

[招待論文]

無線 Ad-Hoc ネットワーク技術

太田 能†

† 徳島大学工学部
〒770-8506 南常三島町2-1

E-mail: fohta@is.tokushima-u.ac.jp

あらまし 現在, IETF MANET WG においてモバイルアドホックネットワーク (MANET: Mobile Ad-hoc NETWORKs) に関する議論がなされている. MANET は, 災害などでネットワークインフラストラクチャが利用できない状況, あるいは会議時に手軽にネットワークを構築して携帯端末を結びたい場合などのさまざまな利用形態が想定されている. 近年の携帯端末の普及ならびに無線技術の進展により, MANET を実現する技術的条件は整いつつある. しかし, MANET では端末が移動するという特徴から, 従来, IP ネットワークで用いられてきたようなルーティング方式をそのまま適用できない. 本講演では, MANET の特徴とこれにより必要とされる機能, MANET の評価の際に考慮すべき事項と考えられる性能評価尺度, 代表的なルーティングプロトコル (DSDV, CGSR, AODV, DSR, TORA, ABR, ZRP) および MANET における課題について解説する.

キーワード アドホックネットワーク, MANET, ルーティング

Wireless Ad-Hoc Network Technologies

Chikara OHTA†

† Faculty of Engineering, University fo Tokushima
Minamijosanjima-cho 2-1, Tokushima, Tokushima, 770-8506 Japan

E-mail: fohta@is.tokushima-u.ac.jp

Abstract MANET (Mobile Ad-hoc NETWORKs) has been discussed in IETF MANET WG. MANET is assumed to be used in various situations, say a case where rescue networks are needed in disaster or a case when mobile terminals should be connected each other with ease in a conference. Recently, MANET is being realized as mobile terminals become into wide use and wireless technologies have been developed. Existing routing methods for IP networks, however, is not applicable to MANET straightforward due to mobility of terminals. In this presentation, I will explain the characteristics and its requirements of MANET, performance issues, typical routing protocols (DSDV, CGSR, AODV, DSR, TORA, ABR, ZRP), and problems.

Key words Ad-hoc network, MANET, routing

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

背景

- 軍事利用としての検討
- 小型化技術による携帯端末出現
- 無線技術の進展

↓

- Mobile Ad-hoc NETWORKS (MANET)
 - 手軽につないで情報共有したい
 - インフラのないところでもネットワークを構築したい

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

MANET利用イメージ

- 会議におけるスライド共有

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

MANETのアプリケーション

- 会議, ミーティング
- 災害時ネットワーク
- パーソナルエリアネットワーク(PAN)
- ユビキタスネットワーク
- センサーネットワーク
- 車々間通信
- 軍事ネットワーク
- 警察ネットワーク, など

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

IETF MANET WG

- MANET に関する検討
 - mobile wireless ドメインを想定
 - peer-to-peer mobile routing の開発
- RFC2501 (Jan. 1999)
 - MANETの目的, 性能評価項目など
- Internet-drafts
 - 現時点で12方式(AODV, TORA, ZRP, etc.)を検討

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

MANETの特徴(1/3)

- ノードは無線インタフェースとルータ機能を有する
 - パケットフォーワーディング機能
 - 固定網へのゲートウェイ機能
- トポロジが動的に変化する
 - ノードの移動, 電波伝搬状況の変化
 - リンクは双方向あるいは単方向

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

MANETの特徴(2/3)

- 無線リンク速度が小さく, 容量が変化する
 - 有線網に比べて小
 - フェージング, ノイズ, 干渉の影響
- バッテリー容量による制約がある
 - 多くの携帯端末はバッテリーで動作
 - システム設計の指標のひとつ
- 物理的セキュリティが脆弱
 - 盗聴, なりすまし, DoS攻撃にさらされやすい
- スケーラビリティが要求される
 - 軍事利用では数十から数百のノードを想定

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

MANETの特徴(3/3)

- ノードの移動によるトポロジ変化の様子

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

MANET WG の目標(1/2)

