

IEEE802.11s 無線 LAN メッシュ ネットワーク技術

無線 LAN メッシュネットワークは、中継機能を有する無線 LAN 装置が基地局などを經由することなく直接通信を行うことにより構築される。今回、経路制御や輻輳制御などの機能を MAC 層で連携させる技術を提案し、スループット特性の劣化や輻輳などの課題を解決した。本技術により、無線 LAN アクセスポイントなどのネットワーク設備がない場所においても、簡易に高速な無線ネットワークを構築することが可能となる。

あ お き ひでのり	た け だ しんじ
青木 秀憲	竹田 真二
や ぎ ゆ う けんご	や ま だ あきら
柳生 健吾	山田 暁

1. まえがき

デジタル家電、PC、移動端末などのさまざまな端末から構成され、将来のユビキタスネットワークを実現する要素技術として、広帯域で、固定の有線ネットワークに依存せず、柔軟なネットワーク構成が可能な無線 LAN メッシュネットワーク技術が注目されている[1]。

無線 LAN メッシュネットワークは、家庭内ネットワーク、オフィス無線 LAN の簡易なエリア拡大、移動端末間のアドホックネットワーク^{*1}など、さまざまなシーンに利用できる。

無線 LAN メッシュネットワークは、基地局などの集中制御装置を經由することなく、隣接する端末どうしを無線で直接接続することにより構築される。また、送信されたデータが複数の無線端末を順に經由することにより所望のあて先に送付されるような、マルチホップの無線ネットワーク構成となる。

各端末を接続するために用いられる無線方式としては、無線 LAN の国際標準規格である IEEE802.11^{*2} 標準仕様[2] に準拠した無線 LAN 技術が適用されている。この無線 LAN 技術は、広帯域の無線通信を実現する手段として幅広く市

*1 アドホックネットワーク：基地局やアクセスポイントを必要としない、複数の移動端末どうしで相互に接続する構成のネットワーク。

*2 IEEE802.11：米国財団法人である IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) が策定した無線 LAN の国際標準規格。

場に普及しており、QoS (Quality of Service) 技術^{*3}[3]や無線の高速化技術 (600Mbit/s)[4]など、現在も技術革新が続けている。

無線LANメッシュネットワークは、通信距離短縮による高速化、周波数の空間的再利用によるネットワーク容量の増大、ネットワークの自動構築、冗長構成による信頼性の向上などの利点を有する。

しかし、マルチホップの無線ネットワークの代表的な課題として隠れ端末^{*4}やさらし端末^{*5}の問題によるスループット^{*6}特性の劣化、ネットワークの輻輳などが挙げられる[5]。これらの問題はトラフィックの経路を決定するルーティングプロトコルと、MAC (Medium Access Control) 層^{*7}に実装されている無線アクセス制御方式や周波数チャネルの割当て方式に大きく依存する。これらの課題を解決し、無線LANメッシュネットワークの利点を活かすには、ルーティングプロトコルと、MAC層に実装されている主要機能がリアルタイムに連携して動作することが重要である[6]。

そこで著者らは、ルーティングプロトコルをMAC層に実装した無線LANメッシュネットワーク技術について検討し、その結果の主要部分をIEEE802.11sに提案した[7]。

IEEE802.11sは、無線LANメッシュネットワークを構築するうえで必要となる技術の標準化作業を行う作業班として2004年5月に設立された。その後、提案技術の選定に必要な利用モデル、要求条件および選定手順の作成が行われ

た。2005年1月に発行された提案募集 (CFP: Call For Proposal) には、15件の提案が提出された。2006年3月会合において、投票を勝ち抜いたドコモ提案を含む2つの共同提案が統合され、標準仕様書の草案として採択された[8][9]。今後、標準仕様の最終承認に向けて仕様の完成度を上げる作業が進められる予定である。標準化作業の終了は2008年6月の予定である。

本稿では、無線LANメッシュネットワークのシステムアーキテクチャ、およびその中の主要技術について概要を説明する。

2. 無線LANメッシュネットワークの概要

2.1 デバイスの種類とネットワーク構成

無線LANメッシュネットワークの構成は、図1に示すように、無線LANメッシュネットワーク機能のみを実装したMP (Mesh Point)、MPに無線LANアクセスポイントの機能を実装したMAP (Mesh Access Point)、MPに外部ネットワークに接続するゲートウェイ機能を実装したMPP (MP collocated with a mesh Portal)、無線LANメッシュネットワーク機能を有さない通常の無線LAN端末であるSTA (Station) により構成される。無線LANメッシュネットワーク機能を有するMP、MAP、MPP間のデータ転送には、WDS (Wireless Distribution System) フレーム^{*8}が利用される。

