

RCS研究会2011.7 招待講演



"Cognitive"なワイヤレスネットワーク

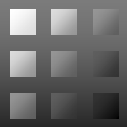
- 分散無線ネットワークの伝送品質改善を目指して -

電気通信大学

先端ワイヤレスコミュニケーション研究センター

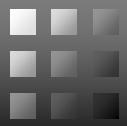
山尾 泰





目次

- ◆ 研究背景
- ◆ 分散無線ネットワークの課題と研究のアプローチ
- ◆ クロスレイヤ・Cognitiveマルチホップパケット伝送法
- ◆ 提案方式の動作原理とその効果
- ◆ むすび



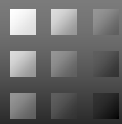
はじめに

今日の話題は無線スペクトルの有効利用についての
“コグニティブ無線”に関するものではありません。

一定の無線スペクトルが与えられた場合、
如何に分散無線ネットワークの伝送性能を向上できるかを、
局所的な環境適応(コグニティブ)パス制御に注目して、
MAC層とNW層のクロスレイヤプロトコルとして
発案したものです。

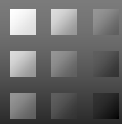
<比較>

"Cognitive networks: adaptation and learning to achieve end-to-end performance objectives" by Ryan W. Thomas et al., IEEE Commn. Mag. Dec. 2006.



分散無線ネットワークに関するキーワード

- 自律分散制御
 - マルチノードメディアアクセス制御 → スペクトルリソース
 - 間欠送受信制御 → 電力リソース
- アドホックネットワーク
 - ルーティング
 - ノードの移動のサポート
- メッシュネットワーク
 - インフラとして高いスペクトル効率
 - 十分な帯域とボトルネック回避
- マルチホップ通信
 - 伝送信頼度と伝送遅延が重要
 - ホップ間干渉



分散無線ネットワークの歴史

● 無線通信黎明期

1905 - 日本海軍三六式無線電信機の全艦隊配備と日本海海戦におけるネットワーク運用[3]
(タイタニック号遭難の7年前)

● セルラシステムでの自律分散制御

1972 - Dynamic Channel Assignment (D. C. Coxら[4,5])
無線リソースはFDMAの無線チャンネル
全ての無線チャンネルを各基地局が分散制御により割当て
ねらい;システムの収容能力の向上

1980年代後半 - マイクロセルラデジタル移動通信システムでの
DCAの検討(古谷ら[6], H. Ericson[7], 尾上ら[8])

対馬海峡における索敵強化

Enhancing the ability to search around the Tsushima Strait

海戦に勝利するためには、敵艦隊を早期に発見して主導権を確保することが不可欠であり、東郷連合艦隊司令長官はバルチック艦隊の近接に備え、対馬海峡西方海域に総勢約70隻の艦船を幾重にも配備しました。

5月27日02:45 仮想巡洋艦「信濃丸」はバルチック艦隊を発見し「敵艦見ユ203地点」を発信、第3艦隊旗艦「巖島」がこれを中継し連合艦隊司令部に報告しました。その後、巡洋艦「和泉」がバルチック艦隊との接触を保って刻々とその動向を連合艦隊司令部に打電し、これより東郷連合艦隊はその敵情をもとに有利な迎撃態勢を整え、日本海海戦で大勝利することができました。



1905 - 日本海海戦における三六式無線電信機の運用

To attain victory in naval battle, it is vital to take the initiative by detecting the enemy fleet in the early stages. In order to prepare the approach of the enemy fleet, Admiral Togo, Commander-in-Chief of Combined Fleet and his forces of more than 70 ships—including many converted cruisers—took their positions in the western approaches of the Tsushima Strait. At 02:45 on 27 May, the converted cruiser, SHINANO MARU, detected the Russian Fleet. The cruiser sent out the message, "Enemy sighted at point 203" and the IITSUKUSHIMA, flag ship of the 3rd Fleet relayed this message to the combined fleet headquarters on board MIKASA. Shortly afterwards the cruiser, IZUMI kept contact with the enemy fleet and reported on its movement by the minute. Because Admiral Togo had such accurate information about the enemy, he could take an advantageous position against the enemy fleet, and thus achieved a decisive victory in the Battle of the Sea of Japan.

三六式無線機

Type 36 Wireless Telegraph

三六式無線通信機は、アンテナ直結の簡単な火花式送信機(三四式無線機)の不具合を改善した無線通信機であり、インダクションコイルの採用等により送信出力600Wで概ね80海里(約150km)での通信が可能になりました。三六式無線通信機は日露戦争直前に突貫工事で全艦艇、監視所、陸上司令部等に装備され、円滑な作戦指揮運用、適時の情報配布に大いに寄与しました。

The Type 36 Wireless Telegraph improved a problem in the Type 34 Wireless Telegraph of a simple spark transmitter directly connected to an antenna. The Type 36 was able to transmit a signal roughly 80 nautical miles (about 150km) with 600W output power. With the work before Japanese-Russian War, all naval ships, observation posts and land based headquarters were equipped with this Type 36 Wireless telegraph, which contributed significantly to smooth operational command control and timely distribution of information.

木村駿吉

Navy Engineer, Mr. Shunkeichi Kimura

第三高等学校(現東北大学)教授の木村駿吉は、乞われて海軍に在職、無線電信調査委員として横須賀海軍兵器廠等において無線電信機の研究開発に日夜没頭し、三六式無線電信機を開発しました。

Professor Shunkeichi Kimura at the 1st High School (currently Tohoku University) was asked to join the navy and served as a research committee for the wireless telegraph. He devoted himself night and day to the research and development of the Wireless Telegraph at the Yokosuka Navy Arsenal and is credited with developing the Type 36 Wireless Telegraph.



東郷司令長官の電報送達紙
Admiral Togo's Famous Message

「敵艦隊見ユ203地点 連合艦隊ハ直ニ出動
コレヲ撃滅セントス本日天気晴明ナドモ波高シ」

"UPON RECEIVING THE ENEMY FLEET REPORT, I IMMEDIATELY SUGGESTED THE COMBINED FLEET SHOULD IMMEDIATELY ENGAGE AND DESTROY THEM TODAY WEATHER BEING FINE BUT WAVES ARE HIGH."

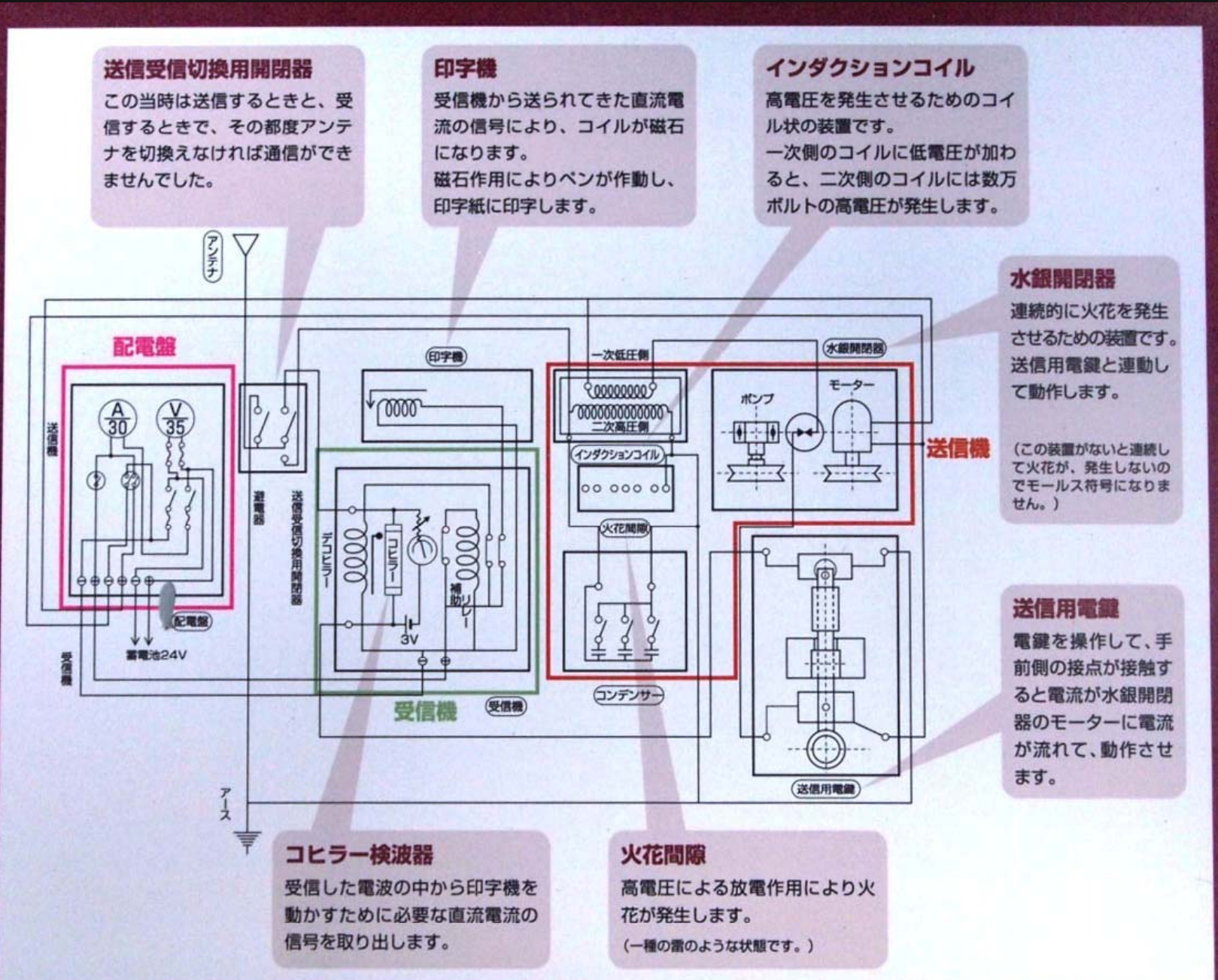


記念艦三笠説明図

三笠の無線電信室(復元状態)



三六式無線電信機(1902年)



送信受信切換用開閉器
この当時は送信するときと、受信するときで、その都度アンテナを切換えなければ通信ができませんでした。

印字機
受信機から送られてきた直流電流の信号により、コイルが磁石になります。磁石作用によりベンが作動し、印字紙に印字します。

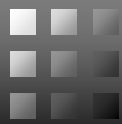
インダクションコイル
高電圧を発生させるためのコイル状の装置です。一次側のコイルに低電圧が加わると、二次側のコイルには数万ボルトの高電圧が発生します。

水銀開閉器
連続的に火花を発生させるための装置です。送信用電鍵と連動して動作します。
(この装置がないと連続して火花が発生しないのでモールス符号になりません。)

送信用電鍵
電鍵を操作して、手前側の接点が接触すると電流が水銀開閉器のモーターに電流が流れて、動作させます。

コヒラー検波器
受信した電波の中から印字機を動かすために必要な直流電流の信号を取り出します。

火花間隙
高電圧による放電作用により火花が発生します。
(一種の雷のような状態です。)

