

[招待講演] 無線メッシュネットワーク標準化動向及び

山古志ねっと共同実験プロジェクトの概要

間瀬 憲一

新潟大学大学院自然科学研究科 〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町 8050 番地
E-mail: mase@ie.niigata-u.ac.jp

あらまし 無線メッシュネットワークは従来の無線LANのアクセスポイント間を1ホップあるいはマルチホップの無線リンクで構成する技術である。アクセスポイント間をケーブル接続する場合に比べ、ネットワーク構築コストの削減、構築期間の短縮、アクセスポイント配置の柔軟性などが期待できる。本講演では、アドホックネットワーク、メッシュネットワークの基本概念を述べ、IETF、IEEE 802.11における無線メッシュネットワーク関連技術の標準化動向について紹介する。IEEE 802.11のタスクグループSでは、2008年までにIEEE 802.11s という規格の発行をめざして無線メッシュネットワークの標準化検討が進展している。IEEE 802.11s 規格の内容、具体的には、無線メッシュネットワークの基本概念、ネットワークモデル、フレームフォーマット、隣接ノード（メッシュポイント）間のリンク確立方法、チャネルグラフ切替プロトコル、2種類のパス選択プロトコル（ルーティングプロトコル）、輻輳制御、共同提案中のパス選択プロトコルの改良案などの概要を述べる。無線メッシュネットワークを利用して中山間地にブロードバンドアクセスを実現する試みの具体的実践である「山古志ねっと共同実験プロジェクト」により構築された無線メッシュネットワークの概要と今後の計画について紹介する。

キーワード アドホックネットワーク、メッシュネットワーク、標準化、無線LAN、ブロードバンドアクセス、IEEE 802.11s

[Invited Talk] Standardization on Wireless Mesh Networks and An Overview of Yamakoshi-Net Joint Experimental Project

Kenichi Mase

Graduate School of Science and Technology, Niigata University

8050 Ikarashi, Nishi-ku, Niigata, 950-2181 Japan

E-mail: mase@ie.niigata-u.ac.jp

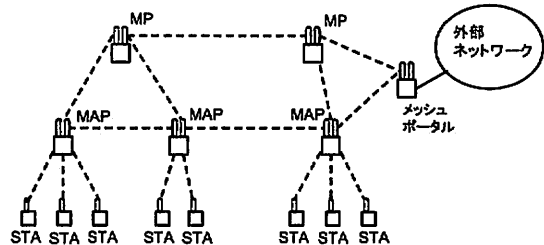
Abstract In Wireless Mesh Networks (WMNs), single-hop or multi-hop wireless links are used to connect Access Points (APs) in place of cables of conventional wireless LAN, aiming reduction in network deployment cost and time, and flexibility in AP placement. In this lecture, the fundamental concepts of ad hoc networks and mesh networks and standardization on wireless mesh networks in IETF and IEEE802.11 are introduced. In the task group S of IEEE 802.11, standardization of WMN is in progress targeting to publish the IEEE 802.11s specification by the year of 2008. In the lecture an overview of current status of IEEE 802.11s specification is presented. Specifically, the basic concepts of WMN, network models, frame format, mesh discovery and link management, channel graph switch protocol, two types of path selection protocols, congestion control, and our proposal for improvement in path selection protocol are explained. Current status and future plan of "Yamakoshi Joint Experimental Project", that is a trial of realizing broadband access in rural mountain areas by using wireless mesh networks, are introduced.

Keyword Ad Hoc Network, Mesh Network, Standardization, Wireless LAN, Broadband Access, IEEE 802.11s

無線メッシュネットワークとは

- メッシュネットワーク: 対象とするエリアに自動的・自己組織的に無線マルチホップに基づく相互接続性を確保するノード群
- ノードをメッシュポイント(MP: Mesh Point)
- MPは通常固定配置、専用のノードとして配置される場合あり
- MP+AP: メッシュアクセスポイント(MAP)
- MP間は無線接続され無線マルチホップの通信
- MP間の配線工事不要→ネットワーク構築費用と時間を短縮
- 実現する層
 - ノードをルータとして扱い、ネットワーク層でルーティング
 - MPをブリッジとして扱い、リンク層でルーティング
- MPの固定配置が普通であり、使用電力、サイズ、重量などの制約が少なく、各MPに複数の無線インタフェースを装備可。
- 各インタフェースに異なるチャンネルを割り当てることにより通信容量を拡大