- 短期目標
 - 1つ(以上)のユニキャストルーティングの標準化
 - ネットワーク層サポート技術
 - 幅広いネットワーク環境のもとでの効率よく動作
 - IPサービスのサポート
 - トポロジ変化やトラフィック変化に対して効率よく対応
 - セキュリティ

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

MANET WG の目標(2/2)

- 長期目標
 - 短期目標で定めたルーティング上に機能追加
 - マルチキャスト対応
 - QoS サポート

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

L3ルーティング vs. L2ルーティング

- IP層(L3)ルーティング
 - IPアドレスベースで経路探索
 - 異なるリンク層をもつアドホック網を実現
 - 隣接ノードのIP/物理アドレスペアがわかればよい
- リンク層ルーティング
 - 物理アドレスベースで経路探索
 - ARPのための網全体にブロードキャストが必要
- IETF MANET WG ではL3ルーティングを想定

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

既存IP網との相互接続

- MANETはスタブ(stub)ネットワークとして機能
 - トランジットネットワークとしての機能は未想定
 - manet-based anycast + mobile IP による解

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

ルーティングへの要求機能(1/2)

- 分散オペレーション
- ループフリーダム
 - TTLの設定以外のアプローチも必要
- デマンド型オペレーション
 - トラフィックパターンに応じた対応
 - バッテリーや帯域の有効利用
- プロアクティブ型オペレーション
 - (問題となる場合に)パス発見遅延を最小化
 - オンデマンド型と逆の要求条件

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

ルーティングへの要求機能(2/2)

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA



- セキュリティ機能
 - 盗聴, パケット改ざん, 複製, リダイレクト容易
 - ネットワーク層・リンク層レベルで対策必要
- スリープ期間オペレーション
 - 可能な場合, 送受信を止め, バッテリー消費を削減
 - リンク層との協調必要
- 単方向リンクサポート
 - ノイズ源の位置により単方向リンクが発生しうる
 - 単方向リンク対応が望ましい

IEICE CS/IE研究会・無線Ad-Hoc ネットワーク技術

評価環境

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA



- ネットワークサイズ(ノード数)
- ネットワーク接続度(隣接ノード数)
- トポロジ変化速度
- リンク容量(実効リンク速度)
- 単方向リンクの割合
- 移動性(時間的, 空間的トポロジ相関)
- ノード特性(トラフィックモデル, バッテリー容量など)

IEICE CS/IE研究会・無線Ad-Hoc ネットワーク技術

性能評価尺度(1/3)

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA



- エンド・ツー・エンド スループット/遅延
 - 平均, 分散, 分布などの統計量
- ルート獲得遅延
 - オンデマンド型はプロアクティブ型に比べ大
- パケット到着順序入替率
 - TCPパフォーマンスに影響

IEICE CS/IE研究会・無線Ad-Hoc ネットワーク技術

性能評価尺度(2/3)

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA



- 効率
 - 制御トラフィックのオーバーヘッドの大小
 - 送信データビット量/配信データビット量
 - 平均ホップ数
 - 送信制御データビット量/配信データビット量
 - プロトコル効率
 - 送信(制御+データ)パケット数/データパケット数
 - チャネルアクセス効率

IEICE CS/IE研究会・無線Ad-Hoc ネットワーク技術

性能評価尺度(3/3)

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA



- サバイバビリティ
 - ノード生存時間
 - ノード生存率
 - ネットワーク完全連結時間
- プロトコル収束速度
 - リンク切断時の復旧時間(TCPパフォーマンスに影響)

IEICE CS/IE研究会・無線Ad-Hoc ネットワーク技術

ルーティングプロトコルの種類

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA



- Proactive 型(テーブル駆動型)
 - 分散 Bellman-Ford アルゴリズム
ex. DSDV, CGSR, WRPなど
- Reactive 型(オンデマンド型)
 - Request/Reply 型パス探索
ex. AODV, DSR, TORA, ABR, SSRなど
- コンビネーション型
 - テーブル駆動型+オンデマンド型
ex. ZRP

IEICE CS/IE研究会・無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

DSDV(1/2)

