶ 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



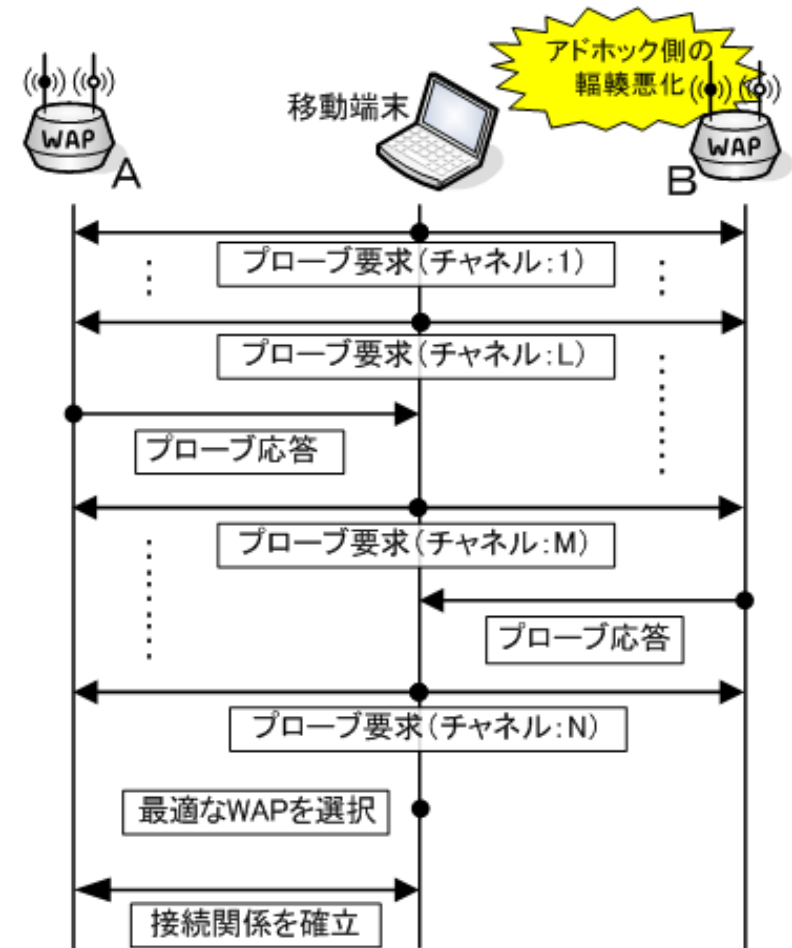
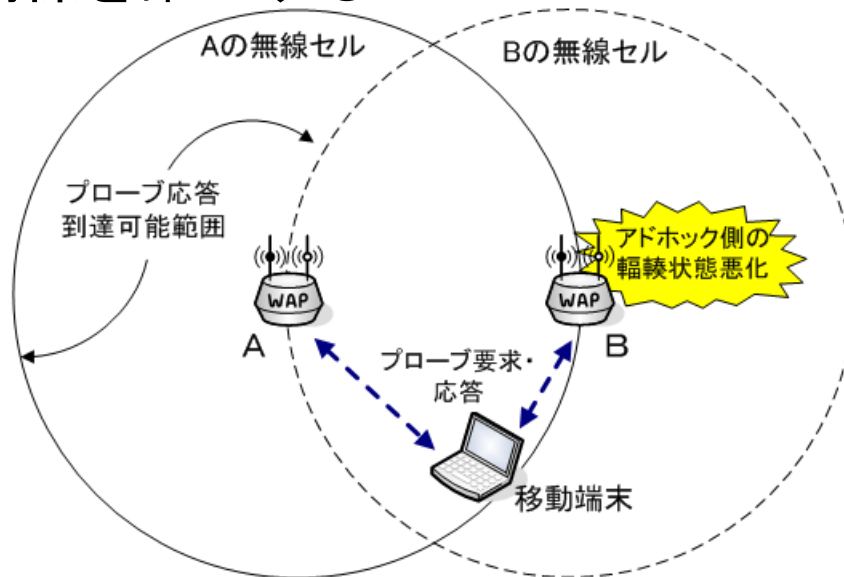
- ▶ IEEE802.11 Task Group S(IEEE802.11s)において標準化が進められている