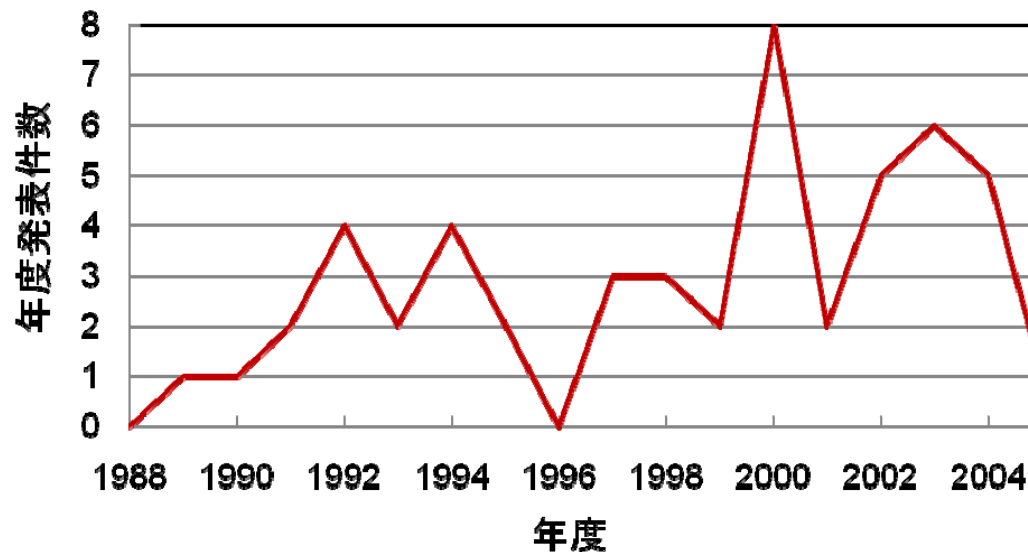


セルラシステムでの自律分散制御

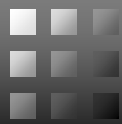
● 1972 - Dynamic Channel Assignment

- [4] D. C. Cox and D. Reudink, " A Comparison of Some Channel Assignment Strategies in Large-Scale Mobile Communications Systems," Trans. IEEE Commn., Vol. COM-20, No.2, pp. 190-195, April 1972.
- [5] D. C. Cox and D. Reudink, "The Behavior of Dynamic Channel-Assignment Mobile Communications Systems as a Function of Number of Radio Channels," Trans. IEEE Commn., Vol. COM-20, No.11, pp. 471-479, April 1972.

● RCS発足(1988)以降2005年度までに「自律分散」に関連する概念を含む研究会論文数の推移



2000年以降はセルラシステム以外の研究が増加



分散無線ネットワークの要求条件

目的

自律分散制御プロトコルを用いて、
任意のノード間の通信が可能なネットワークを構築・維持

迅速な経路発見・決定

経路情報の共有と更新

電波伝搬環境が
不安定(フェージング)

マルチホップ伝送に伴う
伝送遅延の増加

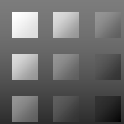
小形で安価
簡易なデバイス

高信頼化

高効率化

ソフトウェア処理

これらを満たすマルチホップ伝送技術とは？
どのようなアプローチを選択するか？



分散無線NWへのOSIレイヤモデルの適用

NW レイヤ

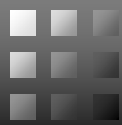
- End-to-Endの通信管理(TCP, IPアドレッシング)
- End-to-Endルーティング(AODV, DSRなど)

MACレイヤ

- リンク(ホップ)の伝送管理(MAC-ARQ, MACアドレッシング)
- マルチプルアクセス管理(CSMA/CA, RTS/CTS)

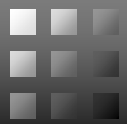
物理レイヤ

- 媒体の変復調／送受信
- 伝送品質の測定



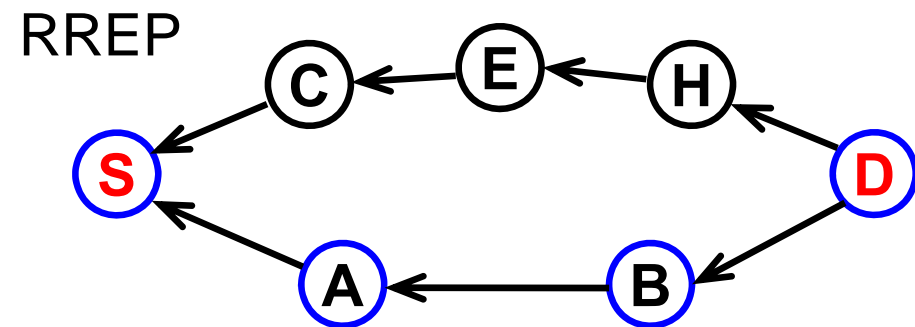
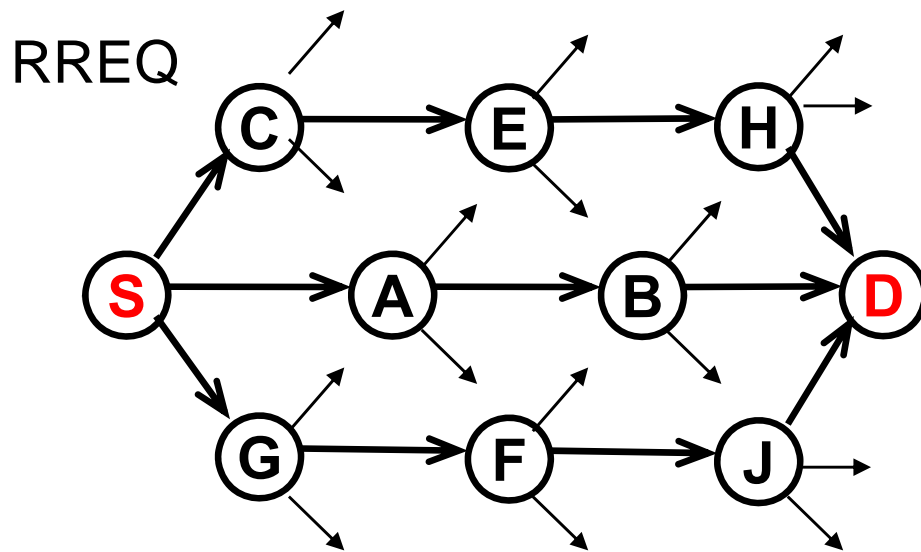
OSIレイヤベース分散無線NW技術の課題

- **MANETルーティングプロトコル**は端末の移動によるトポロジ変化には対応しているものの、フェージングのような急激な受信レベルの変動で発生したパケット誤りをカバーすることはできない
- **マルチホップ通信**では唯一つのリンクの誤りによって通信が断となり、リンク伝送品質に対する要求条件が厳しい
- **MAC-ARQ**でリンクの誤りをカバーするためには、フェージングの時間相関が低くなるように再送間隔を長くする必要があるが、これはスループットの低下と遅延の増大を引き起こす
- リンクの伝送品質改善のためには**ダイバーシチ受信**が有効であるが、複数のアンテナ／受信機の使用はコストとサイズ・消費電力の制約がある



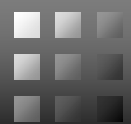
フェージング環境でのマルチホップ伝送

- AODVなどのオンデマンドルーティングでは, RREQ/RREPにより経路を決定



送信元ノードSは最小ホップ数の経路を選択
→フェージングマージンが小さいリンクを選択してしまうため, 伝送信頼度が低い

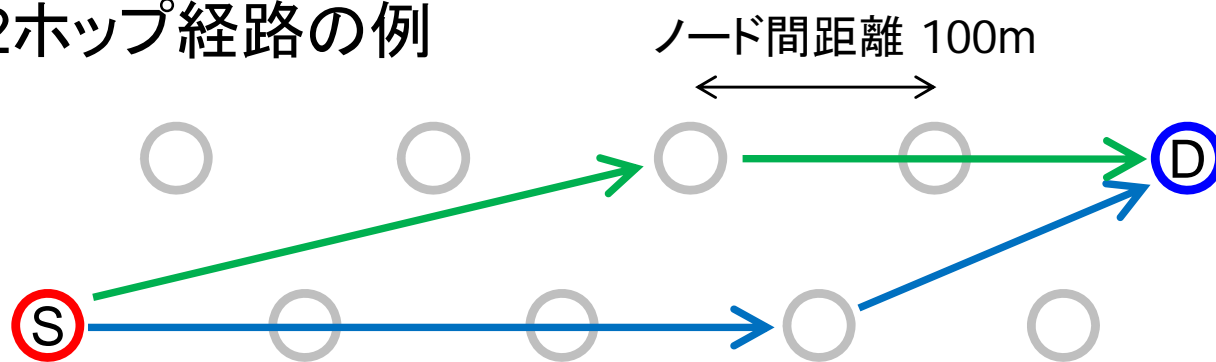
- 各リンクの信頼度を上げるためフェージングマージンを増やすと, 所要ホップ数が増え, 無線リソースの消費量と伝送遅延が増加する



フェージング環境でのAODV経路の例 [22]

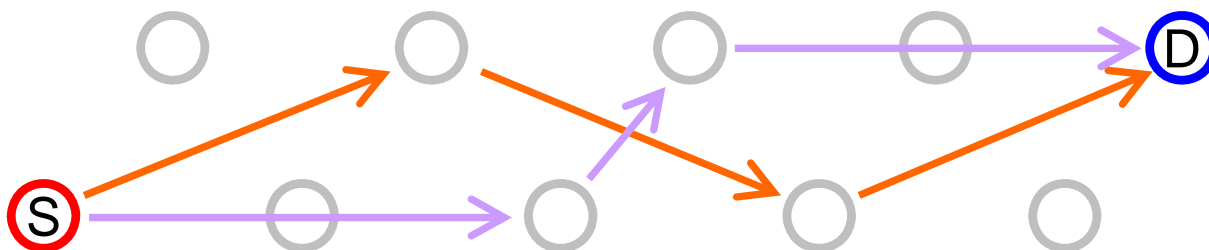
[シミュレーション条件] IEEE802.11b, レイリーフェージング, ARQなし

- 2ホップ経路の例



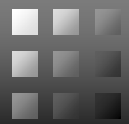
2-hop経路の平均
生起確率 4%
伝送成功率 2%
伝送遅延 2 hop

- 3ホップ経路の例



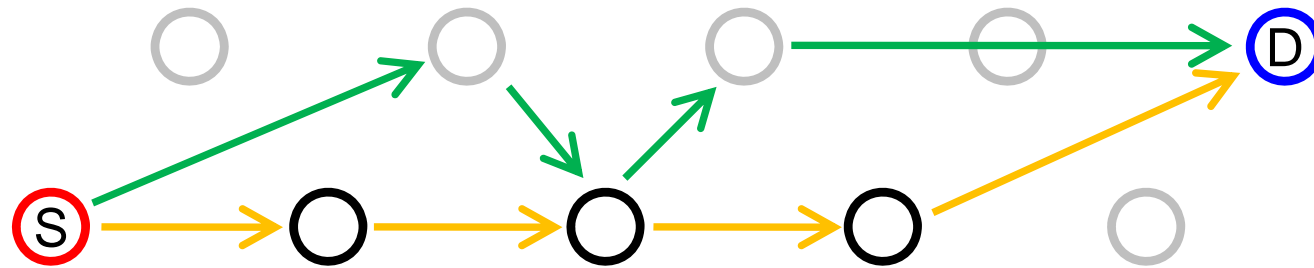
3-hop経路の平均
生起確率 77%
伝送成功率 23%
伝送遅延 3 hop