- Destination Sequence Distance Vector
- 特徴
 - 分散 Bellman-Ford ベース
 - ホップカウント以外のメトリックにも適用可能
 - 目的局シーケンス番号によるループ除去
 - 情報の新しさを経路情報に埋め込む
 - Incremental update により制御トラフィック削減
 - full dump により全経路情報を通知
 - full dump 以降の変更情報のみを incremental update
 - スケーラビリティが低い
 - Fisheye方式による制御情報削減のアプローチあり

IEICE CS/IE研究会・無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

DSDV(2/2)

- 受信局シーケンス番号付経路情報
 - 自ノードはシーケンス番号を2インクリメント
 - リンク切断を認識すると隣接ノードのシーケンス番号を1インクリメント

ノード3のフォーワーディングテーブル

目的局	次ホップ	メトリック	シーケンス番号
1	2	2	4
2	2	1	4
3	-	0	6
4	4	1	4

他に Install time, Stable エンリあり

目的局	次ホップ	メトリック	シーケンス番号
1	4	2	4
2	4	2	4
3	4	2	4
4	4	2	4

移動

IEICE CS/IE研究会・無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

Cluster Based Networks(1/3)

- CGSR(Cluster Gateway Switch Routing)
- DSDVベース
 - クラスタメンバー: 目的 クラスタヘッド の決定に利用
 - ルーティングテーブル: 次 ホップ の決定に利用

IEICE CS/IE研究会・無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

Cluster Based Networks(2/3)

- CGSR (続き)
 - Least Cluster Change (LLC)
 - クラスタリングアルゴリズム
 - 2つのクラスタヘッド接近時
 - ノードが全クラスタヘッドの通信範囲外に出たとき
 - クラスタヘッドの変更頻度を低減

IEICE CS/IE研究会・無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

Cluster Based Networks(3/3)

- 特徴
 - クラスタ構造, 構成方法は使用目的に依存
 - クラスタ化による経路制御情報を削減
 - クラスタ構成, クラスタヘッド変更のオーバーヘッド大
 - MAC層におけるクラスタ化の利点
 - クラスタ間での拡散符号分割
 - ポーリングによる帯域割当制御など

IEICE CS/IE研究会・無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

AODV(1/3)

- Ad-hoc On-demand Distance Vector
- 特徴
 - オンデマンド型
 - Route Request / Route Reply
 - パス上のノードのみがルーティング情報を管理
 - メモリ消費削減
 - パスの新旧を目的局シーケンス番号により識別
 - ループ除去
 - 双方向リンクを仮定
 - マルチキャストサポート

IEICE CS/IE研究会・無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

AODV(2/3)

- パス発見処理
 - RREQ: ブロードキャスト, リバースパスを設定
 - RREP: ユニキャスト, フォワーディングパスを設定
 - ノードは以下の場合にRREPを返信可能
 - RREQに含まれる目的ノードへの有効なパスを持つ
 - RREQに記されたものより新しい目的ノードシーケンス番号を持つ

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

AODV(3/3)

- パス維持処理
 - 送信ノード移動時: パス発見処理を再実行
 - 中継ノード移動時: パス上流ノードが送信ノードに通知(RERR)
- リンク障害の検出
 - Hello メッセージを定期的に送信
 - 2層のリンク障害検出機能を利用する場合は不要

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

DSR(1/3)

- Dynamic Source Routing
- 特徴
 - 送信ノードは経路情報をキャッシュ
 - AODV に比べメモリ消費大
 - 経路情報のデータパケットへの埋め込み
 - AODV に比べオーバーヘッド大
 - 非対称リンクでも利用可能

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

DSR(2/3)

- パス発見処理
 - ROUTE REQUEST packet
 - ブロードキャスト, 経由ノードをバケットに順に保存
 - ROUTE REPLY packet
 - ブロードキャスト (or ユニキャスト), 発見パスを送信ノードに通知
 - ブロードキャストにより発見パスをバックパッシュし送信ノードに通知
 - これにより単方向リンク環境下に対応可能
 - ユニキャストによりオーバーヘッド削減
 - ノードは以下の場合に ROUTE REPLY を返信可能
 - ROUTE REQUEST packet に含まれる目的ノードに対し有効なパスのキャッシュを持つ