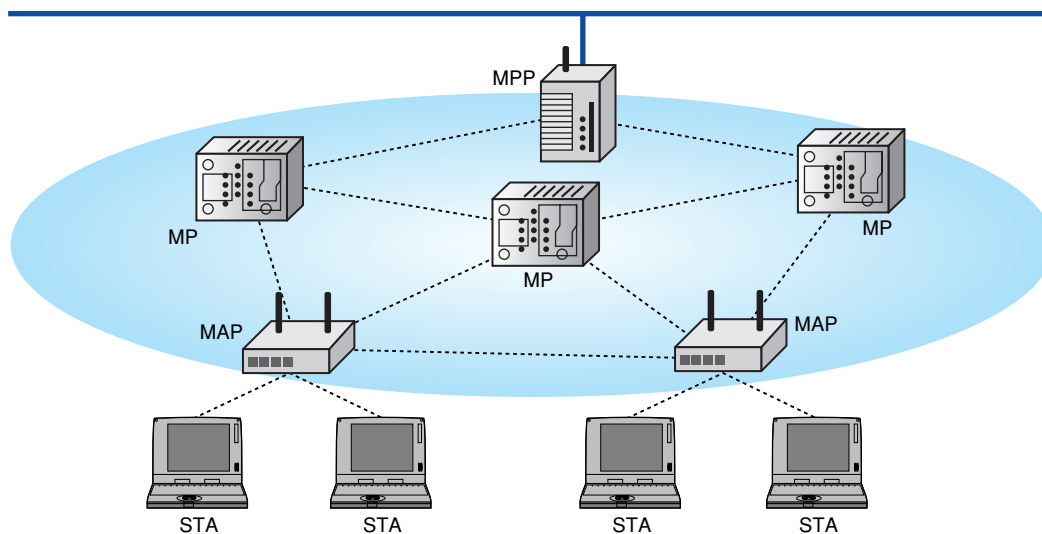


図1 無線LANメッシュネットワークの構成

*3 QoS技術：通信の目的に応じて最適な帯域を確保し、その通信に求められる通信品質を保証する技術。
 *4 隠れ端末：互いに電波が届かない場所に位置し、相手の通信状況が把握できない端末。隠れ端末どうしが同時に送信したパケットが衝突して、通信品質を劣化させる現象を隠れ端末問題という。
 *5 さらし端末：近隣の端末が通信中のため送信が抑制される端末。送信が

抑制されるため、所要のスループットを確保できず、通信品質を劣化させる現象をさらし端末問題という。
 *6 スループット：単位時間当りに、誤りなく伝送される実効的なデータ量。
 *7 MAC層：通信回線を複数のノード間で共用する場合に、お互いの通信が衝突しないように制御を行う機能を有する。OSI 7層モデルでは、データリンク層の下部副層に相当する。

2.2 利用モデル

IEEE802.11sでは、32台程度のMP（MAPを含む）で構成される小から中規模の無線LANメッシュネットワークを想定している。実際には各MAPに多数のSTAが接続されるため、ネットワーク全体の収容端末数は数百台規模となる。また、複数の無線LANメッシュネットワークが相互に接続することにより、無線LANメッシュネットワークの規模を拡大することも可能である。

無線LANメッシュネットワーク技術は、家庭内のデジタル家電やPCを収容するホームネットワーク、企業内LANを構築するオフィスネットワーク、大学のキャンパスネットワークや商業地域での公衆アクセスネットワーク、移動端末間のアドホックネットワークなどのさまざまな利用環境での適用が想定される[10]。

2.3 システムアーキテクチャ

無線LANメッシュネットワーク技術のシステムアーキテクチャを図2に示し[11]、各主要機能の概要を説明する。

① Mesh Topology Learning, Routing and Forwarding

近隣ノードを発見する機能、無線リンクの品質情報である無線メトリック^{*9}を取得する機能、MACアドレスを識別子としてパケットを所望のあて先まで転送する経路を決定するルーティングプロトコル、およびパケット転送機能を有する。ここで、無線リソースを有効に活用するため、ルーティングプロトコルは、無線

状況に応じた無線メトリックと複数無線チャネルを用いた運用が求められる。

② Mesh Network Measurement

ルーティングプロトコルに利用される無線メトリックの計算やチャネル選択などに用いられる無線LANメッシュネットワーク内の無線状況を測定する機能を有する。

③ Mesh Medium Access Coordination

隠れ端末やさらし端末による性能劣化を回避する機能、優先制御、輻輳制御、受付制御、周波数の空間的再利用を実現する機能などを有する。

④ Mesh Security

無線LANメッシュネットワーク上で転送されるデータフレームと、ルーティングプロトコルなどの制御機能に用いられるマネジメントフレームを保護するセキュリティ機能を有する。本機能は、IEEE802.11i^{*10}[12]に規定されている無線LANのセキュリティ方式の利用を想定している。