無線メッシュネットワーク

- ▶ 無線メッシュネットワークの実現手段の一つとして我々が提案している“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されているため、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

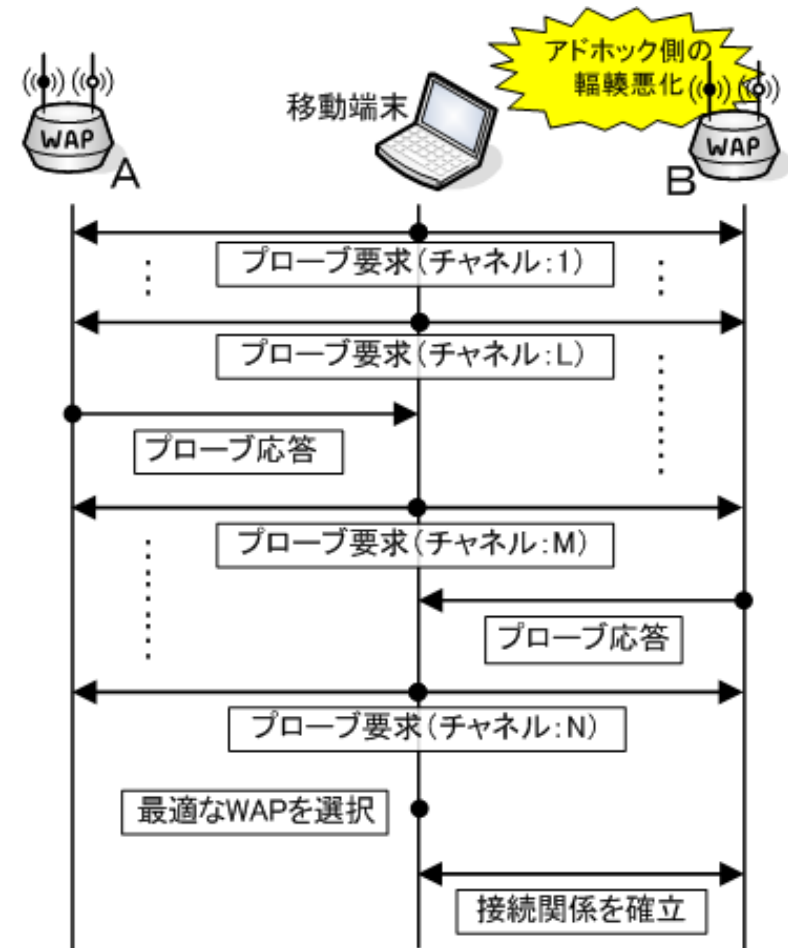
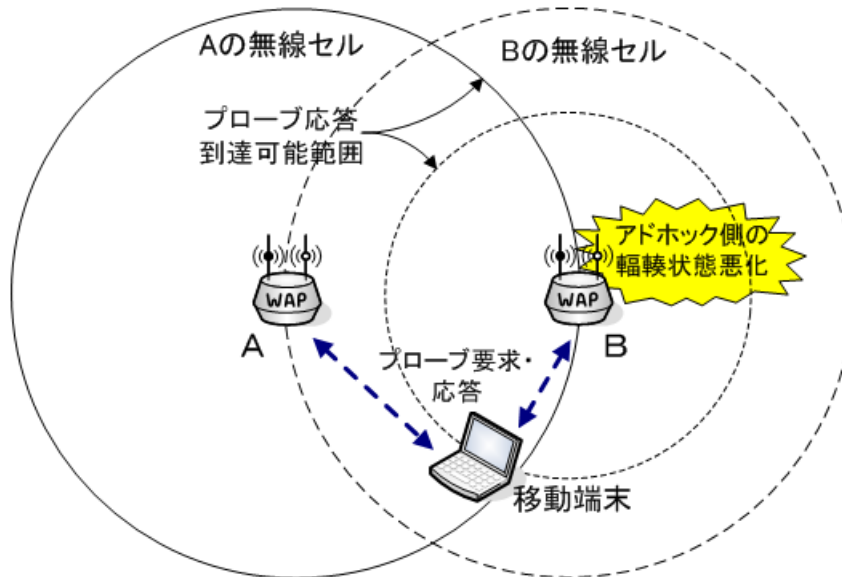
従来システム