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

DSR(3/3)

- パス発見処理: ユニキャストの例

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

ABR(1/4)

- Associativity Based Routing
- 特徴
 - オンデマンド型
 - ビーコンを測定しリンク安定度のメトリックを計算
 - 安定したパスの選択が可能
 - ルート再発見の頻度小さくオーバーヘッド小 ⇒ バッテリー消費小

ビーコンを周期発信

アソシエティビティ刻みATを増加
しきい値: $AT_{threshold}$
 $AT \geq AT_{threshold}$: リンク安定
 $AT < AT_{threshold}$: リンク不安定

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

ABR(2/4)

- パス発見手順
 - Broadcast Query (→)
 - 遅延度, リレイ負荷, ホップカウントを考慮
 - Await-Reply (←)
 - リレイ負荷条件を満たすパス
 - 目的局ユニキャストリプライ², 平均安定リンク数最大のパス
 - ホップ数の最小パス
 を選択

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

ABR(3/4)

- ルート管理
 - 送信ノードの移動
 - ルート消去メッセージ送信(ユニキャスト)
 - ルート発見手順(BQ)再実行
 - 中間ノードの移動
 - Localized Query による部分復旧実行
 - パス中央までLocalized Query 失敗時にルート発見手順(BQ)再実行

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

ABR(4/4)

- ルート消去
 - ブロードキャストによるルート除去
 - LQ実行中のルート除去が発生しうするため
- 目的ノードのみがルートリプライ
 - AODV, DSR のように既設パス上のノードがリプライできない
- SSR (Signal Stability Routing)
 - リンクコストに信号強度を考慮

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

TORA(1/5)

- Temporarily Ordered Routing Algorithm
- 特徴
 - オンデマンド型
 - ルート生成, ルート維持, ルート消去手順からなる
 - Link Reversal Protocol を利用
 - Directed Acyclic Graph (DAG) を構築
 - 目的ノードへのマルチパスを設定可能
 - トポロジ変化の影響を局所化しオーバーヘッド削減
 - ノードの移動度が高い場合に適
 - 最短パスが選択されるとは限らない

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

TORA(2/5)

- ノード間での時間同期が必要(GPSなどを利用)
- アルゴリズムが発振するケースあり
 - 発振は一時的で収束
- ルート生成
 - 目的ノードに対する各ノードの高さを決定
 - 目的ノードを根とするDAGを生成
 - QRY(Query) パケット
 - 目的ノード, 目的ノードへの経路を持つノードへ探索を通知
 - UPD(Update) パケット
 - 目的ノード, 目的ノードへの経路をもつノードは送信可能
 - 受信ノードに対する相対的な高さのリストを含む

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

TORA(3/5)

- ルート維持
 - ノードは最終ダウンストリームリンク切断時に参照レベルを再計算
 - UPDパケットにより参照レベルを隣接ノードに通知
 - 必要に応じリンクの向きを変更
- ルート消去
 - ネットワーク分断検知時にCLR(Clear)パケットをブロードキャストしルートを消去

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

TORA(4/5)

- ルート生成による得られた DAG の例

送信ノード

目的ノード

縦軸はコストリリック

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

TORA(5/5)

- ルート維持の例

送信ノード

目的ノード

送信ノード

目的ノード

送信ノード

目的ノード

送信ノード

目的ノード

リンク反転

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

ZRP(1/4)

- Zone Routing Protocol
- 特徴
 - ノードからのホップ数でゾーンを規定
 - Proactive, Reactive 融合型
 - ゾーン内ルーティング
 - IntraZone Routing Protocol(IARP)
 - Proactive型ルーティング
 - ゾーン外ルーティング
 - IntErzone Routing Protocol(IERP)
 - Reactive型プロトコル

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

ZRP(2/4)