⑤ Interworking

有線イーサネットに代表されるIEEE802標準規格の一部である無線LANメッシュネットワークは、IEEE802のネットワークアーキテクチャに準じる必要がある。このため、他のネットワークと接続するには、ネットワーク境界に位置するMPPにトランスペアレントブリッジ^{*11}の機能を実装し、また各無線LANメ

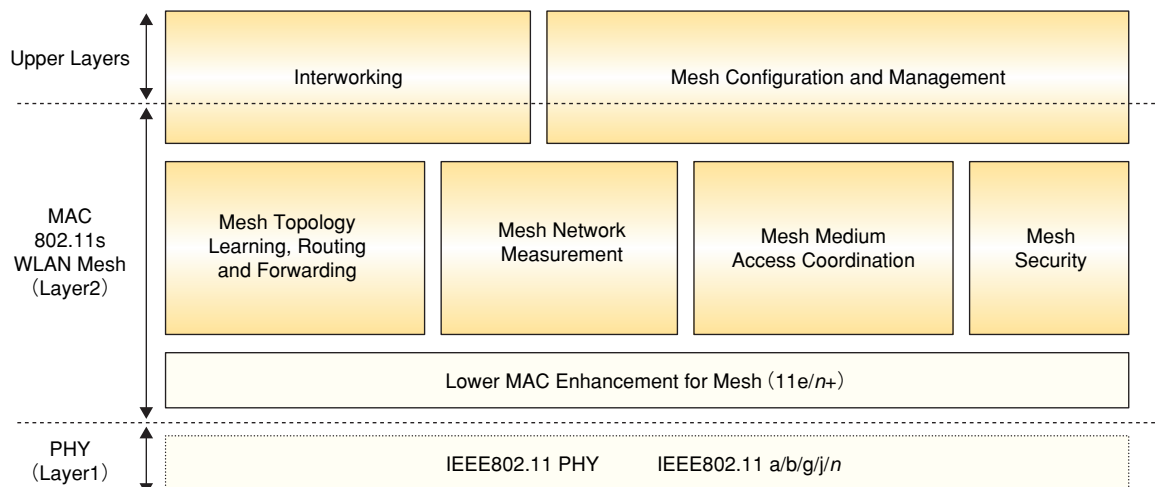


図2 システムアーキテクチャ

* 8 WDSフレーム：無線でアクセスポイント間の通信を行うために用いられるデータの単位。

* 9 無線メトリック：経路決定に用いる無線品質を考慮した指標。

* 10 IEEE802.11i：無線LANのセキュリティ機能を規定した標準規格。

* 11 トランスペアレントブリッジ：IEEE802.1Dで規定されているLAN間の接続に用いられる技術。異なるLANに所属する端末が同一のLANで動作しているように透過的に見ることが可能となる。

シュネットワークは送信パケットをLANに接続するすべての端末に配信するブロードキャストのネットワークとして動作する必要がある。

⑥ Mesh Configuration and Management

各MPのRF (Radio Frequency) パラメータ (チャネル選択, 送信電力など) の自動設定, QoSポリシーの管理などに利用される無線LANインタフェースを有する。

3. 要素技術の詳細

無線LANメッシュネットワークを構成する要素技術の中で特に重要となる, 経路制御技術, 輻輳制御技術, 動的周波数の割当て技術について説明する。

3.1 経路制御技術

ルーティングプロトコルと無線メトリックは, 無線LANメッシュネットワークの性能を決定するもっとも重要な要素である。これまで多数のルーティングプロトコル[13]や無線メトリック[14][15]が提案されたことから, 異なる企業から提供された機器間の相互接続性が確保できないことが重要な問題であった。また, 最適なルーティングプロトコルや無線メトリックは利用モデルにより異なる[16]。さらに, 将来の高度化技術や各企業独自プロトコルの実装も想定される。

このような背景から, 相互接続性を確保するためにすべての機器に実装が義務付けられる必須規定のルーティングプロトコルと無線メトリックを定義し, 各利用環境に最適化したさまざまなルーティングプロトコルと無線メトリックの実装を可能にする拡張性のある枠組みが重要である。

(1) 拡張性のある枠組み

利用環境に適合した経路制御技術を実現するためには, ルーティングプロトコルと無線メトリックを柔軟に選択できる枠組みが必要である。しかし, 無線LANメッシュネットワークを構築するためには, すべてのMPが同一のルーティングプロトコルと無線メトリックを選択する必要がある。

このため, ルーティングプロトコルと無線メトリックの組合せをプロファイル^{*12}として定義し, 各MPが選択したプロファイルを近隣MPに通知する機能を規定している[17]。