2,3ホップ経路は長距離リンクが多く、遅延は小だが**伝送信頼度が低い**。



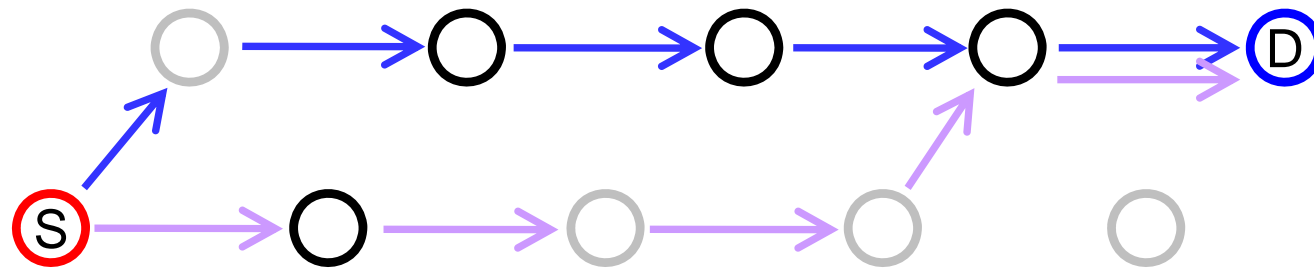
フェージング環境でのAODV経路の例

- 4ホップ経路の例



4-hop経路の平均
生起確率 17%
伝送成功率 41%
伝送遅延 4 hop

- 5ホップ経路の例

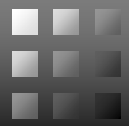


5-hop経路の平均
生起確率 2%
伝送成功率 52%
伝送遅延 5 hop

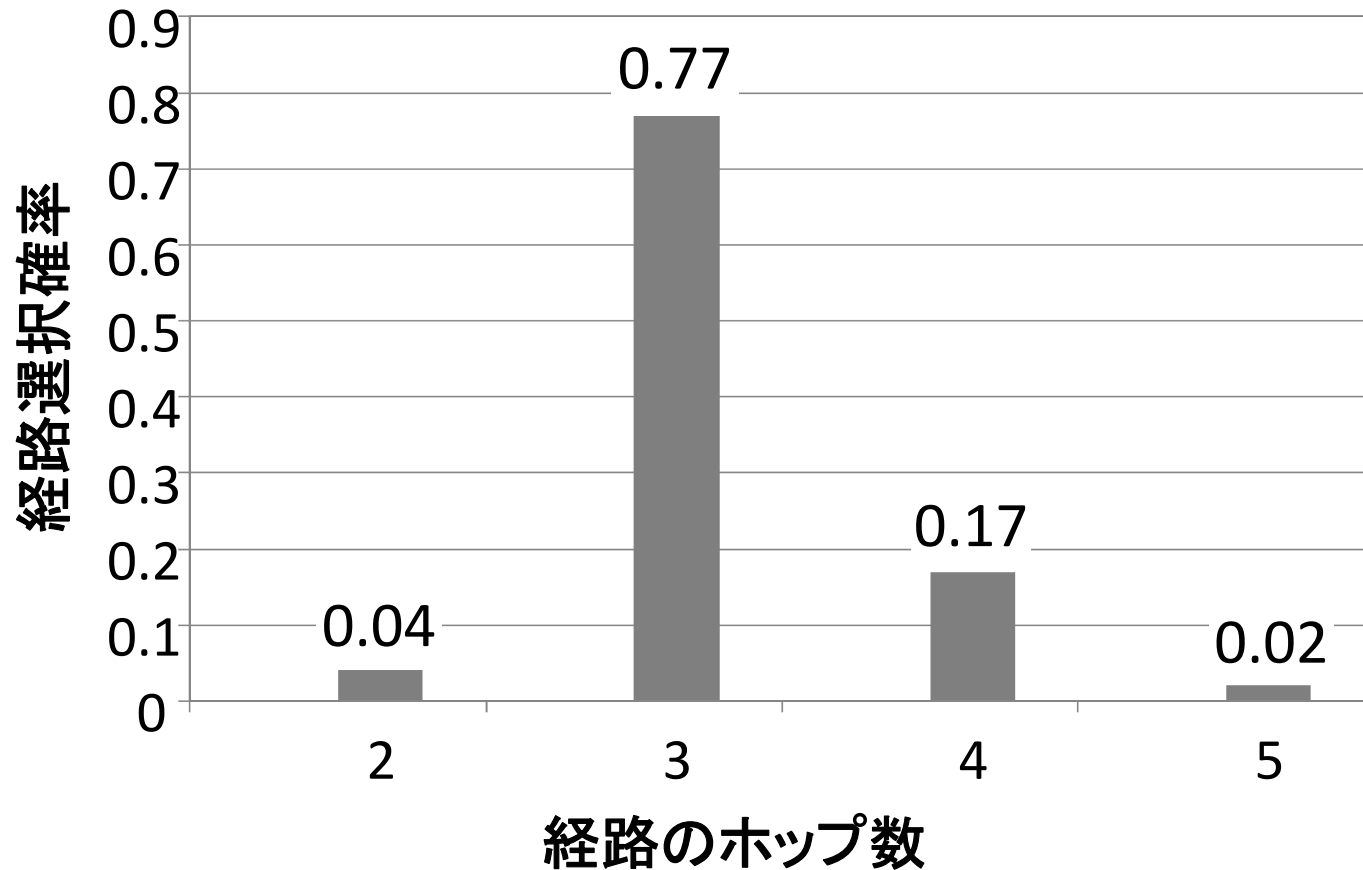
4,5ホップ経路では短距離リンクが増えるので、
リンクの伝送信頼度は上がるが、遅延大

AODVにより決定された経路の試行例

ホップ数	発生数	構築された経路					距離(×100m)				総距離 (×100m)	経路毎の 伝送成功率		
2	1	1	5	10			2	2.65			4.65	0.03877198		
	2	1	6	10			2.65	2			4.65	0.03877198		
	1	1	4	10			1.73	3			4.73	0.01139303		
3	4	1	3	6	10		1	1.73	2		4.73	0.26933729		
	16	1	3	7	10		1	2	1.73		4.73	0.26933729		
	22	1	5	7	10		2	1	1.73		4.73	0.26933729		
	3	1	5	8	10		2	1.73	1		4.73	0.26933729		
	4	1	2	6	10		1	2	2		5	0.19067483		
	1	1	7	9	10		3	1	1		5	0.01609003		
	24	1	4	7	10		1.73	1.73	1.73		5.19	0.25492295		
	3	1	4	5	10		1.73	1	2.65		5.38	0.05182604		
4	1	1	3	5	7	10	1	1	1	1.73	4.73	0.53730042		
	1	1	3	7	8	10	1	2	1	1	5	0.38037685		
	1	1	3	4	6	10	1	1	1	2	5	0.38037685		
	2	1	3	4	8	10	1	1	2	1	5	0.38037685		
	1	1	5	7	9	10	2	1	1	1	5	0.38037685		
	1	1	2	4	7	10	1	1	1.73	1.73	5.46	0.36001993		
	1	1	2	5	7	10	1	1.73	1	1.73	5.46	0.36001993		
	2	1	3	4	7	10	1	1	1.73	1.73	5.46	0.36001993		
	2	1	4	5	7	10	1.73	1	1	1.73	5.46	0.36001993		
	1	1	4	6	7	10	1.73	1	1	1.73	5.46	0.36001993		
	1	1	4	6	9	10	1.73	1	1.73	1	5.46	0.36001993		
	2	1	4	7	9	10	1.73	1.73	1	1	5.46	0.36001993		
	1	1	2	7	9	10	1	2.65	1	1	5.65	0.07319235		
5	1	1	3	4	5	8	10	1	1	1	1.73	1	5.73	0.50844518
	1	1	3	4	8	9	10	1	1	2	1	1	6	0.35994905

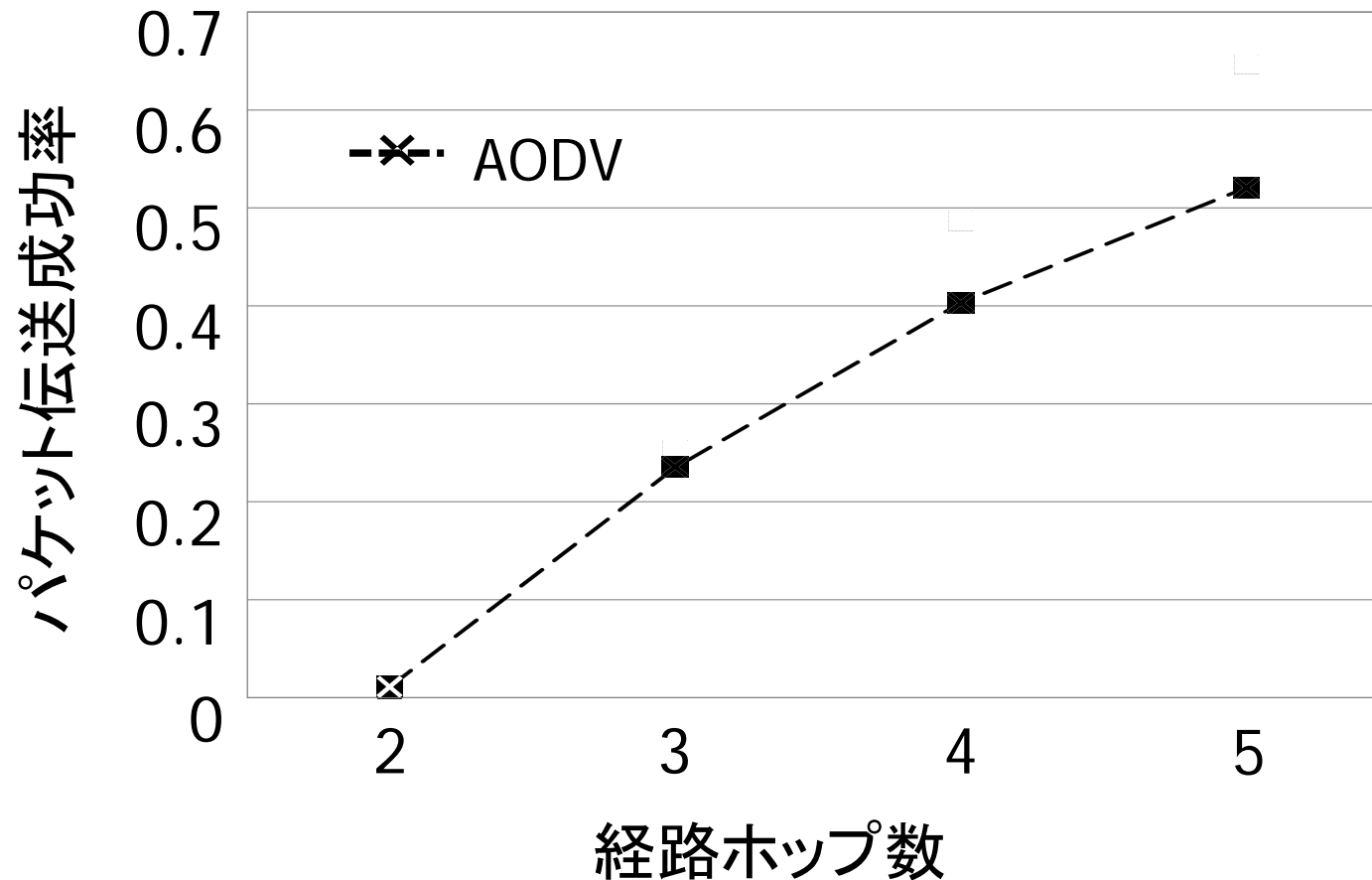


AODVにより決定された経路のホップ数



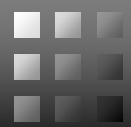
AODVの決定した経路： 3ホップが大多数だが、
19%は 4ホップ or 5ホップ 2ホップも 4% ある。