メッシュネットワークの例



関連技術の標準化動向1

- IEEEが1990年に802.11ワーキンググループを設立し、無線LAN規格の標準化
- 1999年以降にはIEEE802.11a/b/gなどの規格が標準化された。
- ヨーロッパでは同時期にETSIが無線LAN規格の標準化をめざすHIPERLANワーキンググループを設立している。
- HIPERLANの標準化はマーケット的には成功しなかったが、アドホックモードの採用などIEEE802.11の規格に影響を与えた。
- OLSRのMPRというコンセプトのルーツとなった。

関連技術の標準化動向2

- IEEE802.11b/gでは2.4GHz帯(ISMバンド)、IEEE802.11aでは5GHz帯の電波免許不要な周波数帯の電波を使用
- 無線LANカードの低価格化、Wi-Fiによる認知度向上、ノートパソコン内蔵無線LAN製品の登場などにより、2002年ごろから本格的に普及した。
- MANETの研究やテストベッドでは、無線通信部分にIEEE802.11の無線LAN規格を用いることが一般的。
- 無線LANの動作モードとして、ステーションがアクセスポイントを経由して通信するインフラストラクチャモードとアクセスポイントを利用せず直接端末同士で接続するアドホックモードがあり、後者を利用することが多い。
- 2003年には無線LAN規格を拡張してメッシュネットワークを実現する検討が開始され、2004年5月タスクグループSが設立された。2008年までに11s規格を発行する計画。

関連技術の標準化動向3

- IETFでは1997年8月に、MANET (Mobile Ad-hoc Network) WGが設立され、ルーティングプロトコルの標準化検討開始。
- 2003年以降、4つのルーティングプロトコルの実験的 RFCが発行。
- 2007年に2つのルーティングプロトコル(OLSRv2, DYMO)及び関連プロトコルの標準化RFC発行をめざし、標準化検討が進んでいる。
- MANETインタフェースに一意のIPアドレス割当が必要
- スタンドアロン型のMANETのように、全体を管理するノードが存在しない環境で各ノードがどのように自身のMANETインタフェースに他のノードと重複しないアドレスを割り当てるか?
- 接続型MANETでは、各ノードがどのようにグローバルアドレスを獲得し、インターネットと通信するか?
- IETFでは2005年11月にAd-Hoc Network Autoconfiguration (autoconf)というワーキンググループが設立され活動開始。

関連技術の標準化動向4

- ルーティングプロトコルのシンプル化、機能追加に対する柔軟性向上、共通機能の流用などを目的として機能のビルディングブロック化
- OLSRに含まれていた隣接ノード発見プロトコルを独立させ、他のプロトコルからの利用を可能とするNHDP (MANET Neighborhood Discovery Protocol)
- MPRなどを利用した効率的なフラッディングプロトコルSMF (Simplified Multicast Forwarding for MANET)
- 共通パケット・メッセージフォーマット採用
- 他組織での利用
 - IEEE802.11s ルーティング機能をMAC層に取り込み HWMP (AODV)、RA-OLSR(オプション)
 - 6lowpan (IPv6 over Low power WPAN WG)
 - DYMO over IEEE802.15.4
 - ZigBee AODV over IEEE802.15.4