- ▶ 端末が、移動等によって接続関係を確認していたWAPとの通信ができなくなると、チャンネルスキャンを行う
- ▶ プローブ要求を受信したWAPは、プローブ応答を返す
- ▶ 端末は、受信したプローブ応答の中で最も電波強度が強いWAPと接続関係を確認する



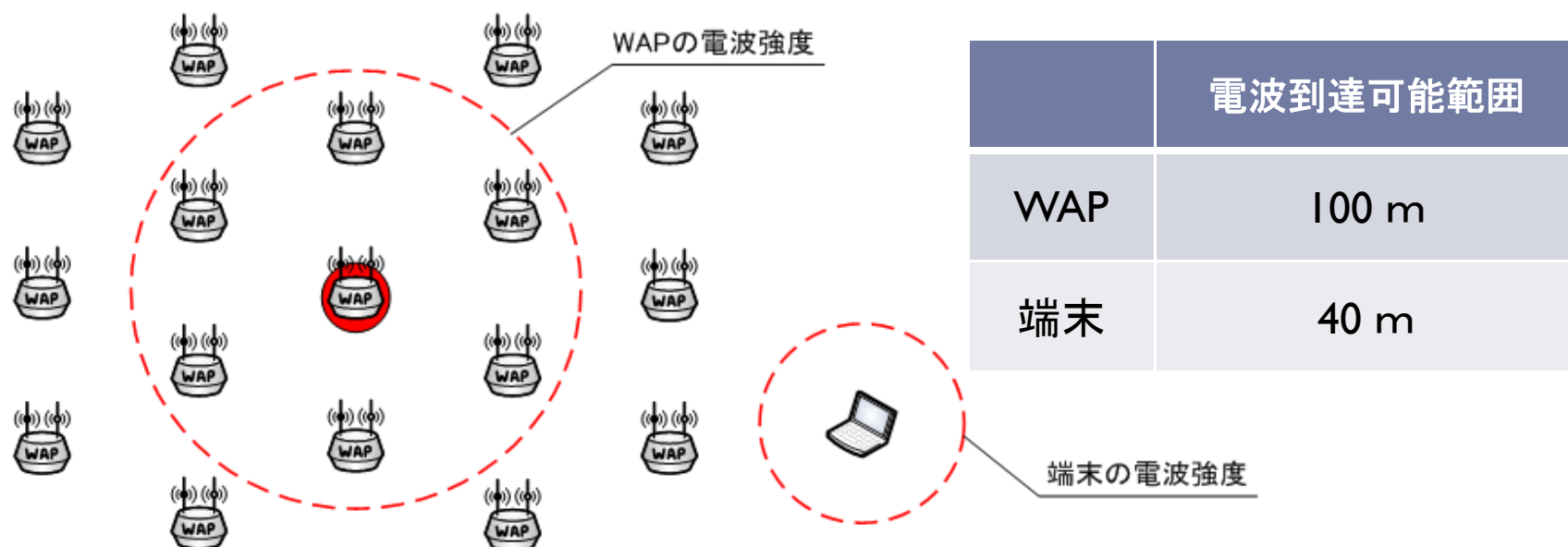
提案システムの概要

- ▶ WAP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WAPが端末に選択される可能性を低くする