平均パケット伝送成功率と経路ホップ数の関係



ホップ数が多いと、**伝送成功率は改善されるが**、伝送成功率は依然として良くない。また**改善は頭打ち**になり、**伝送遅延が増加**

➡ 経路と伝送品質の重要な関係を示唆



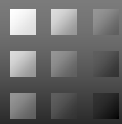
各レイヤにおける性能改善のアプローチ

NW レイヤ

- マルチパスルーチング [12]
 - 複数ルート of 冗長性により信頼度を向上
 - ネットワークリソース(電力と周波数資源)を多く消費
- AODV-BR(Bypass Routing)
 - エラーの起きたホップを避けるよう経路を再構築
 - フェージングによる高速の受信品質劣化には追従できない

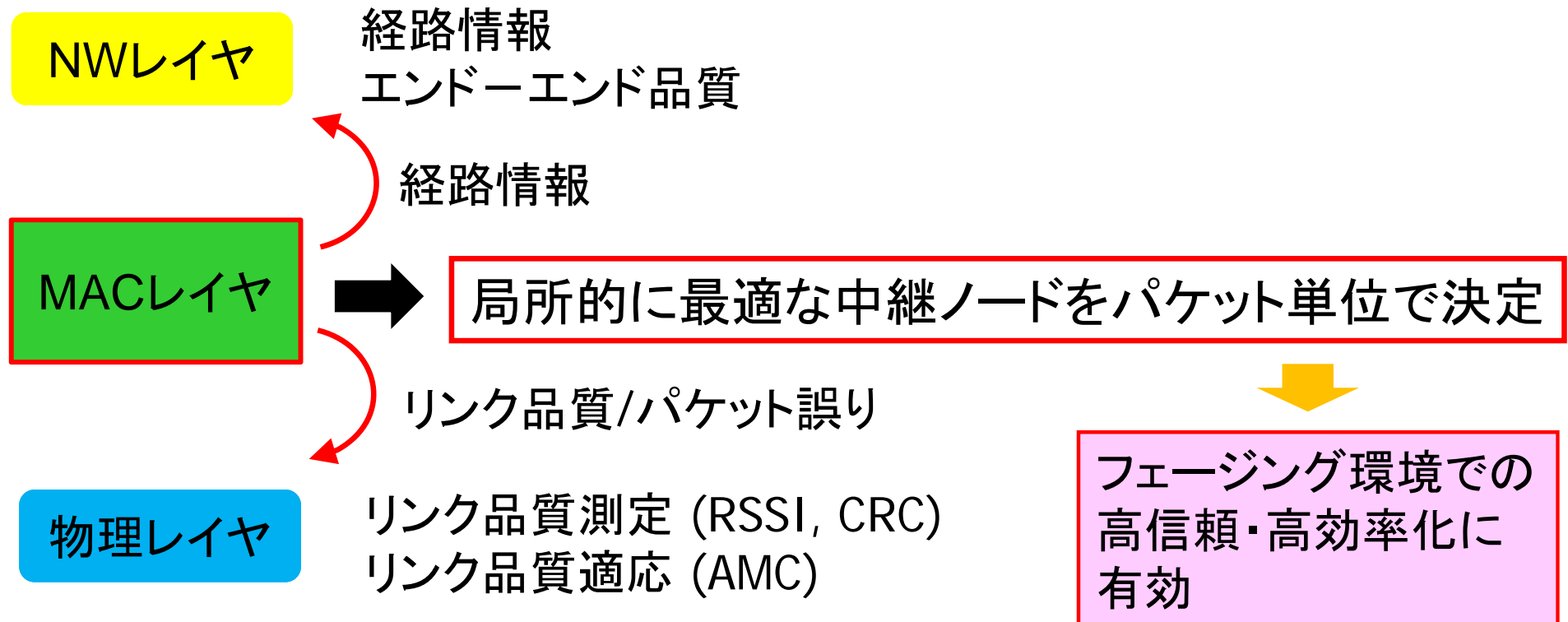
物理レイヤ

- 協調ダイバーシチ [15]
 - 複数ノードの協調により信頼度を大きく改善できる
 - 受信機では複数信号の合成信号を同時受信する能力が必要
 - ルート上で協調する中継ノードを選択し相互に認識させるメカニズムが課題 [16]



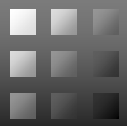
MACレイヤ中心のクロスレイヤアプローチ

- MACレイヤは物理層とネットワーク層の双方の情報が得られる



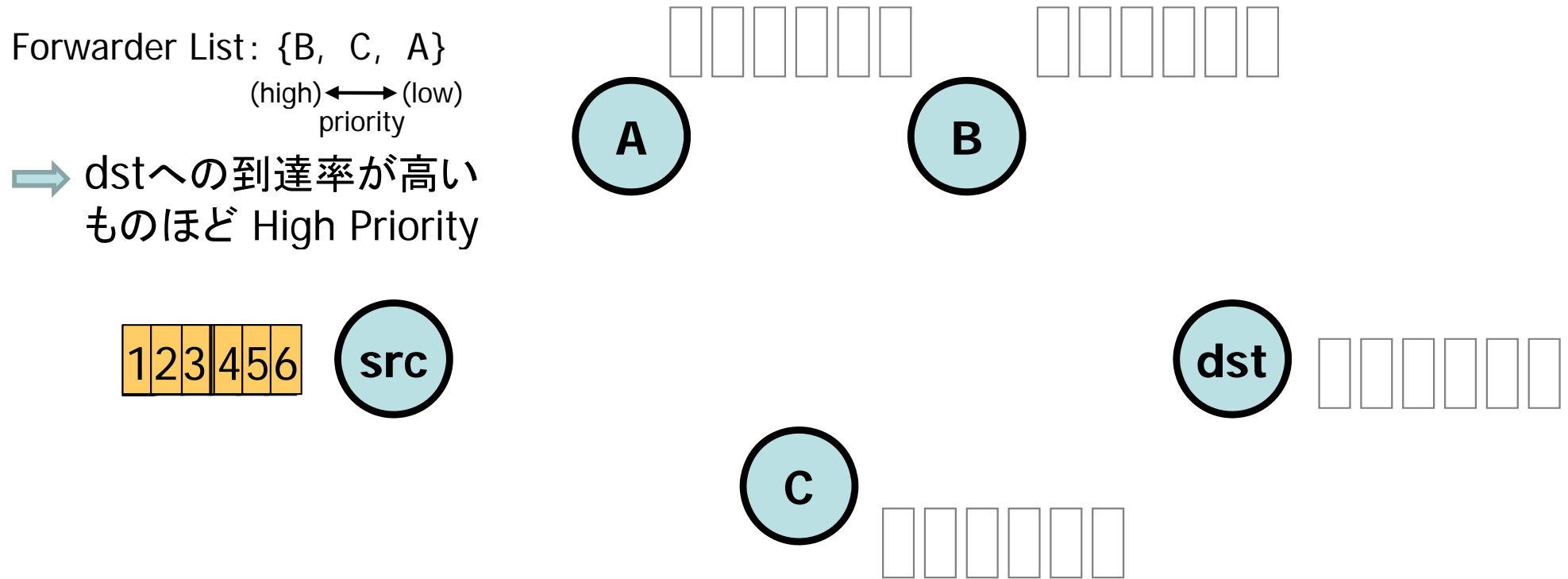
- ただしMACレイヤのみでは, マルチホップ経路の全容が不明

➡ **NWLレイヤとの協調は最低限必要**



クロスレイヤルーティングの例

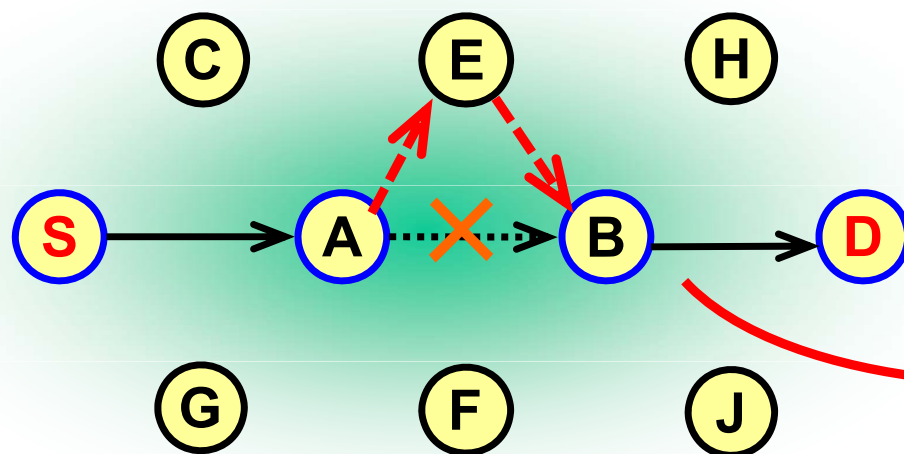
● EX-OR (Extremely Opportunistic Routing) [13,14]



- ネットワークリソースの増加無しにルートダイバーシチ効果を得る点では画期的であり、メッシュネットワークでの実験でその効果が確認されている
- 平均した伝送信頼度をリンク毎に求めて評価関数を算出するため、トポロジが頻繁に変化するネットワークへの適用は困難

瞬時瞬時で局所的に最適なパスを利用

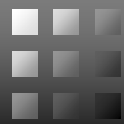
- 局所的に最適なパスを瞬時瞬時で使用することが望ましい [18]
(経路を構成する1部分)



経路は「線」ではなく、
ある「空間領域」である。

- ① 自らがどのリンクに対して仲介ノードとなりうるかを検知し
- ② バイパス対象のリンク切断を検知し
- ③ バイパス先のノードに仲介を提案し
- ④ バイパス先のノードに低遅延でパケットを送信

