

有線ネットワークにおける 無線ネットワークのデータ到達性エミュレーション技法

Data Delivery Nature Emulation Technique of Wireless Network on Wired Network

高島 大裕	Motohiro Takashima	北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
磯崎 直樹	Naoki Isozaki	"
宮地 利幸	Toshiyuki Miyachi	"
知念 賢一	Ken-ichi Chinen	"
篠田 陽一	Yoichi Shinoda	北陸先端科学技術大学院大学 情報科学センター

概要 本稿では、無線ネットワークで用いられるアプリケーションやプロトコルの実行環境として広く用いられている有線ネットワークで無線ネットワークをエミュレーションする方法を提案する。本手法はイーサネットフレームレベルのエミュレーションを実現しているため、アドホックネットルーティングプロトコルに対応するなど、W-NINE等の従来手法に比べエミュレーション対象が広い。

1 はじめに

近年、無線通信は広く普及し、携帯電話や無線LANのユーザ数が、著しく増加している。また、モバイルコンピューティングの発達により、自律的にネットワークが構成されるアドホック無線ネットワークが注目されている。そのため、多種多様な無線通信を用いたアプリケーションやプロトコルが、開発されている。これらのアプリケーションやプロトコルは最終的に目標となる実際の機材をプラットフォームとして稼働することになるが、対象となる機材やソフトウェアの整備が必要である。これらの手間が開発の妨げとなっており、手間を省く簡易な実験環境が求められている。

仮想的な無線環境が実現できれば、これらの機材やソフトウェア整備の手間を軽減、あるいは時期を移すことができる。本研究では汎用的な有線インターネットを用いて、無線イーサネット上のTCP/IP通信のエミュレーションを実現する。ネットワーク層の挙動も含めたエミュレーションを想定し、イーサネットフレームのフィルタリングによって無線イーサネットの到達性を変化させる。

先行研究にはIPレベルのエミュレーションW-NINE [5]がある。これはアプリケーション層やトランスポート層の実験を目的としており、アドホックネットワークのルーティングプロトコル等のエミュ

レーションの実現は困難である。

本研究は、開発したアプリケーションやプロトコルを稼働させる環境を構築することが目的である。ns-2 [1]に代表されるような、通信行為を全てシミュレーションするソフトウェアシミュレータとはアプローチが異なる。

本稿では、有線ネットワークと無線ネットワークの比較、無線ネットワークのエミュレーション技法とその実装を述べる。そして、到達性変更の検証実験、アドホックルーティングプロトコルの動作例を紹介する。

2 無線ネットワーク

本章では、本研究のエミュレーション対象である無線ネットワークについて述べる。

2.1 想定する無線ネットワーク

今回想定する無線ネットワークは、現在普及しているIEEE 802.11bとし、ネットワークの形態は、基地局等を必要としないアドホックネットワークを想定する。この無線アドホックネットワークではノードとノードが直接通信を行う。想定する無線ネットワークのトポロジの例を、図1に示し、以下に特徴を挙げる。

- ノードAの無線の伝送可能範囲にノードB, Dが含まれ、ノードAからのデータはノードB, Dに届く。ノードCは伝送範囲外でデータは届か

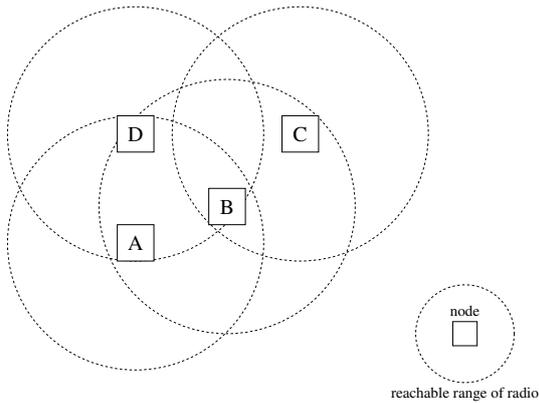


図 1: 無線ネットワークのトポロジ例

表 1: ノード間のデータの到達性

	A	B	C	D
A	-		x	
B		-		
C	x		-	x
D			x	-

ない。表 1 は、図 1 の無線環境における各ノード間のデータの到達性を表す。送信ノードからデータが到達する組合せは、データが到達しない組合せは x で表す。

- ノード A の無線の伝送範囲内に存在するノード B, D だけにノード A からの ARP 等のデータを到着させる必要がある。これは、データの到達性がネットワーク層に関係するのではなく、リンク層に関係するためである。
- ノードは移動する。そのため、表 1 では、ノード A-C 間でデータは直接到達できないが、ノードが移動することで通信ようになる可能性がある。そのため、全ノードで他のノードへの到達性を再計算し、伝送可能範囲に達すると通信が可能になるシステムの実装が必要である。