(2) ルーティングプロトコル

従来から広く研究されてきたレイヤ3のルーティングプロトコルは, プロアクティブ型とリアクティブ型という2種類の経路制御方式に大別される[16]。プロアクティブ型は, 通信の有無にかかわらず事前に通信経路を確保するのに対して, リアクティブ型は, 通信の必要に応じて経路を確保する。これらの方式は, ネットワークの大きさ, ノードの移動速度などの外的要因によってその特性が大きく変化する。しかし, すべての端末に実装される必須条件のルーティングプロトコルは, プロトコルの複雑性を最小限に抑えながら, さまざまな利用環境において高い性能を示す方式が望まれる。このため著者らは, リアクティブ型のルーティングプロトコルであるAODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector routing) [18]を改良したRM-AODV (Radio Metric AODV) を提案している[19]。RM-AODVは, 従来のAODVと比較して, 以下の特徴を有する。

① 無線メトリックへの対応

周期的に隣接ノード間の無線状態を観測し, その結果に基づいて, 無線メトリックをより安定して最小化する経路を選択する。

② 複数無線LANインタフェースへの対応

MPが複数の無線LANインタフェースを有する場合にそれらを並列に使用し, あて先ごとに, より無線リソースの利用率が低い無線LANインタフェースを使用する機能を持つ。これらの機能により, 動的に変化する無線状態に応じてシステム容量を最大化する経路の選択が可能になる。

③ ルーティング機能を保持しないSTAの代行経路

経路制御機能を有さないSTAを管理しているMAPは, STAの代わりにあて先までの経路を確保することで, STAが無線LANメッシュネットワークに参加することが可能になる。

IEEE802.11sでは, RM-AODVプロトコルに, Tree型の経路を事前に構築する機能を追加したHWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol) が採用されている[9]。

(3) 無線メトリック

無線LANメッシュネットワークの品質は, 無線品質,

*12 プロファイル: 装置の設定情報。IEEE802.11sではルーティングに関する設定情報を示す。

干渉および無線資源の利用率に影響される[20]. これらすべての状況を反映し, 実装が容易な無線メトリックとしてAirtime^{*13}を採用している[9].

(4) RM-AODVの動作概要

RM-AODVの動作概要を図3に示す. RM-AODVでは, 隣接ノードと無線伝送速度, トラフィック量, 干渉量などで決定される無線品質を数値化した無線メトリックを交換する(図3①).

次に, 送信元のノードはリクエスト packets をネットワーク全体にブロードキャストする. ただし, 送信元のノードがルーティングプロトコルを実装していないSTAを収容したMAPの場合は, STAの代理でリクエスト packets を送信する.

各中継ノードは, リクエスト packets 中の無線メトリック値に各無線リンクの無線メトリック値を積算してあて先まで届ける. 中継ノードが複数の無線LANインタフェースを有し, かつ無線メトリック値が同一の場合, 各無線LANインタフェースの輻輳状態を考慮するため, リ

クエスト packets がもっとも早く到着した無線LANインタフェースを選択する(図3②).

最後に, あて先ノードが経路全体で積算された無線メトリック値がもっとも小さい経路を選択し(図3③), レスポンス packets を用いて各中継に通知する(図3④). リクエスト packets の処理と同様に, あて先ノードがSTAの場合, STAを収容しているMAPが代理でレスポンス packets を送信する.

(5) 特性評価

計算機シミュレーションによる提案プロトコルの評価結果を述べる.

50m四方のエリアに16台のMPをランダムに配置して実施した計算機シミュレーションの結果を図4に示す. 特性比較のため, 同図には無線LANインタフェース数を1もしくは2とした場合, 経路選択の基準として中継装置の数を示すホップカウントもしくは無線メトリックを適用した場合の特性を示した. 従来方式の1インタフェースでホップカウントを用いた場合と, 提案方式である2