- ルーティングゾーンの例

ゾーン半径: 2ホップ
 ノード1: 中央ノード
 ノード2~12: ノード1のゾーンメンバ
 ノード8~12: 周辺ノード

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

ZRP(3/4)

- 隣接ノード発見プロトコル
 - Neighbor Discovery Protocol (NDP)
 - Hello メッセージの定期的送信など
- IARP
 - タイマ型リンクステートプロトコル
 - TTLを制限してリンクステートをブロードキャスト
- IERP
 - 周辺ノード Bordercast により効率的にルート発見
 - 目的ノードがゾーン内でない場合, Bordercast
 - 目的ノードがゾーン内にある場合, reply を送信ノードに返信
 - 周辺ノードは Bordercast Resolution Protocol により発見

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

ZRP(4/4)

- IERP の動作例
 - ノード1からノード10へのルート発見
 - ノード8はノード1へルート情報(1→4→6→8)を応答

→ Bordercast
 ... Route Reply

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

課題

- スケーラビリティ
- QoS保証
- サービス発見
- セキュリティ
- インターネットとの接続性
- パワー制御
- MAC層

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

スケーラビリティ

- ノード移動により
 - アドレスアグリゲーション困難⇒クラスタ, ゾーン
 - 制御メッセージのオーバヘッド大
 - 制御メッセージ量の比較には移動度, 規模を考慮

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

QoS保証

- テーブル駆動型
 - リンクステート型
 - Fallback などの QoS ルーティングを適用可能
- オンデマンド型
 - パス発見時に QoS 要求条件を付加
 - パスの維持には ICMP を利用
 - ICMP QOS_LOST メッセージにより送/受信端末に通知

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

サービス発見

- Client/Server パラダイム(⇒ P2P パラダイム?)
- ルート発見とサービス発見を統合
 - サーバの anycast によるアドレッシング
 - 4層以上の機能が3層に混入
- セキュリティ
 - 鍵配信サーバ, 認証サーバ(Client/Serverパラダイム)

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

パワーコントロール

- バッテリー消費の削減
 - サバイバリティの向上
- 送信電力コントロール
 - RFパワーとパケット再送のトレードオフ
 - 経路制御(3層)への影響
- MAC層におけるスリープモードの導入
 - MACAベース:PAMAS
 - TDMAベース:IEEE802.11(シングルホップ)
- 消費電力に関する実験的調査
 - 対象:WaveLAN

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA

MAC層(1/2)

- 低リンク品質
 - TCPパフォーマンスへの影響
- 隠れ端末・さらし端末問題
 - IEEE802.11
 - RTS/CTS/DATA/ACK
 - 隠れ端末問題解決, さらし端末未解決
 - DBTMA
 - ビジートーンによる隣接ノード送信抑制
 - 隠れ端末問題, さらし端末問題解決
 - リンクレベルでのACK はなし

IEICE CS/IE研究会: 無線Ad-Hoc ネットワーク技術

MAC層(2/2)

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA



- MAC with ACK or without ACK
 - リンク層レベルのACKの有効性
 - TCPパフォーマンスとの関係
- TCP Performance
 - 低リンク品質
 - リンク層レベルのACKの有無
 - 移動度とリンク復旧との関係
 - IEEE802.11 Ad-Hoc モードにおける性能評価
 - RTSの連続失敗によるリンク切断

IEICE CS/IE研究会:無線Ad-Hoc ネットワーク技術

References(1/4)

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA



1. J. Broch, et al., "A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols," ACM/IEEE MOBIKOM'98, pp.85-97, 1998. (DSDV, TORA, DSR, AODV の定量的比較:ノード数小(30)でDSR有利)
2. S. Chen, et al., "Distributed Quality-of-Service Routing in Ad Hoc Networks," IEEE JSAC, vol.17, no.8, pp.1488-1505, Aug. 1999.(QoSルーティング)
3. C.-C. Chiang, et al., "Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel," Proc. of IEEE Singapore International Conference on Networks, pp.197-211, 1997.(CGSRの文献)
4. S. Corson, et al., "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations," IETF RFC2501 1999.(現時点でのMANET唯一のRFC)
5. J. Deng, et al., "Dual Busy Tone Multiple Access (DBTMA): A New Medium Access Control for Packet Radio Networks," IEEE ICUPC'98, pp.973-977, 1998. (DBTMAの文献)