電波環境認識
(Cognitive)による自律分散
局所パス制御



本研究での基本的なアプローチ

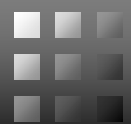
MAC層中心のクロスレイヤ・Cognitiveパス制御技術

NWレイヤ ; 基本(デフォルト)経路の決定

- 従来のオンデマンドルーチングアルゴリズム(AODVなど)により決定
- ノード移動後の経路の再構築を担う

MAC拡張レイヤ ; パケット送信後に局所的に最適なパスを選択

- 基本経路情報を参照してバイパスおよびショートカットを準備
 - 送信信号が周囲の複数のノードに届く場合, 基本経路上のノード以外のノードは**バイパスノード**となり得る
 - 基本経路上のノードに対して2ホップ先のノードは**飛越受信ノード**となり得る



リンクの動的なバイパスと飛越し

フェージングや
隠れ端末の影響

ある瞬間には到達しない



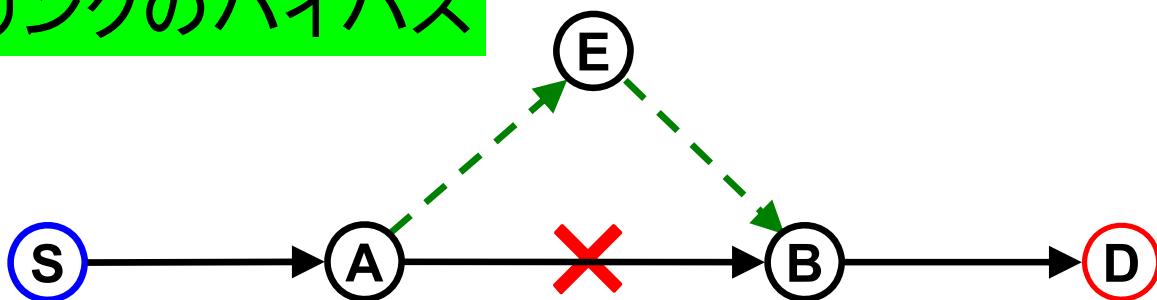
一時的なバイパス

より遠くのノードまで到達
することもある



一時的な飛越し

リンクのバイパス

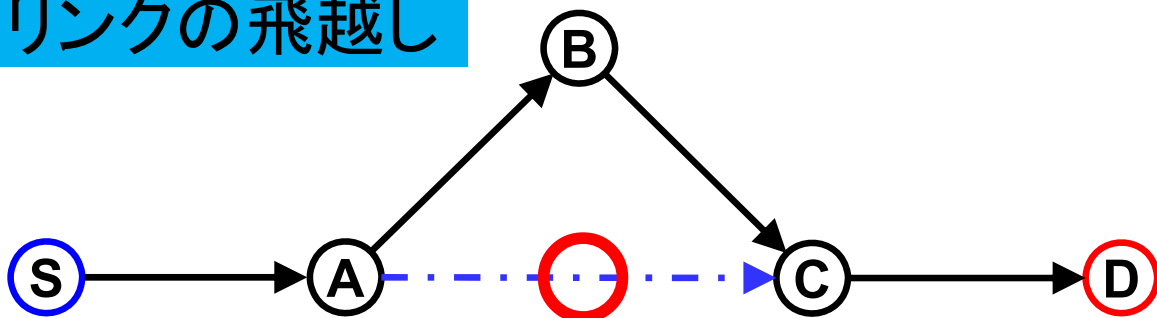


→ 基本経路

- - -> バイパス

- · -> 飛越リンク

リンクの飛越し



基本経路は経路を構築した時点でのリンク状態で決定される。しかし、リンクの状態は随時変化しているので、いつでも最適な経路とはならない

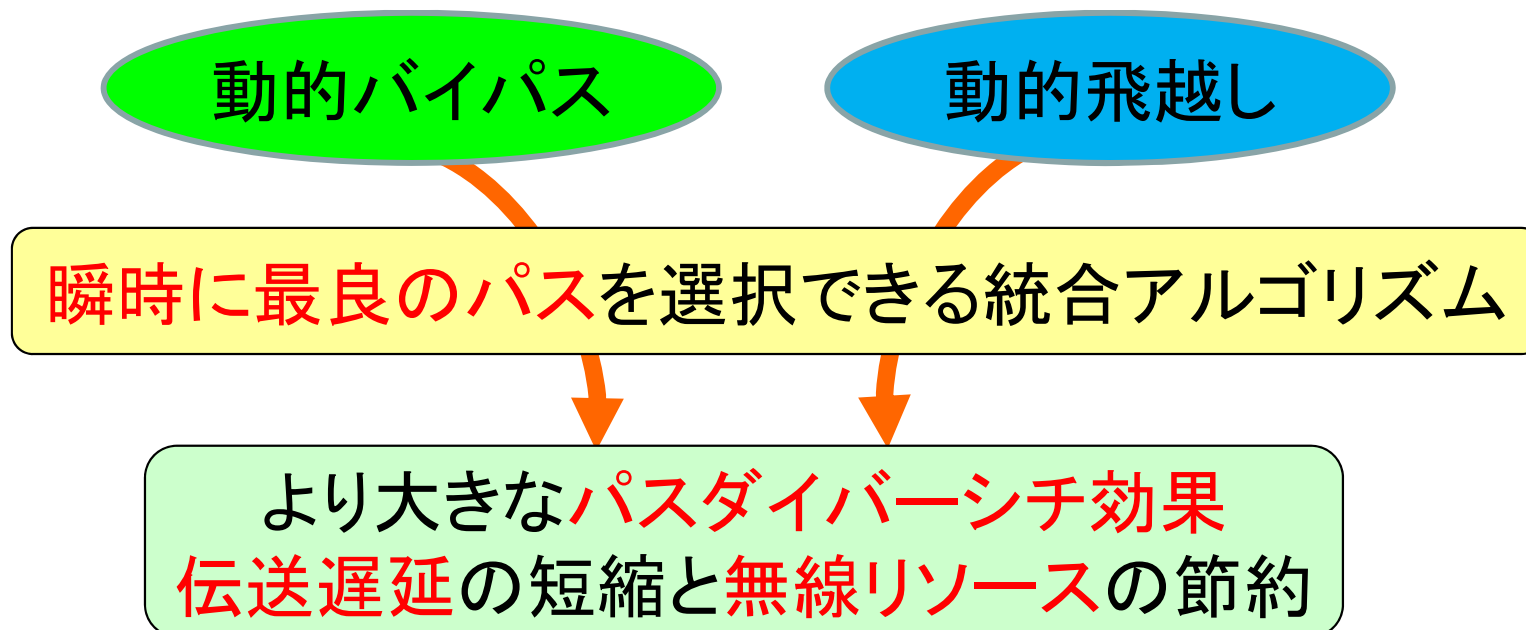
動的なバイパスと飛越しの個別効果と統合

- それぞれの個別の効果については既に確認済み [18,19], [21,22]

動的バイパス ; パスダイバーシチ効果

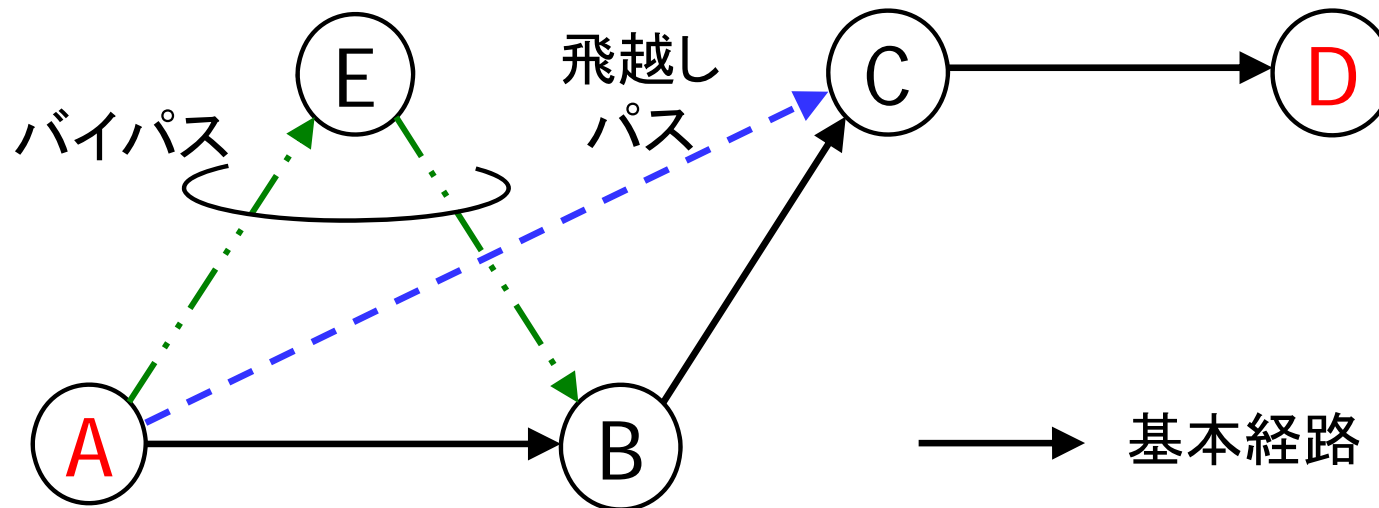
動的飛越し ; 平均ホップ数の減少と無線リソースの節約,
パスダイバーシチ効果

- この2つの機能をうまくインテグレーションできれば、さらに大きな効果が期待できる



統合動的マルチホップパケット伝送法

- 基本経路以外のパスは同時に複数存在するので、これらが互いに衝突せず、**自律的に最良のパスを選択する制御**が必要



例; ノードAから送信された信号は
C(飛越し), B(基本経路), E(バイパス)の3ノードが受信して
それぞれがD, C, Bへ転送しようとする

統合動的マルチホップパケット伝送法
Integrated Dynamic Multi-Hopping (IDMH) [23]

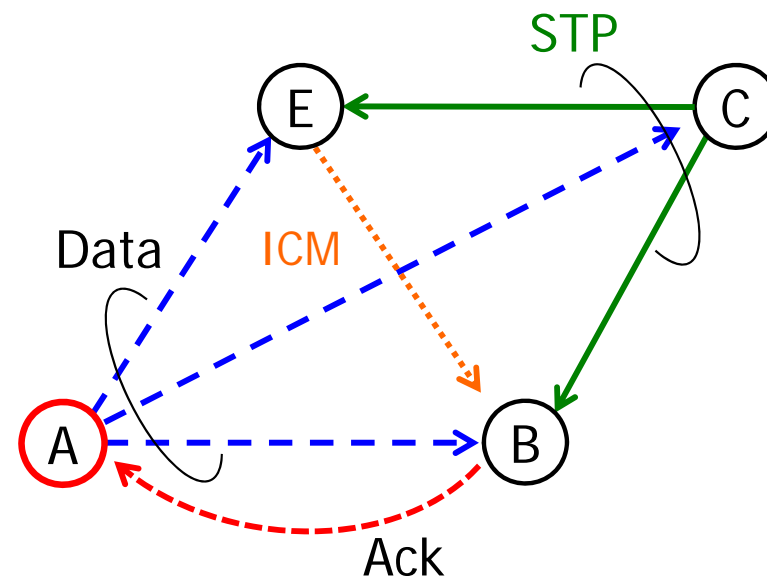
パスの優先度とコグニティブ制御

1. 飛越し(A→C)
2. 基本経路(A→B→C)
3. バイパス経路(A→E→B→C, A→B→E→C)