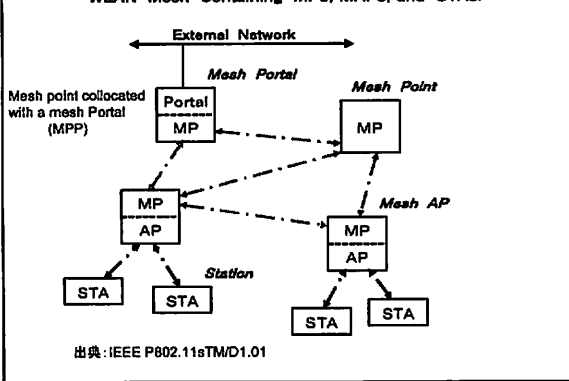
国際標準化への主な貢献内容 IETF

- MANET WG: 標準化トラックRFCをめざすルーティングプロトコルOLSRv2の設計チームの一員として、仕様開発に協力すると共に、OLSRv2の3つの実装をいち早く独立に開発した。第3回OLSRインタロップを新潟大学で開催し、参加研究機関が開発中のOLSRv2実装間の相互接続性検証を大きく進展させた。
- AUTOCONF WG: WGの最初の仕事として、用語や問題設定 (Problem statement)の明確化が必要になっており、INRIA (仏)、Telecom Italia、Samsung (印)の研究者と共同でインターネットドラフト化し提案した。現在WGの公式ドラフトとなり、その後RFC化するというコンセンサスを、WG議長を含めた関係者間で得ている。

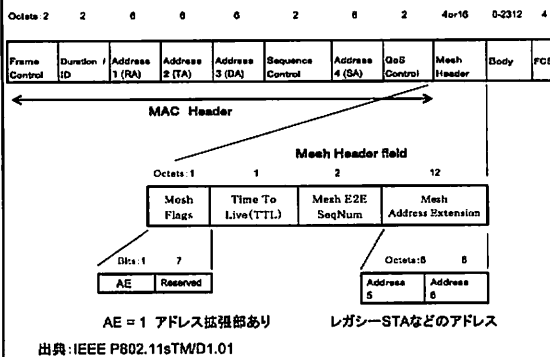
国際標準化への主な貢献内容 IEEE802.11s

- オプションとなっているRA-OLSR (Radio Aware- OLSR)の性能向上、特に、各メッシュポイントへのモバイル端末所屬情報を通信の必要が生じた時点で収集することによりオーバーヘッドを削減する方法を提案した。
本手法をこれまで11sの標準化活動に携わってきた沖電気、NICTと共同で特許出願すると共に、2007年1月、3月のIEEE 802の会合で3件の意見書を提出し、5月の会合でドラフトD1.04の一部に採用された。

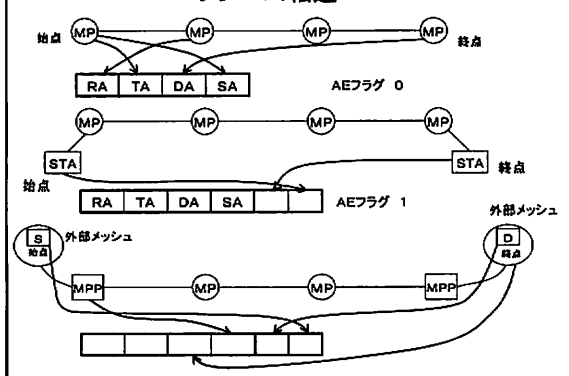
WLAN Mesh Containing MPs, MAPs, and STAs.



メッシュデータフレームフォーマット



フレーム転送



WLANメッシュネットワークング メッシュ発見とピアリンク確立

- 概要
 - ビーコン、またはメッシュプローブ要求を使用するアクティブスキャンにより、隣接MPを発見
 - ピアリンク確立は連続的なプロセス
- メッシュ識別子 (メッシュID) 利用
 - SSIDとは別にメッシュIDを定義
 - SSIDはAP発見のため、STAによって使用。
 - メッシュIDはMP発見のために使用
 - APを兼ねないMPはSSIDを送ってはいけない。

プロフィール

- デバイスはプロフィールをひとつ/複数もつ。
プロフィールは以下を含む。
- メッシュID
- パス選択プロトコル識別子
- パス選択メトリック識別子

隣接MP発見

- WLANメッシュのメンバでないMPはパッシブ/アクティブスキャン(プローブ要求・応答)を遂行。
- 次の条件を満たすとき、隣接MPとする。
 1. ビーコンプローブ応答受信
 2. 自MPのプロファイルの少なくともひとつのメッシュIDと一致
 3. メッシュ能力エレメントが次を含む。
 - a. サポートバージョン番号
 - b. パス選択プロトコル、メトリックが一致
 4. メッシュ能力エレメントのピアリンク容量が0ではない。
- MPは発見した隣接MPの情報(MACアドレス、リンク状態パラメータ、チャネル番号など)を維持。
- 隣接MPを発見できないときは、自身のメッシュIDに基づきアクティブ状態となる。