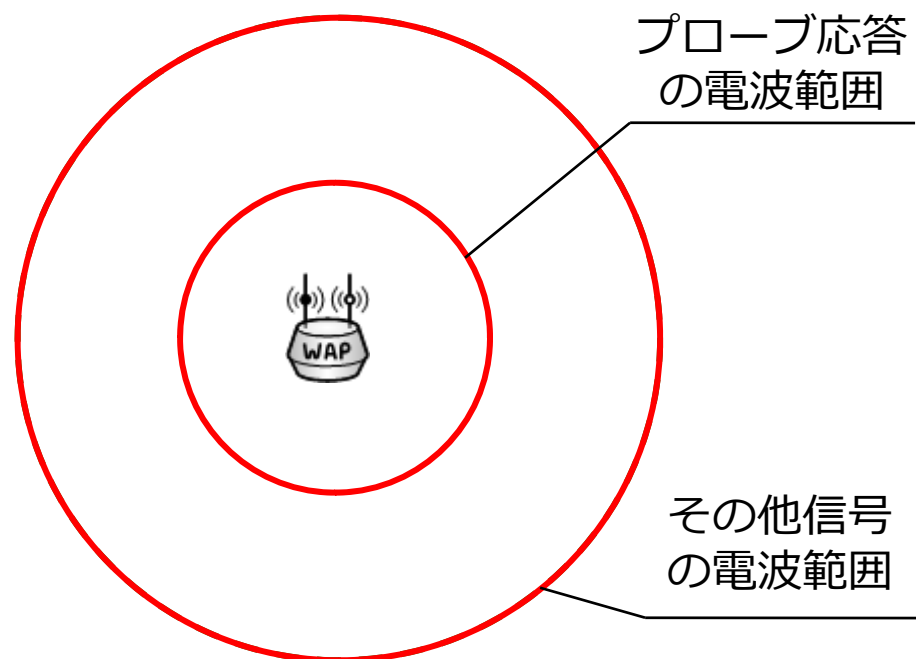
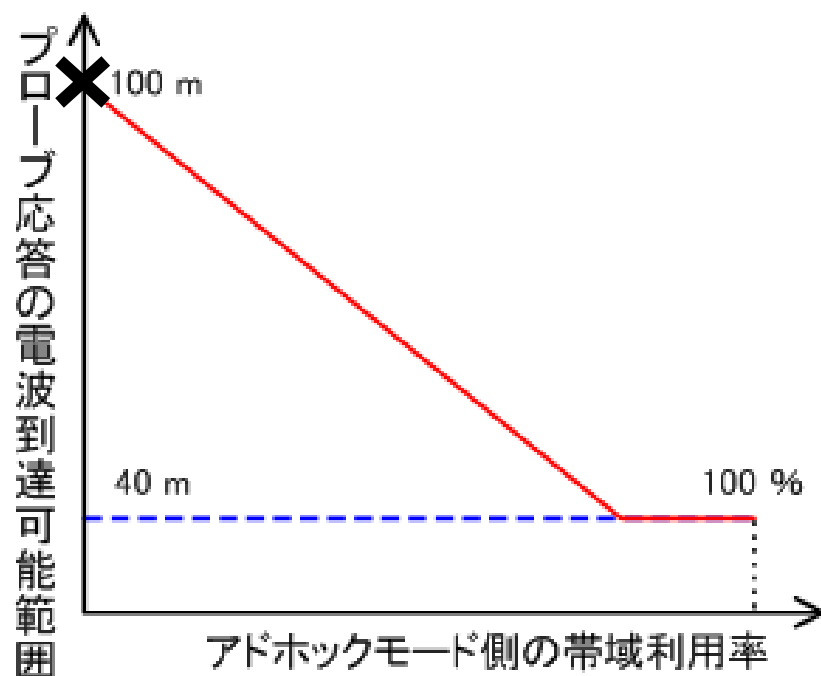
提案システム

- ▶ 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場合が多く、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