1. ホップ数の少ないパスの優先度を高くする
2. パス間の競合を回避し無駄な送信を停止する
CSMA/CAベースの制御メッセージを使用

表1 第1ホップ(ノードA送信)に対する自律動作

	パケット受信状態			次の動作		
	A-C	A-B	A-E	node C	node B	node E
Case I	Success	-	-	Send STP and Forward the packet to D	-	-
Case II	Fail	Success	-	-	Send Ack and Forward the packet to C	-
Case III	Fail	Fail	Success	-	-	Send ICM and Bypass the packet to B

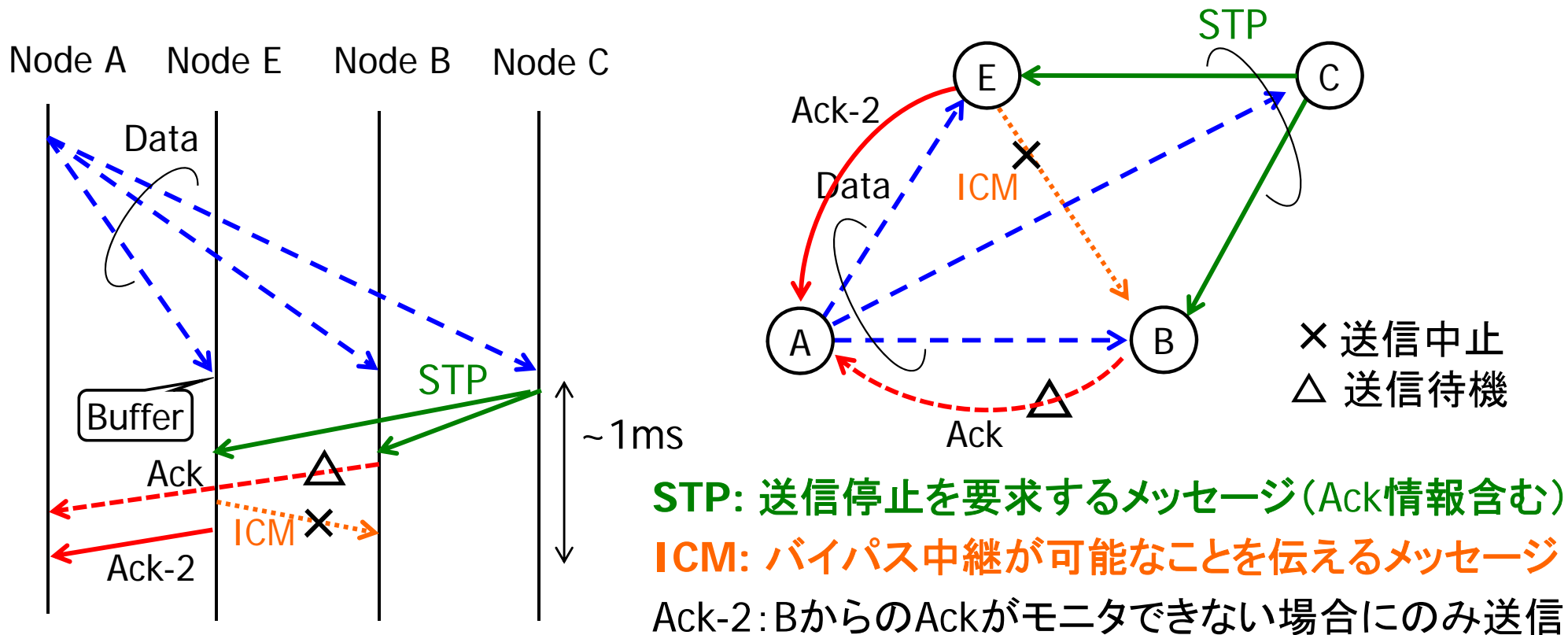


第1ホップとそれに続くパケット



提案法での制御メッセージとシーケンス

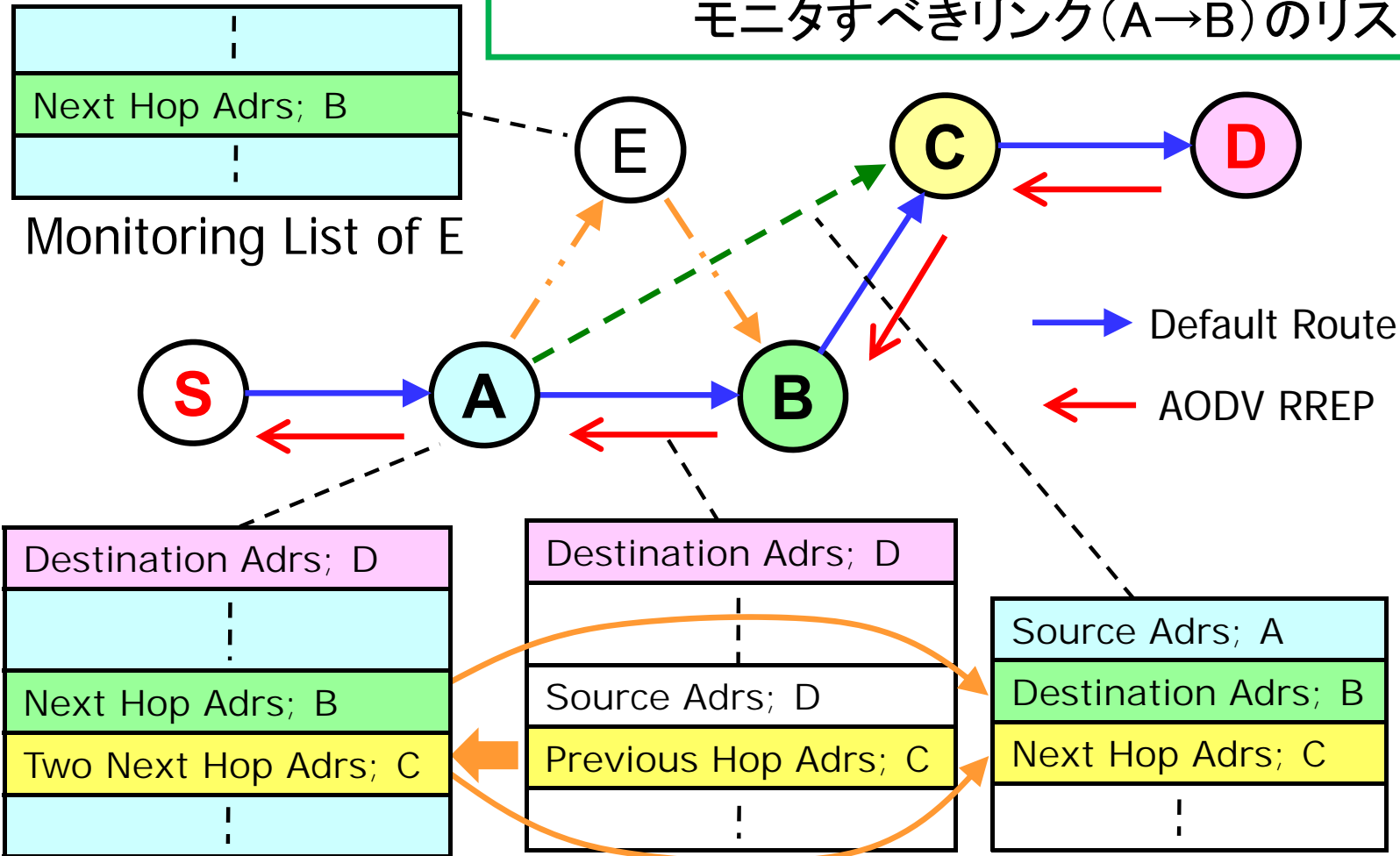
- 表1のCase I でノードAから送信したデータがC, B, Eで受信できた場合の動作を示す



飛越しノードからのSTPメッセージを最優先パケットとするため、CSMA/CA送信待合せIFS時間を $STP < Ack < ICM < Ack-2$ とする

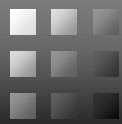
経路表, RREPメッセージ, MACヘッダの拡張

バイパス; RREPを経路周辺のノード(E)がモニタし、モニタすべきリンク(A→B)のリストを作成



NW Routing Table Entry of A RREP information MAC Header

経路飛越し; RREPに前ホップノードアドレス(C)を追加し、これを経路表とMACアドレスに追記



提案法のパケット伝送成功率

● パケット伝送成功率を各パスの伝送確率から算出

(1) 提案したIDMH法では複数のパスからひとつのパスのみが生き残るので、パスの選択は排他的。 よって伝送成功率は各パスの伝送成功率の和となる。

(2) レイリーフェージング環境にあるリンクのパケット伝送成功率は

$$P_0 = \int P_R(E)P_D(E)dE$$

E : 受信振幅

$P_R(E)$: 距離 R における平均受信電力 σ^2 の
受信振幅レイリー分布確率密度関数

$$P_R(E) = \frac{E}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{E^2}{2\sigma^2}\right)$$

$P_D(E)$: 受信振幅 E におけるパケット伝送成功率

4ノードモデルでとりうるパスの伝送確率

■ 1ホップ (飛越し) パス

$$P_{1h} = P_{pathI} = P_{AC} = P_1$$

■ 2ホップ (基本経路) パス

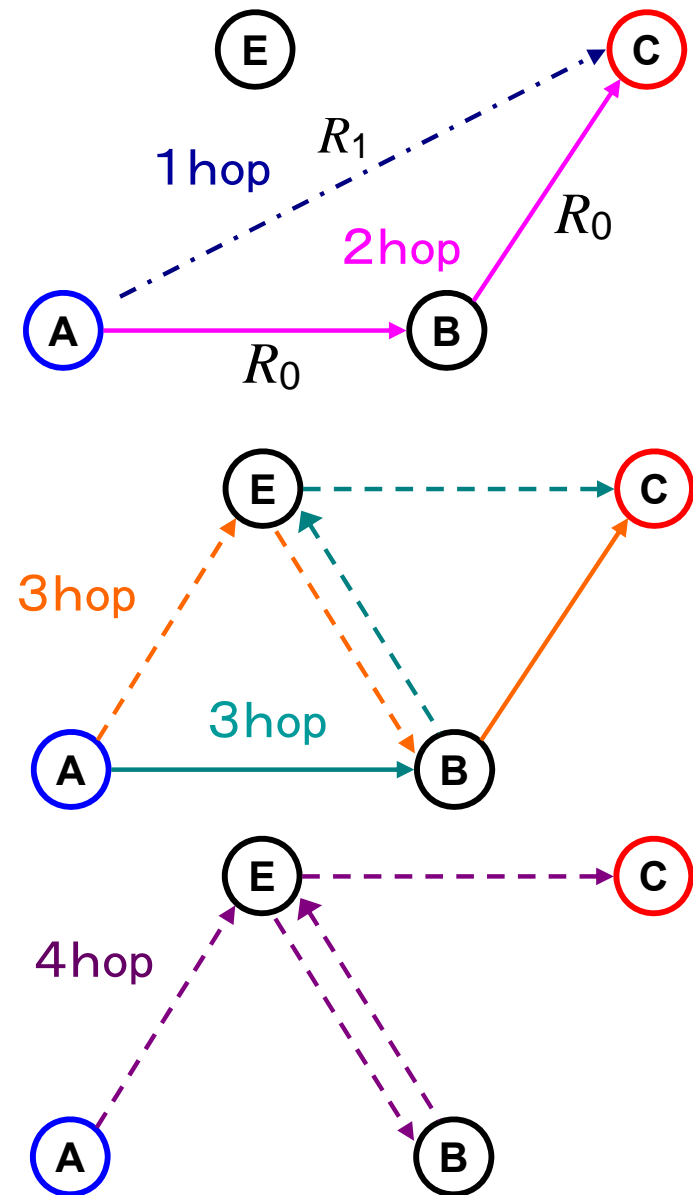
$$P_{2h} = (1 - P_{1h}) \cdot P_{pathII} = (1 - P_{1h}) \cdot P_0^2$$