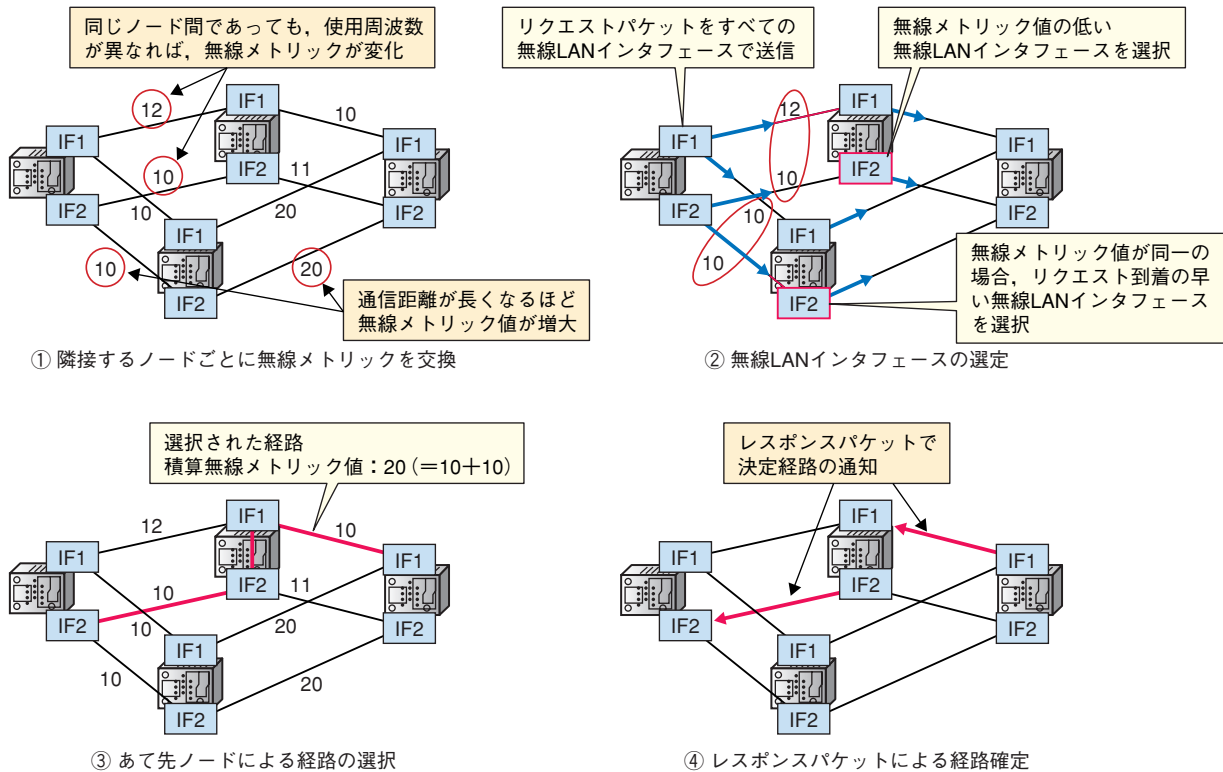


図3 RM-AODVの動作概要

*13 Airtime: 各無線リンクにおいてパケット送信に実際にかかる時間. IEEE802.11sでは経路を決定する指標として用いている.

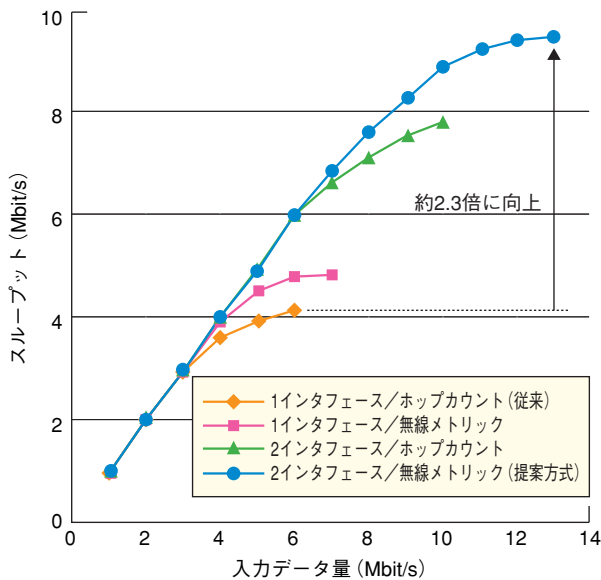


図4 RM-AODVの特性評価

インタフェースで無線メトリックを適用した場合を比較すると、提案方式は複数無線LANインタフェースの均一利用が実現されることによって、最大スループットで約2.3倍のシステム容量が実現可能となる。

3.2 輻輳制御技術

MP間でのパケット転送が前提となる無線LANメッシュネットワークでは、中継装置におけるパケットの滞留や伝送遅延やスループット低下を引き起こす要因となる[21]。このパケット滞留の問題に対し、既存のMAC層の標準仕様への修正を最小限に抑えながら効率的に回避するため、隣接ノード間でのシグナリングにより送信レートを調整する輻輳制御技術について説明する[22][23]。

ここでは、アクセス方式のEDCA (Enhanced Distributed

Coordination Access)^{*14}[3]が有する自由度の高いパラメータ設定を活用して、中継ノードにおける輻輳を回避する輻輳制御の概要を説明する。なお、本方式はIEEE802.11sの必須技術として規定されている。

(1) 輻輳発生原理

無線LANメッシュネットワーク内部の輻輳発生メカニズムを図5に示す。図5で、MP1およびMP5は複数のMPを経由し双方向通信を行っているものとする。送信ノードに近いリンク (L_{1-2} , L_{5-4}) におけるスループット特性と比較し、あて先ノードに近いリンク (L_{4-5} , L_{2-1}) のスループット特性は約20%程度まで大幅に低減している。

ここでMP1～MP3のパスに着目する(図6)。EDCAをアクセス方式として用いた場合は通常MP1, MP2, MP3の送信機会は均一に割り当てられる。一方、MP2は中継のために両方向へパケットを送信する必要がある。そのためMP2はパケット送信機会が相対的に低下し、ノード内でパケット滞留や送信バッファのオーバーフローが発生し、スループット特性が大幅に劣化する。