提案システム

- ▶ WAP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対し比例的に弱める
- ▶ プローブ応答の電波強度の下限は端末の電波強度



ns-2によるシミュレーション

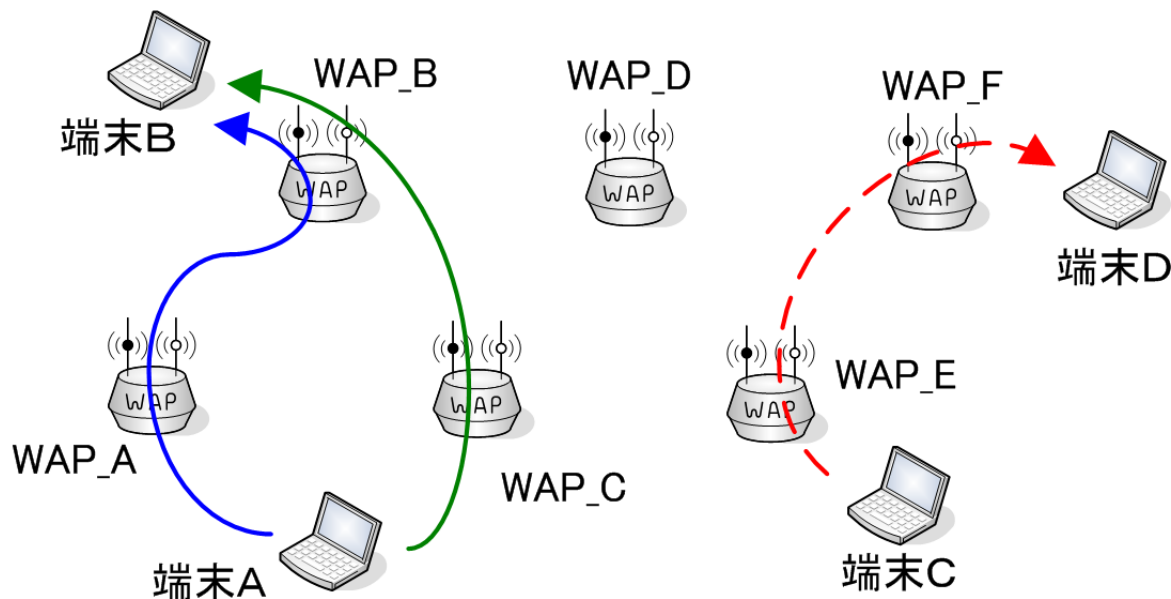
▶ シミュレーション

- ▶ 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

▶ ns-2への改造

改造対象	改造内容
端末	最適なAPを選択する機能を追加
AP	端末との接続関係確立・離脱処理を行う機能を追加
WAP	インフラストラクチャモードとアドホックモードの2チャンネルを実装
	アドホック側のトラフィックを調べる機能を追加 (MACレイヤでパケットを監視する)
	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弱める機能を追加