IEICE CS/IE研究会:無線Ad-Hoc ネットワーク技術

References(2/4)

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA



6. R. Dube, et al., "Signal Stability based Adaptive Routing (SSA) for Ad-Hoc Mobile Networks," IEEE Personal Communications, pp.36-45, Feb. 1997.(SSRの文献)
7. J.-P. Ebert, et al., "Power Saving in Wireless LANs: Analyzing the RF Transmission Power and MAC Retransmission Trade-Off," Proc. of European Wireless'99, 1999.(再送とRFパワーのトレードオフ評価)
8. Z. J. Haas, et al., "The Performance of Query Control Schemes for the Zone Routing Protocol," IEEE/ACM Trans. on Networking, vol.9, no.4, pp.427-438, Aug. 2001. (ZRPのパラメータ性能評価)
9. IETF Mobile Ad-hoc Networks WG, <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
10. A. Iwata, et al., "Scalable Routing Strategies for Ad Hoc Wireless Networks," IEEE JSAC, vol.17, no.18, pp.1369-1379, Aug. 1999.(クラスト型ルーティングとFisheryルーティング)
11. Y. Ko et al., "Location-Aided Routing in Mobile Ad Hoc Networks," Proc. of MOBIKOM'98, pp.66-75, 1998. (ロケーションエイド)

IEICE CS/IE研究会:無線Ad-Hoc ネットワーク技術

References(3/4)

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA



12. S.-J Lee, et al., "A Simulation Study of Table-Driven and On-Demand Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks," IEEE Network, pp.48-54, Jul./Aug. 1999.(テーブル駆動型(DBF)とオンデマンド型(DSR, ABR)の比較:ノード数小(30))
13. D. A. Maltz, et al., "The Effect of On-Demand Behavior in Routing Protocol for Multihop Wireless Ad Hoc Networks," IEEE JSAC, vol.17, no.8, Aug. 1999. (DSRのシミュレーション評価)
14. V. D. Park, et al., "A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks," IEEE INFOCOM'97, pp.1405-1413, 1997. (TORAの文献)
15. C. E. Perkins, et al., "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers," ACM SIGCOMM'94, Computer Communication Review, vol.24, no.4, pp.234-244, Oct. 1994. (DSDVの文献)
16. C. Roehl, et al., "A Short Look on Power Saving Mechanisms in the Wireless LAN Standard IEEE 802.11," Adv. in Wireless Commun., pp.219-226, Kluwer Academic Publishers, 1998. (802.11の文献)

IEICE CS/IE研究会:無線Ad-Hoc ネットワーク技術

References(4/4)

THE UNIVERSITY OF TOKUSHIMA



17. E. M. Royer et al., "A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks," IEEE Personal Communications, vol.6, no.2, pp.46-55, April 1999. (DSDV, CGSR, WRP, AODV, DSR, TORA, ABR, SSR の定性的な比較)
18. S. Singh, et al., "PAMAS - Power Aware Multi-Access Protocol with Signalling for Ad Hoc Networks," ACM Computer Communication Review, vol.28, no.3, pp.5-26, July 1998.(MACAベースのパワーセーブ可能なMAC)
19. S. Singh, et al., "Power-Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks," Proc. in MOBIKOM'98, pp.181-190, 1998. (パワーセーブのためのメトリックの提案)
20. R. Sivakumar, et al., "CEDAR: a Core Extraction Distributed Ad Hoc Routing Algorithm," IEEE JSAC, vol.17, no.8, pp.1454-1465, 1999. (バックボーン型ルーティング)
21. C.-K. Toh, "Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad Hoc Networks," IEEE Commun. Mag., pp.138-147, June 2001. (バッテリーメトリックを考慮したルーティングの比較)

IEICE CS/IE研究会:無線Ad-Hoc ネットワーク技術