(2) 輻輳制御技術の概要

輻輳制御技術の概要を図7に示す。図7のMP (n) は上流ノードMP (n-1) から送信レート $J(n-1)$ にてパケットを受信し、送信レート $J(n)$ でMP (n+1) へパケット送信を行う。ここで中継ノードMP (n) が輻輳しないために、以下の条件を満たす必要がある。

$$J(n-1) < J(n)$$

そこで本方式では、下流ノードMP (n) は自ノードの最大送信レートを上流ノードMP (n-1) に通知するた

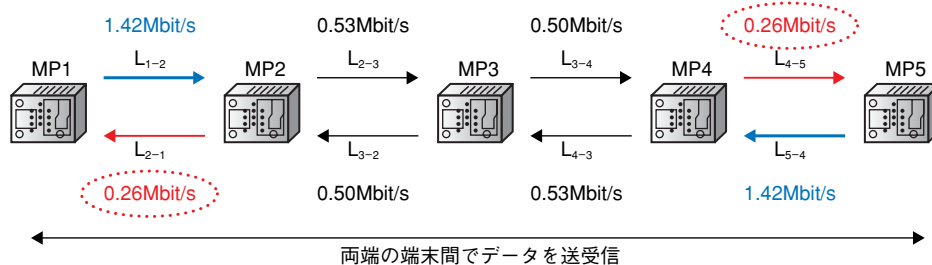


図5 無線LANメッシュネットワーク内部の輻輳発生メカニズム

*14 EDCA: IEEE802.11eにて標準化された無線LAN上にて通信品質を確保する通信方式。

め、CCR (Congestion Control Request) パケットを送信する。上流ノードは指定された送信レート以下でトラフィックを送信することにより中継ノードにおける輻輳を解決し、結果としてエンド・ツー・エンドスループットを向上する。なお、図7では片方向へのトラフィックのみを記載したが、双方向のトラフィックが存在する場合は各トラフィックについて同様の処理が必要となる。

輻輳制御技術の有効性を高めるためには、最適なトラフィック観測期間、CCR送信の周期の設定や送信レートの制御方法の検討が重要である。特に、送信レートの制御にはハードウェアへの影響を抑制するためにEDCAを用いた適応レート制御の利用が望ましい。

(3) 輻輳制御技術の効果

ここでは、図8に示すような1つのネットワークに複数のフローが存在するトポロジ^{*15}におけるシミュレーション結果を示す。なお、本シミュレーションではEDCAパラメータの1つであるAIFSN (Arbitration Inter Frame Space Number)^{*16}の値を増減することにより、送信レートの制御を実現している。また図8の f_1 、 f_2 はデータ系のトラフィック、 f_3 はQoSクラスを高く設定した音声トラフィックである。

ここで、CCRパケットは文献[3]にて規定されている4種類のQoSクラスごとに最大レートを指定可能であるため、輻輳制御を適用した場合においても音声トラフィックのような高優先度トラフィックのスループットを低減することなく、データ系トラフィックのフローを抑制することが可能である。

シミュレーション結果を図9に示す。図9から、輻輳制御を適用することにより、トータルスループットを約30%向上させたことが分かる。またQoSクラスごとに送信レート制御を指定可能であるため、輻輳制御を適用し