隣接MPテーブル

項目	内容
隣接MACアドレス	隣接MPのMACアドレス
主MACアドレス	隣接MPの主MACアドレス (2つ以上の無線インタフェースがある場合)
状態	隣接とのアソシエーション状態
方向	以前のアソシエーションリンクエントの方向
C ₀	チャネル番号
P ₀	チャネル優先度
r	参照送信レート(変調方式)
e _{pt}	参照フレームサイズ・送信レートに対するフレームエラー率
Q	受信信号強度または品質

メッシュリンクピアリンク確立

- デバイスがピアリンク保持が可能な数より多くの候補MPがある場合、信号品質などの尺度に基づき、MPを選択。
- 三つの管理フレームによりプロトコルを実行
 - アソシエーション要求フレーム(ピアリンクオープンメッセージ)
 - アソシエーション応答フレーム(ピアリンク確認メッセージ)
 - 脱アソシエーションフレーム(ピアリンククローズメッセージ)
- リンクのID <local-MAC, peerMAC, LocalLinkID, PeerLinkID>
- LocalLinkID, PeerLinkIDは各MPが既存番号と重ならないように生成
- ピアリンク確立に成功するとMACアドレスが大きい方をMPが主、小さいMPが従と呼ばれる。

リンク品質測定

- 隣接MPとピアリンクが確立されたらリンク品質の測定を行う。
- リンク品質測定が完了するまで、そのリンクはDown、完了するとUpとマーク。
- Downのリンクを通して受信したパス選択フレームは破棄される。
- Upとなったリンクはパス選択で利用可となる。
- リンク品質測定の対称性を確保(両端のノードが同じ値を使用)
- リンク品質パラメータ
 - r: 使用されているビットレート(変調モード)
 - e_{pt}: そのビットレートでの1000バイトペイロード・データフレームに対するPER(パケットエラーレート)

エアタイム

- エアタイムコスト: 対象リンクにおいてフレーム送信に費やされるチャネルリソースの量を反映。

$$c_a = \left[O_{ca} + O_p + \frac{B_t}{r} \right] \frac{1}{1 - e_{pt}}$$

Parameter	Value (802.11a)	Value(802.11b)	Description
O _{ca}	75μs	335μs	Channel access overhead
O _p	110μs	384μs	Protocol overhead
B _t	8224	8224	Number of bits in test frame

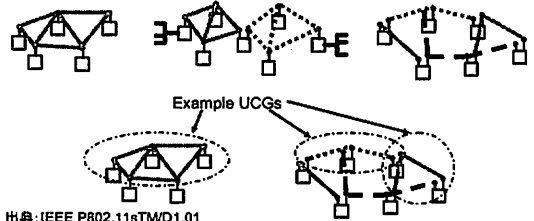
出典: IEEE P802.11sTMD1.01

ローカルリンク状態発見・保持

- ローカルリンク状態発見とは隣接テーブルの各ピアMPの r と e_{pi} フィールドに値を入れること。
- 値が入っていないピアリンクはDown
- ローカルリンク状態発見の完了により値が入り、Upとなる。
- 主ノードがリンク品質(r と e_{pi})を決める。(決め方は規格外)
- 主ノードはローカルリンク状態広告エレメントにリンク品質の情報を入れ、ローカルリンク状態広告フレームにより従MPに送信する。
- 送信に成功すると隣接テーブルの値を更新し、状態をUpとする。
- 従ノードはローカルリンク状態広告を受け取ると隣接テーブルの値を更新する。