ns-2によるシミュレーション

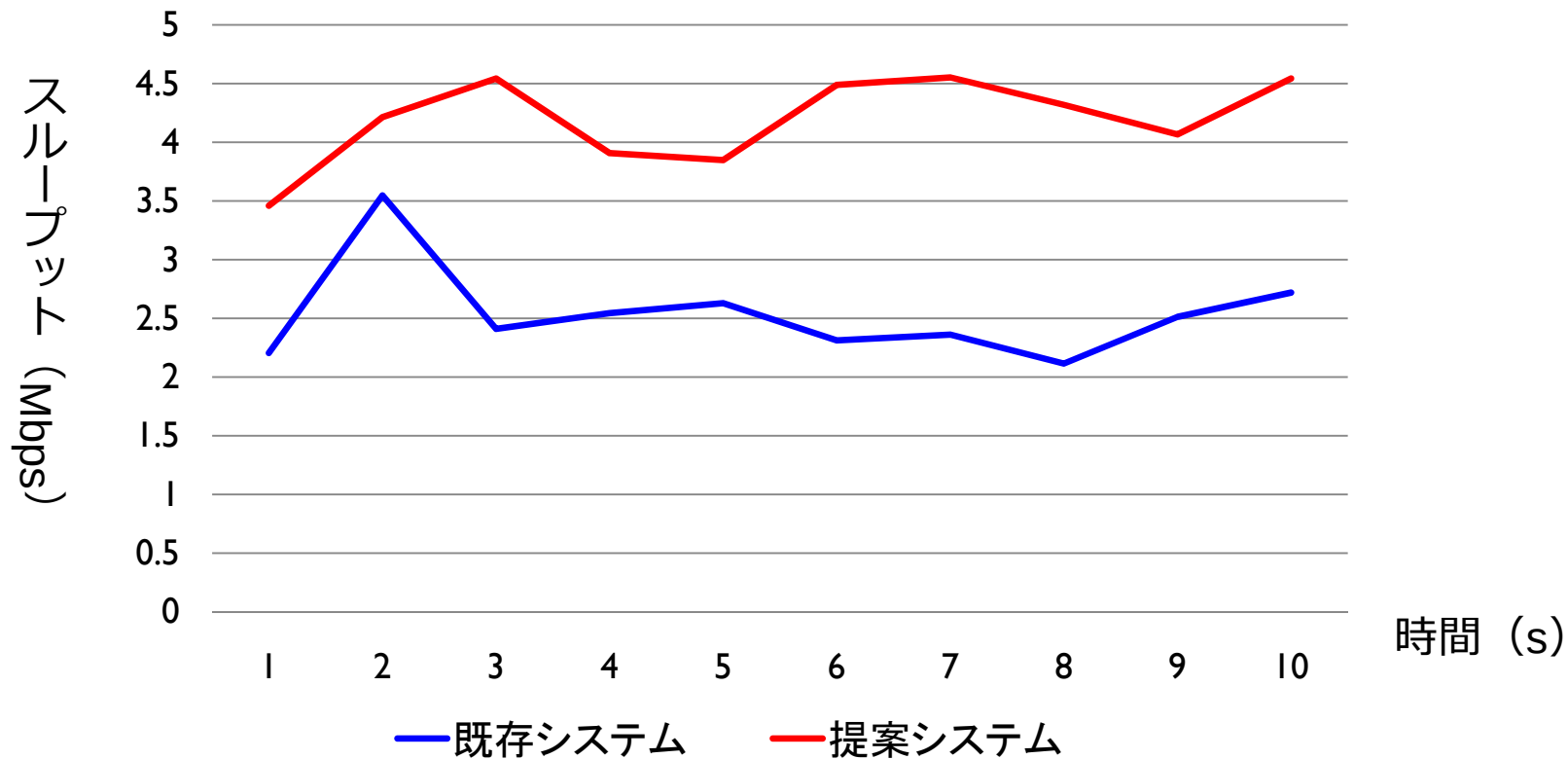


	電波到達可能範囲
WAP	100 m
端末	40 m

WAP間の距離	80 m
---------	------

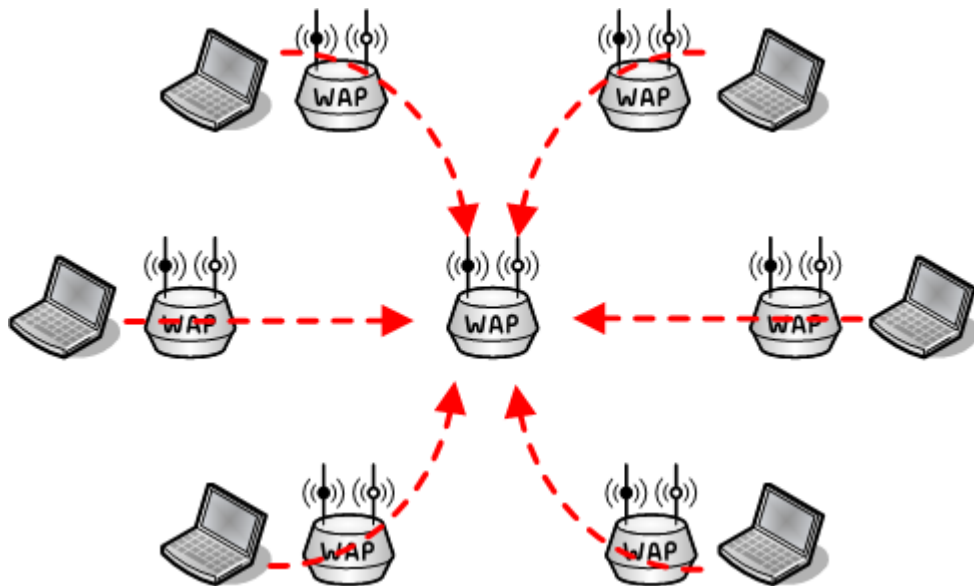
- ▶ 端末A→BのTCP通信を実行しスループットを測定
 - ▶ 従来システムなら端末Aは“ 緑の経路 ”を選択
 - ▶ 提案システムなら端末Aは“ 青の経路 ”を選択