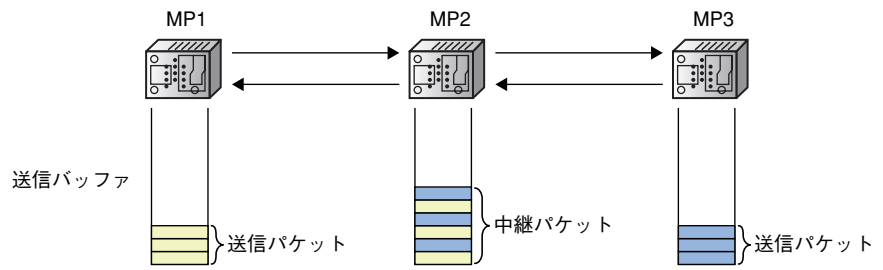


図6 輻輳時のバッファ状況

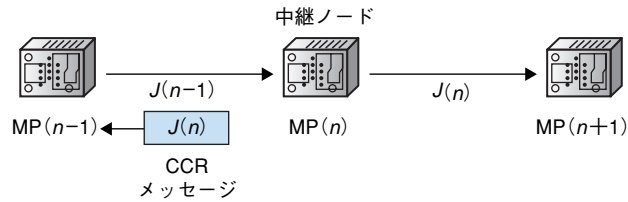


図7 輻輳制御技術の概要

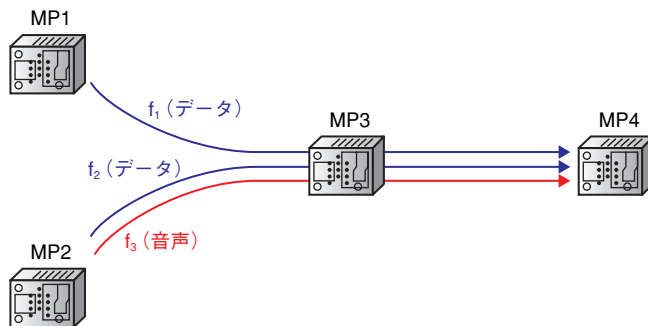


図8 シミュレーションの構成例

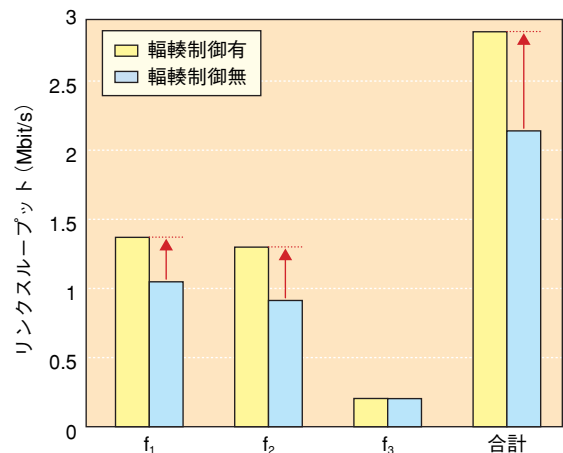


図9 輻輳制御を適用した場合のスループット特性

*15 トポロジ：機器の位置関係やネットワーク構成。

*16 AIFSN：EDCAにて規定されている、データパケット送信開始前までに待機する一定時間。

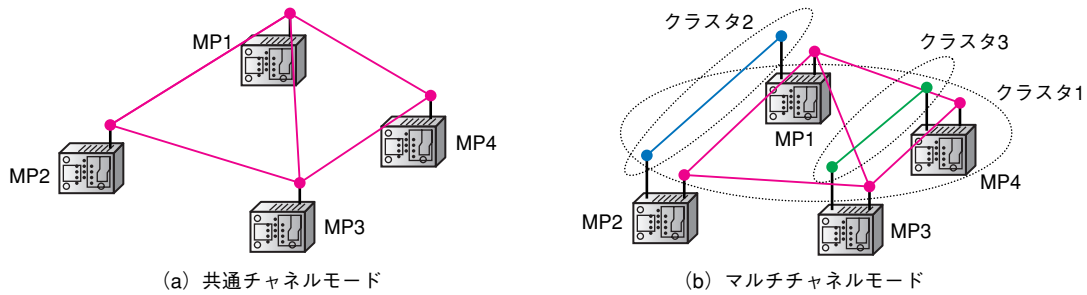


図10 動的周波数割当ての概要

た場合でも f_3 に示す優先度の高い音声トラフィックを一定レートに保ちつつ、 f_1 , f_2 に示すデータ系のスループットを向上させることができる。

3.3 動的周波数チャンネル割当て技術

無線LAN装置は日本国内において、2.4GHz帯では4チャンネル、5GHz帯では、現在8チャンネルが利用可能である。従来は、アクセスポイントが最適な周波数チャンネルを選択し、接続する端末に利用周波数チャンネルの指示をしていた。しかし、集中的に制御する装置を有さない分散型のネットワーク構成をとる無線LANメッシュネットワークにおいては、利用する周波数チャンネルは各MPの判断により決定される。安定的なネットワークを構築し、ネットワーク容量を増加させるためには、分散環境で動作する動的周波数チャンネル割当て技術は重要である。ここではIEEE802.11sの必須技術として規定されている2つの周波数チャンネル選択方法について説明する[7]。

(1) 共通チャンネルモード

ネットワークの分断を避けて安定したネットワークの構築を行うためには、各MPが同一の周波数を選択する必要がある。各MPが個別に周波数チャンネルを選択しても、ネットワーク全体として共通の周波数チャンネルが選択されるように、周波数チャンネルの優先度情報を採用した。この情報を隣接ノード間で交換し、周波数チャンネル優先度の高いノードが利用している周波数を共通の周波数チャンネルとして選択する。

(2) マルチチャンネルモード

各MPは複数の無線LANインタフェースを有することが想定されており、無線LANメッシュネットワークにおいて複数の周波数チャンネルを有効に活用することが期待

される。MPが複数の無線LANインタフェースを有している場合、ネットワークのトポロジやトラフィックの状況に応じて、各無線リンクに対して動的に周波数の割当てを行うことが可能である。図10に示すように、マルチチャンネルモードでは、MP間で同一の周波数チャンネルを利用する無線LANインタフェースをクラスタ^{*17}化し、クラスタごとに周波数チャンネルを決定する。この周波数チャンネル割当ての枠組みを利用することにより、負荷分散によるネットワーク容量の増加[24]、隠れ端末やさらし端末問題の解決[25]などを実現することが可能となる。