■ 3ホップ (1バイパス経路) パス

$$\begin{aligned} P_{3h} &= (1 - P_{1h}) \cdot (1 - P_{2h}) \cdot P_{pathIII} \\ &= 2 \cdot (1 - P_{1h}) \cdot (1 - P_{2h}) \cdot P_0^4 \cdot P_0 \end{aligned}$$

■ 4ホップ (2バイパス経路) パス

$$\begin{aligned} P_{4h} &= (1 - P_{1h}) \cdot (1 - P_{2h})^2 \cdot P_{pathIV} \\ &= (1 - P_{1h}) \cdot (1 - P_{2h})^2 \cdot (P_0^4)^2 \end{aligned}$$





伝送成功時の平均ホップ数

- 提案法のパケット伝送成功率 P_I
- p ホップ ($p=1,2,3,4$) 経路が選択される確率 K_p
- 伝送成功時の平均ホップ数 E_h

$$E_h = \frac{\sum_{p=1}^4 K_p \cdot p}{P_I}$$

$$\left[\begin{array}{l} K_1 = P_{pathI} = P_{AC} \quad K_2 = (1 - P_{pathI})P_{pathII} = (1 - P_{AC})P_{AB} \cdot P_{BC} \\ K_3 = (1 - K_1 - K_2)(P_{pathIIIa} + P_{pathIIIb} - P_{pathIIIa} \cdot P_{pathIIIb}) \\ K_4 = (1 - K_1 - K_2 - K_3)P_{AE} \cdot P_{BE}^2 \cdot P_{CE} \end{array} \right.$$

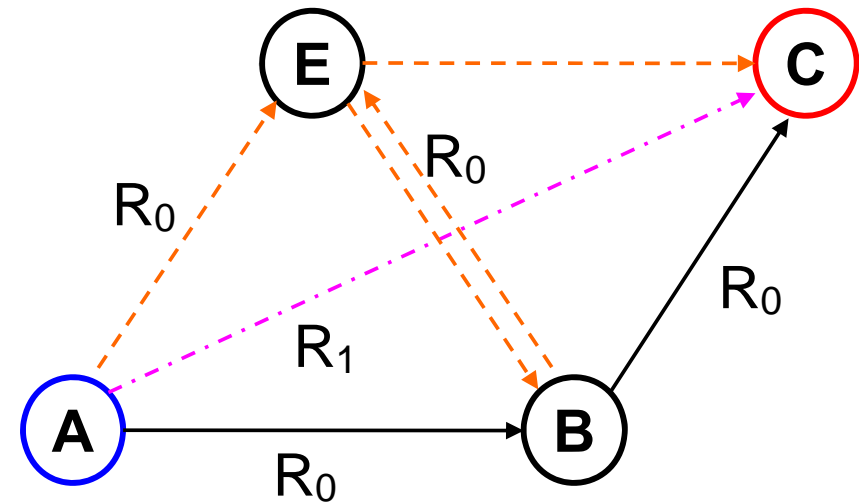


評価環境

物理層と伝搬環境の条件

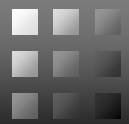
無線周波数帯	2.4 GHz
伝送速度	11 Mbps
送信電力	15 dBm
受信機感度	-81 dBm
伝搬減衰モデル	2波モデル
送受信アンテナ高	1.5 m
フェージング	レイリー

ノード配置



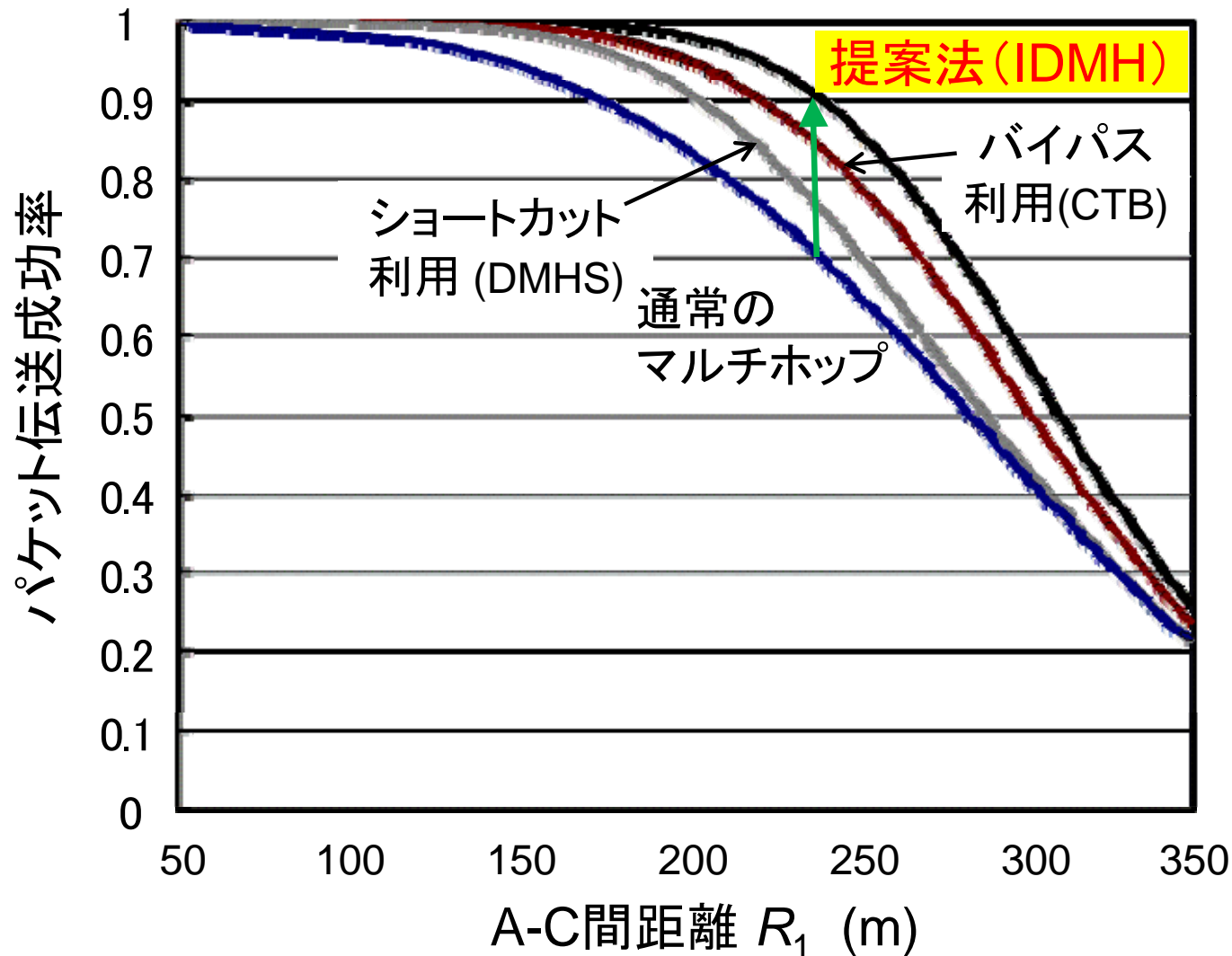
各ノードは正三角形格子上に配置され、隣接ノード間には等距離 (R_0) とする
この場合、飛越し距離は