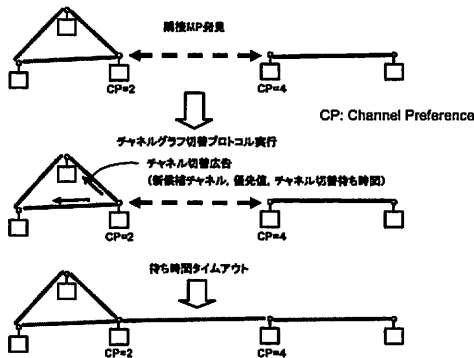
複数チャンネルオペレーション

- 複数チャンネルの利用
- 複数無線装置をもつ
- ひとつの無線装置を切替使用



出典: IEEE P802.11e/TM/D1.01

チャンネルグラフの切替の例



パス選択フレームワーク

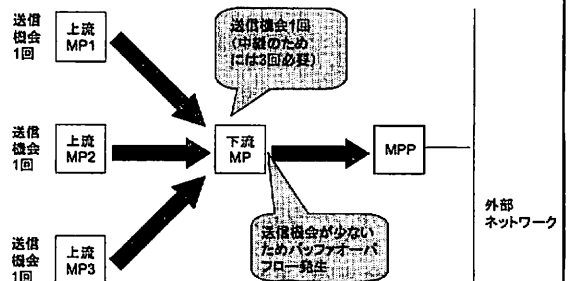
- 拡張可能なパス選択フレームワーク
- 相互運用性確保のためデフォルトプロトコルを規定。
- 任意のプロトコル、メトリックを許容。
- メトリック
 - エアタイム(デフォルト)
- パス選択
 - Hybrid Wireless Mesh Protocol (HWMP) (デフォルト)
 - Radio Aware OLSR(オプション)

メッシュ内輻輳制御

- TCPのみでは対応困難
- ホップ毎輻輳制御方式
- ローカル輻輳監視
- 輻輳制御シグナリング
- ローカルレート制御
- 輻輳制御シグナリングのための三つのアクションフレーム
- 輻輳制御要求(ユニキャスト)
- 輻輳制御応答
- 隣接輻輳広告(ブロードキャスト)
- 下流MPから輻輳制御要求を受取ると上流隣接MPはローカルレート制御を実行。
- 隣接MPから隣接輻輳広告を受取ると隣接MPはローカルレート制御を実行。

CSMA/CAを適用した場合の下流MPでのオーバフロー

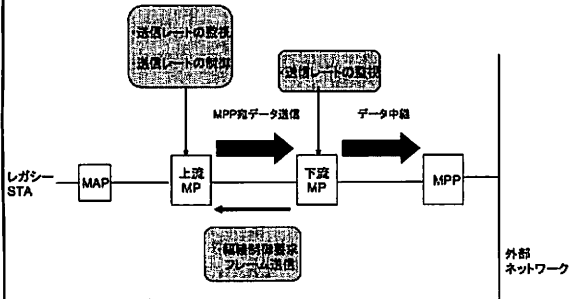
上流MPから下流MPに多くのデータが送られると、下流MPでバッファオーバーフローが起る可能性がある



出典: 千葉大坂田教授

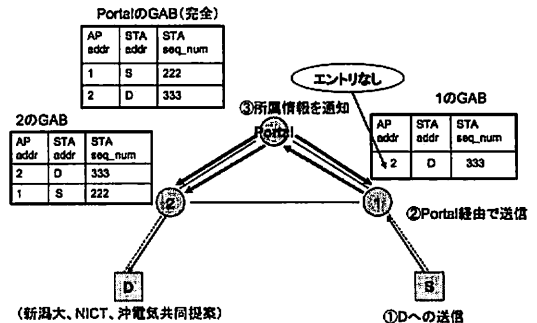
上流MPにおける送信レート制御

- ・上流MPと下流MPで輻輳制御を行う。
- ・リンク単位でのデータ流量を制御することで安定動作を実現。



出典：千葉大坂田教授

GAB集中構築(Portal中継型)



共同実験プロジェクトの目的

- ・中山間地に経済的に構築・展開でき、災害に強いネットワークの実現方法を研究
- ・通常はコミュニティネットワーク、インターネットアクセス、遠隔医療などに利用(モニター募集)
- ・災害時には安否登録・安否確認、外部からの災害状況のモニタリングなどが可能。
- ・闘牛のインターネット中継など山古志のネームバリューを生かした復興活動のPRと支援