ns-2によるシミュレーション



- ▶ 従来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

ns-2によるシミュレーション



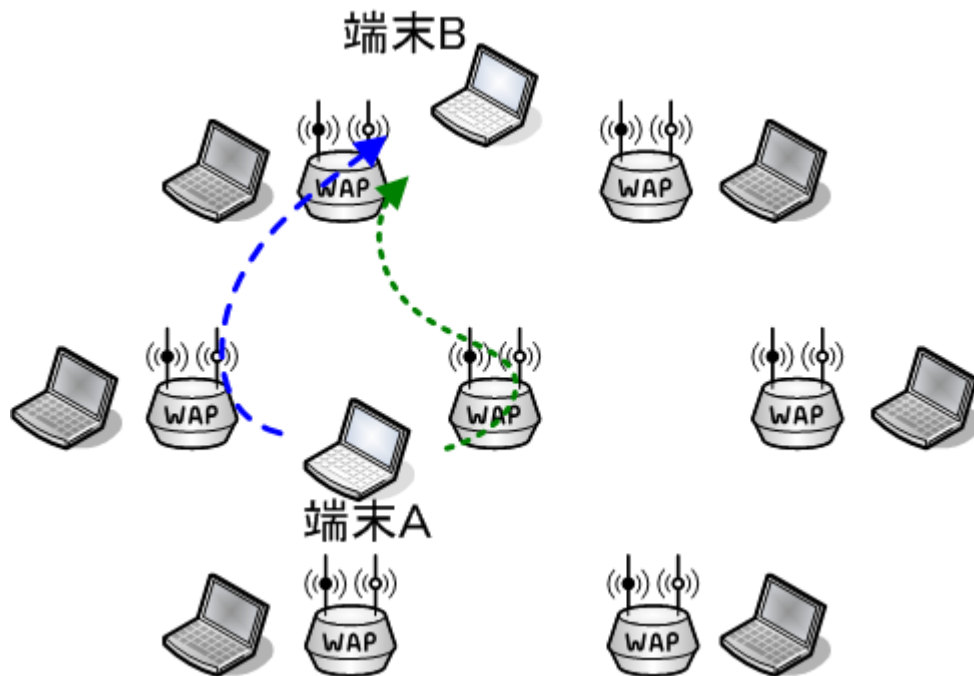
	電波到達可能範囲
WAP	100 m
端末	40 m

WAP間の距離	80 m
---------	------

背景負荷端末	
台数	6
パケットのデータサイズ	250, 500, 750, 1000

- ▶ ゲートウェイがある場合など、トラフィックが一部に集中するネットワーク構成における既存システムと提案システムの比較

ns-2によるシミュレーション



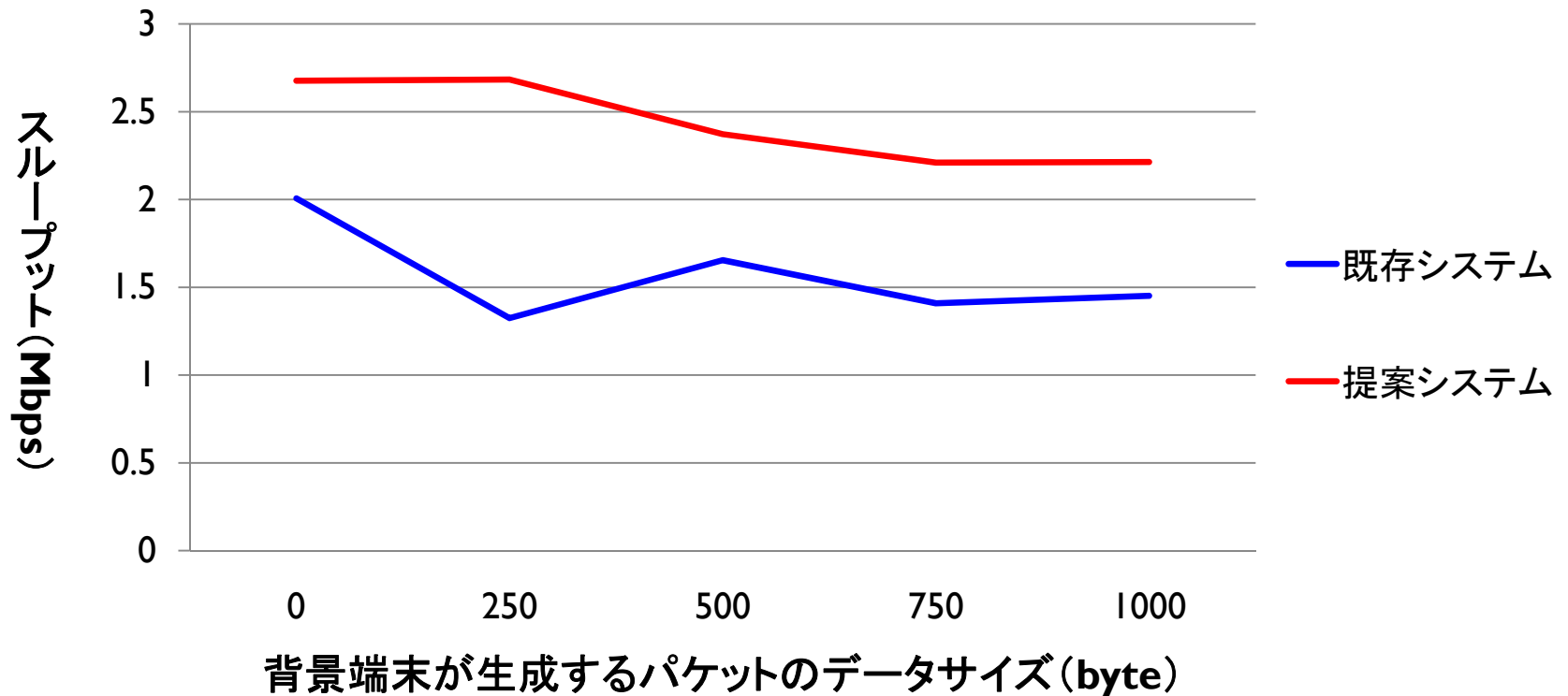
	電波到達可能範囲
WAP	100 m
端末	40 m

WAP間の距離	80 m
---------	------

背景負荷端末	
台数	6
パケットのデータサイズ	250, 500, 750, 1000

- ▶ 端末A→BのTCP通信を実行しスループットを測定
 - ▶ 従来システムなら端末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

ns-2によるシミュレーション



- ▶ 従来システムのスループット : 約1.57Mbps
- ▶ 提案システムのスループット : 約2.43Mbps

まとめ

- ▶ WAP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WAP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
- ▶ WAP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、パケットロス率などを考慮に入れた検討を行う

参考資料

- ▶ “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