$$R_1 = \sqrt{3}R_0$$

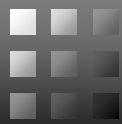


パケット伝送成功率の改善効果

- 提案法は飛越しまたはバイパス単独利用よりもさらに伝送成功率の改善が大きい。

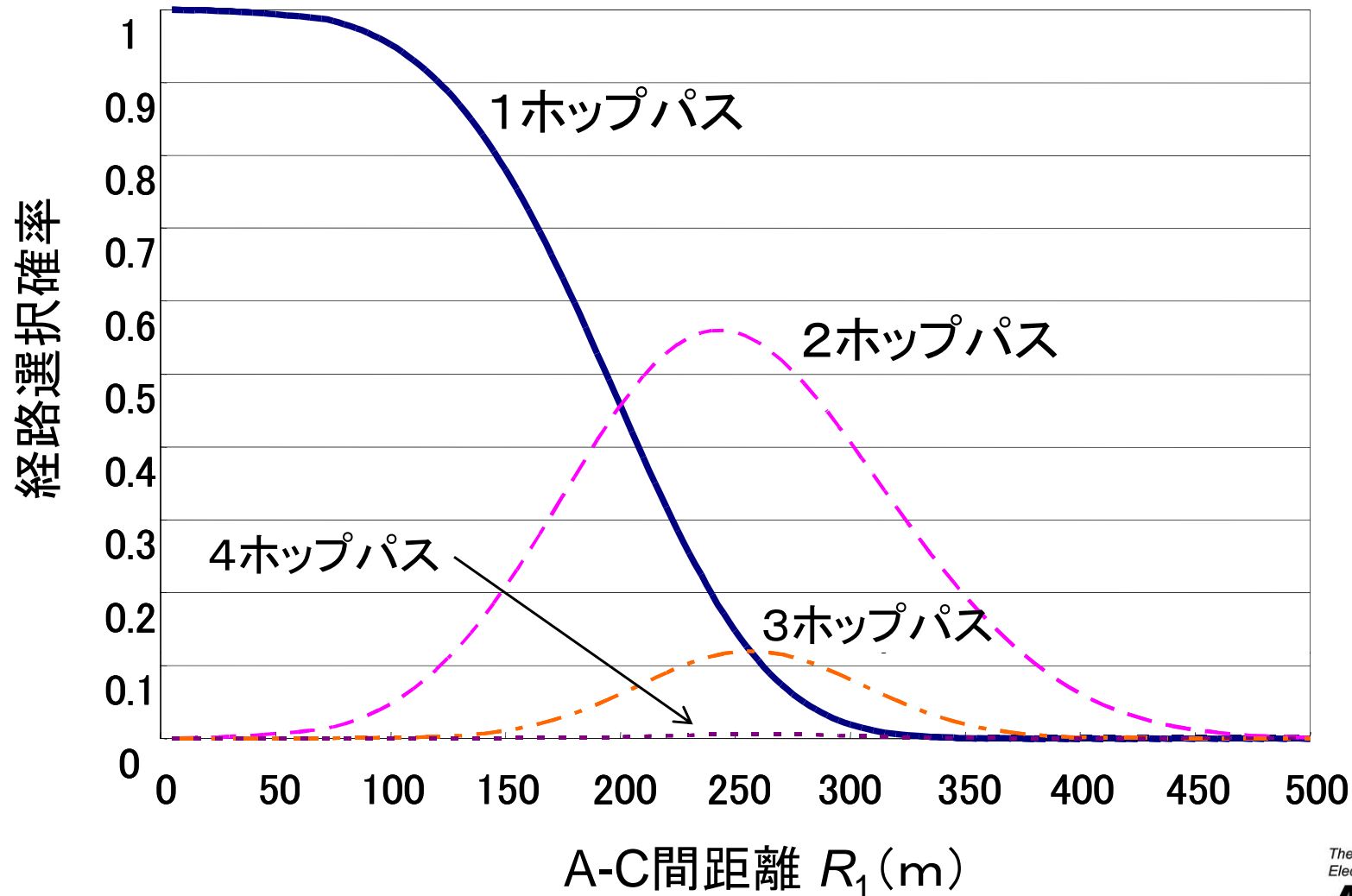


パケット誤り率を
30% から 9%
へ改善



パス選択確率

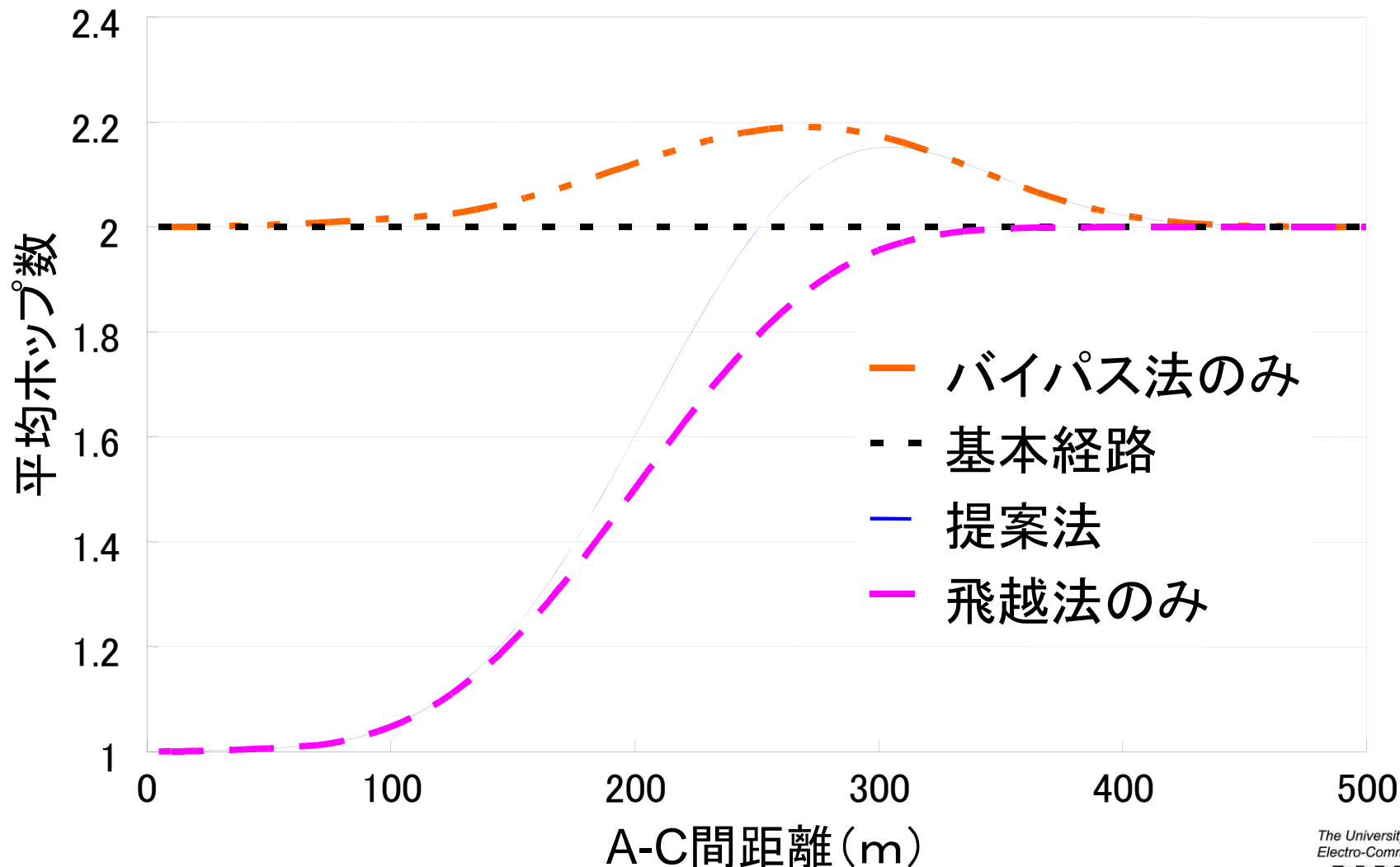
- 提案法では各距離において可能な限りホップ数の少ないパスが自動的に選択される

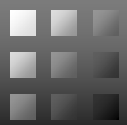




伝送成功パケットの平均ホップ数

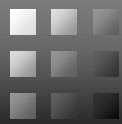
- A-C間距離0～250mにおいて平均ホップ数が減少
- パケット伝送成功率の改善も考慮するとスループットの向上が見込まれる





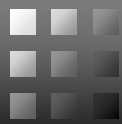
むすび

- 分散無線ネットワークにおける伝送品質と経路の関係について言及, **クロスレイヤ・コグニティブ局所パス制御**の概念を説明
- 経路飛越と経路バイパスの機能を兼ね備えた統合動的マルチホップパケット伝送法 (IDMH) を提案
 - 更なるパスダイバーシチ効果による伝送成功率の向上
 - 飛越しパスを優先させるプロトコルによる伝送遅延減少と無線リソースの節約
- これらの効果から, マルチホップネットワークにおけるスループット向上が見込まれる
- 今後はネットワークシミュレータに提案法を実装することで実際に近い様々な環境で評価



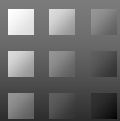
参考文献

1. 小牧省三・間瀬憲一・松江英明・守倉正博著, 無線技術とその応用3ー無線LANとユビキタスネットワーク, 小牧省三編, 丸善, 2004年.
2. C. S. R. Murthy and B. S. Manoj, *Ad Hoc Wireless Networks -Architectures and Protocols-*, Prentice Hall, 2004.
3. 小池明著, 日本海海戦と三六式無線電信機, 歴史春秋出版, 2011年
4. D. C. Cox and D. Reudink, " A Comparison of Some Channel Assignment Strategies in Large-Scale Mobile Communications Systems," Trans. IEEE Commn., Vol. COM-20, No.2, pp. 190-195, April 1972.
5. D. C. Cox and D. Reudink, "The Behavior of Dynamic Channel-Assignment Mobile Communications Systems as a Function of Number of Radio Channels," Trans. IEEE Commn., Vol. COM-20, No.11, pp. 471-479, April 1972.
6. Y. Furuya and Y. Akaiwa, "Channel Segregation, A Distributed Adaptive Channel Allocation Scheme for Mobile Land Communications Systems," DMR11, Stockholm, pp. 311-315, 1987.
7. H. Eriksson, "Capacity Improvement by Adaptive Channel Allocation", Proc. Globecom'88, 41.6, Dec. 1988.
8. S. Onoe and S. Yasuda, "Flexible Re-use for Dynamic Channel Assignment in Radio System," Proc. ICC'89, June 1989.
9. D. Johnson, and D. Maltz,, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," Mobile Computing, Chapter 5, Kluwer Academic Publishers, 1996.
10. C.E. Perkins and E.M. Royer, "Ad-Hoc On Demand Distance Vector Routing," Proc. of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, February 1999, pp. 90-100.
11. T. Clausen and P. Jacquet, "Optimized Link State Routing Protocol," IRFC3626, Oct. 2003.
12. A. Nasipuri and S.R. Das, "On-Demand Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks," Proc. IEEE ICCCN, Oct. 1999, pp. 64-70.



参考文献

13. S. Biswas and R. Morris, " Opportunistic Routing in Multi-Hop Wireless Networks," ACM SIGCOMM Computer Communications Review, Volume 34, Number 1: January 2004.
14. S. Biswas and R. Morris, " Ex-OR: Opportunistic Multi-Hop Routing for Wireless Networks," ACM SIGCOMM Computer Communications Review, Volume 35, Number 1: August 2005.
15. A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User Cooperation Diversity—Part I: System Description," IEEE Trans. Commun., Vol. 51, No. 11, pp. 1927-1938, Nov. 2003.
16. E. Beres and R. Adve, "Cooperation and Routing in Multi-Hop Networks," Proc. of the IEEE ICC 2007, June 2007.
17. C. K. Toh, "Associatively-Based Routing for Mobile Adhoc Networks," Wireless Personal Communications, Vol. 4, No. 2, pp.103-139, 1997.
18. Y. Yamao and K. Nagao, "Cognitive Temporary Bypassing for Reliable Transmission in Wireless Ad Hoc Networks," Proc. IEEE ISWCS2007, Trondheim, Oct. 2007.
19. K. Nagao and Y. Yamao, "Cognitive Temporary Bypassing for Reliable Multi-Hop Transmission in Wireless Ad Hoc Networks," IEICE Trans. Commun., Vol. E93-B, No.12, pp.3391-3399, Dec. 2010.
20. <http://www.scalable-networks.com/products/download.php>
21. Y. Yamao, Y. Kadowaki and K. Nagao, "Dynamic Multi-Hopping for Efficient and Reliable Transmission in Wireless Ad Hoc Networks," Proc. APCC2008, 16-PM-D-2-4, Tokyo, Oct.2008.
22. 門脇裕介, 木田祐太郎, 山尾泰, "ワイヤレスマルチホップ環境における動的経路飛越法のシミュレーション評価," 信学技報, RCS2009-268(2010.3).
23. Y. Yamao, Y. Kida and Y. Kadowaki, " Cross-Layer Multi-Hopping Scheme for Efficient and Reliable Transmission in Fading Environment," Proc. IEEE VTC2010-Fall, Ottawa, Sept. 2010.
24. 山尾泰, 木田祐太郎, 門脇裕介, "経路飛越とバイパスを併用した高効率・高信頼クロスレイヤ・マルチホップパケット伝送法," 信学技報, RCS2010-53(2010.7).



ご静聴
ありがとうございました



UEC Tokyo