4. あとがき

無線LANメッシュネットワークの概要とシステムアーキテクチャについて説明した。また、無線LANメッシュネットワークを構成するうえで重要な構成要素となる経路制御技術、輻輳制御技術、動的周波数チャンネル割当て技術について説明した。今後、ユビキタスネットワークネットワークを支える基盤技術として無線LANメッシュネットワーク技術の研究を推進していく予定である。

文 献

- [1] Y. Matsumoto, J. Hagiwara, A. Fujiwara, H. Aoki, A. Yamada, S. Takeda, K. Yagyu and F. Nuno: "A Prospective Mesh Network Based Platform for Universal Mobile Communication Services," 信学総大, B-5-245, Mar. 2006.
- [2] IEEE Std 802.11-1999 (Reaff 2003), Sep. 2003.
- [3] IEEE Std 802.11e, Nov. 2005.
- [4] IEEE P802.11n/D1.0, Mar. 2006.
- [5] 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), to be published in Jun. 2006.
- [6] H.Aoki, W. S. Conner, K.Omae and Y.Matsumoto: "Proposal of

*17 クラスタ：本稿では、無線LANメッシュネットワーク内で同じ周波数チャンネルを使用する無線LANインタフェースのグループ。

- IEEE802.11s Layer-2 Mesh Network Architecture,” 信学技報, RCS2005-56, Jul. 2005.
- [7] H. Aoki, N. Chari, L. Chu, W. S. Conner, S. M. Faccin, D. Gurevich, V. Hastay, J. Jetcheva, S. Kangude, S. Saito and R. Taori: “802.11 TGs Simple Efficient Extensible Mesh (SEE-Mesh) Proposal,” IEEE802.11 document 05/0562r0, Jul. 2005.
- [8] D. Eastlake: “Proposals for TGs,” IEEE802.11-05/597r21, Mar. 2006.
- [9] IEEE P802.11s/D0.01, Mar. 2006.
- [10] W. S. Conner: “IEEE 802.11 TGs Usage Models,” IEEE802.11-04/662r16, Jan. 2005.
- [11] W. S. Conner: “IEEE 802.11 TGs Functional Requirements and Scope,” IEEE802.11 document 04/1174r13, Jan. 2005.
- [12] IEEE P802.11i-2004, Jul. 2004.
- [13] <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- [14] D. D. Couto, D. Aguayo, J. Bicket and R. Morris: “High Throughput Path Metric for Multi-Hop Wireless Networks,” ACM MobiCom, Sep. 2003.
- [15] R. Draves, J. Padhye and B. Zill: “Routing in Multi-Radio, Multi-Hop Wireless Mesh Networks,” ACM MobiCom, Sep. 2004.
- [16] E. M. Royer and C.K. Toh: “A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks,” IEEE personal communications, Apr. 1999.
- [17] W. S. Conner and H. Aoki: “Propose Extensible Approach for WLAN Mesh Standardization,” IEEE802.11-5/0165r1, Mar. 2005.
- [18] C. Perkins and E. Royer: “Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing,” in proceedings of 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1999.
- [19] S. Takeda, K. Yagyu, H. Aoki and Y. Matsumoto: “Multi-Interface Oriented Radio Metric On-demand Routing Protocol for Layer-2 Mesh Networks,” 信学技報, RCS2005-58, Jul. 2005.
- [20] S. Takeda, K. Yagyu and Y. Matsumoto: “Load Balance Enhancement Technique for Wireless Mesh Networks,” 信学技報, RCS2004-17, Apr. 2004.
- [21] L. Yang and A. Yamada: “MAC Considerations for Mesh,” IEEE802.11-04/760r0, Jul. 2004.
- [22] A. Yamada, A. Fujiwara and Y. Matsumoto: “EDCA Based Congestion Control Method for WLAN Mesh Networks,” 2005 信学ソ大, B-5-151, Sep. 2005.
- [23] A. Yamada, S. Bahareh, A. Fujiwara and L. Yang: “Simulation Results for SEEMesh Congestion Control Protocol,” IEEE802.11-05/0568, Jun. 2005.
- [24] K. Yagyu, A. Fujiwara, S. Takeda, K. Omae, H. Aoki and Y. Matsumoto: “Topology and Traffic Aware Channel Assignment for Layer-2 Mesh Networks,” 信学技報, RCS2005-61, Jul. 2005.
- [25] A. Fujiwara and Y. Matsumoto: “Centralized Channel Allocation Technique to Alleviate Exposed Terminal Problem in CSMA/CA-Based Mesh Networks,” IEICE TRANS. COMMUN, Vol. E88-B, No. 3, Mar. 2005.