経緯

- ・新潟県中越大地震を契機として、平成18年度概算要求(新潟県と連携協力する「連携融合事業」プロジェクト)に基づき、平成18年4月に新潟大学災害復興科学センターが設置された。
- ・本センターは中山間地域における自然災害等からの復興支援策並びに防災・減災に係る方策について多角的視野からの学術的調査分析を行うとともに、具体策の提言により地域社会に貢献し、災害復興に関わる新学問領域の構築を図ることを目的とする。
- ・平成18年5月に本センター・情報通信部門・災害通信分野に山古志ねっと共同実験プロジェクトを設置した。

研究計画

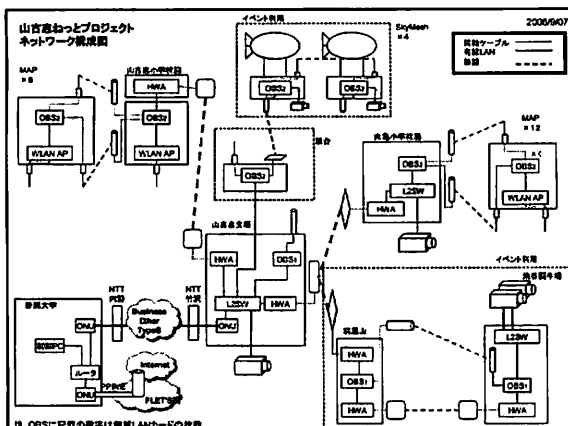
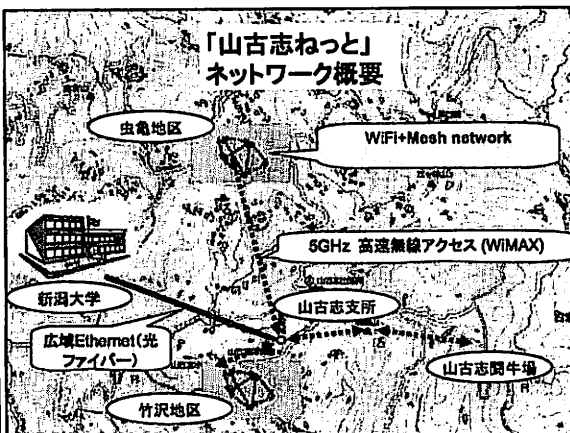
- 18年度： ネットワーク構築技術の開発、初期ネットワーク構築
- 19年度： ネットワーク基本性能の検証、ネットワーク拡充
- 20年度： ネットワーク運用管理技術の開発、ネットワーク拡充
- 21年度： ネットワーク利用技術の開発、ネットワーク評価
- 22年度： 総合実験、ネットワーク総合評価

プロジェクトの構成

- ・新潟大学： 実験網の構築と実験の統轄・推進、技術研究
- ・NTT東日本グループ： 光ネットワーク等によるアクセス回線提供
- ・KDDI： 無線アクセス回線提供
- ・総務省信越総合通信局：
- ・新潟県：
- ・長岡市： 中山間地域無線ネットワーク実験への協力・支援

これまでの経過

- 18年5月 プロジェクト発足
- 18年6-9月 現地調査、ネットワーク設計、工事計画策定
- 18年9-10月 実験局申請、工事
- 18年9月17日 山古志閩牛場のインターネット実況中継
- 18年10月17日 実験局免許交付
- 18年10月18日 実験開始式・現地説明会
- 18年10月27-29日 地域ICT未来フェスタinにいがた朱鷺メッセ会場で、旧山古志村の映像のインターネット中継、安否登録サービスなどのデモ、講演



ネットワークの接続状況

竹沢地区	平均ホップ数	1.03
	総ノード数	9
	平均隣接ノード数	7.75
虫亀地区	平均ホップ数	1.12
	総ノード数	13
	平均隣接ノード数	11.32

MAPの仕様概要

- リナックス組込み制御ノード(OBS266)
IBM PowerPC 266MHz, 128MBメモリ
SSD/Linux0.3 カーネル2.4.32
- 無線LAN
IEEE802.11g (Atheros chipset)
無線LANデバイスドライバMADWIFI
- ホイップ型5dBi無指向性アンテナ
- IPプロトコルスタック IPv4/6
- アドホックルーティングモジュール
UnikOLSR(OLSR準拠), nOLSRv2* (OLSRv2-02準拠)

*新潟大学で開発