2.2 有線ネットワークとの相違点

無線ネットワークのエミュレーション環境を構築するため、有線ネットワークとの相違点を考えねばならない。以下に相違点を示す。

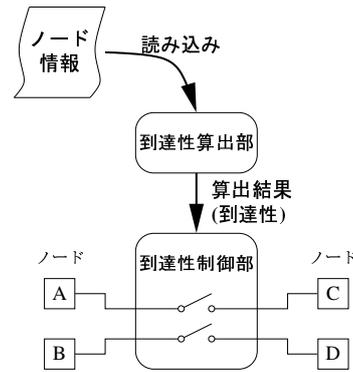


図 2: システム構成

データの到達性の偏在 電磁気学的特性 (位置, 距離, 障害物, 大気状態) によりデータの到達性が変化する。

帯域 無線通信に使用できる周波数は限られているため、実行帯域は比較的狭い。

コリジョン コリジョン検知・再送の方法が異なる。

これらのうち、無線ネットワークのエミュレーション環境として最も重要なのはデータ到達性の変化であろう。以下、データ到達性の変化を中心に説明する。

3 設計

システムは到達性算出と到達性制御で構成される (図 2)。到達性算出部は各ノードや全体の情報を元に、各時刻における各ノード間の到達性を算出する。前述のように、無線ネットワークにおける到達性変化のエミュレーションを実現する実験環境構築が本研究の目的であり、到達性の厳密な算出は本研究の次の段階の目的である。そして、ネットワーク層の視点ではイーサネットフレームが到達できるかどうかの 1 ビットの情報量のみを必要とする。したがって、今回は単純な到達性計算で目的を達成できる。そこで、位置からユークリッド距離を算出して、到達性を導出した。

到達性制御部は算出された到達性に従ってイーサネットフレームを破棄する。

各ノードを同じネットワークに接続すると、あるノード X の送出するイーサネットフレームが別のノード Y に直接届く (制御なし) 可能性がある。そこで、ノード X と Y が同じネットワークに所属しない

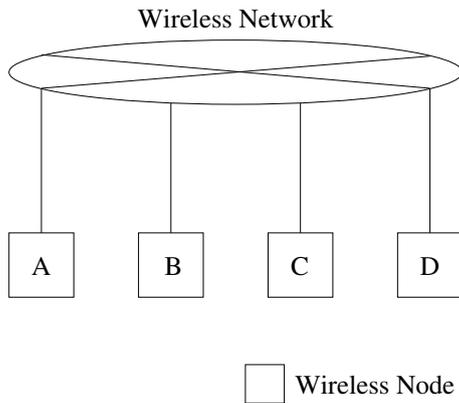


図 3: 想定する無線ネットワークトポロジ

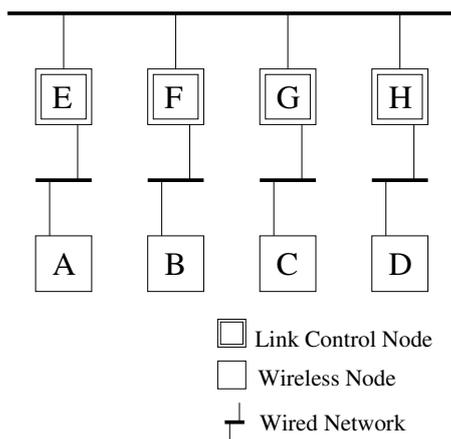


図 4: エミュレーション装置のトポロジ

形態にする必要がある。そして、あるノードから見てイーサネットフレームが実際に到達しない状況をつくり出すためには、ノードの外にフィルタリング機構を設置せねばならない。したがって、図 3 のような無線ネットワークは、図 4 のような装置構成でエミュレーションを行う。図中の Link Control Node(LCN) がイーサネットフレームのフィルタリングによりリンクを制御するプログラムである。各ノードに対して LCN が一つずつ割り当てられる。

例えば、表 1 の場合、ノード A は、ノード B, D にはイーサネットフレームを送信可能だが、ノード C には送信不能である。ノード A に接続された LCN E が、表 1 に基づいたノード A と他ノードとの到達性の情報を持ち、その情報に基づいてイーサネットフレームの転送を行う。この場合では、LCN E が LCN F, H を介してノード A, と B へイーサネットフレー

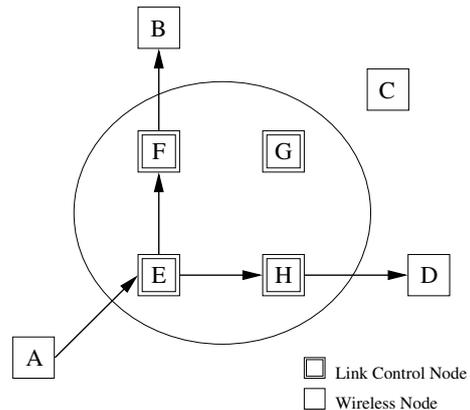


図 5: フレームの流れ

ムを送信する(図 5)。この処理を LCN で行うことにより、無線ネットワークのエミュレーションが実現される。

また、前章で述べたように、本実験環境の仕様として、送信ノードと受信ノード間をイーサネットフレームによって通信するシステムとする必要がある。イーサネットフレームを全てのノードに届ける方法として、今回は UDP トンネルを用いた。イーサネットフレームが UDP でカプセル化される様子を図 6 に示す。ノード A からノード B にデータを送信する場合、LCN E でイーサネットフレームを UDP でカプセル化し、LCN F へ送信する。LCN F で UDP ペイロードからイーサネットフレームを取り出し、ノード B にイーサネットフレームで送信する。これにより、イーサネットフレームによって全てのノードと通信できる。また、UDP トンネルは、特定のノードに向けて、イーサネットフレームを含めたデータグラムをユニキャストで送信する。そのため、特定のノードにのみイーサネットフレームの転送が可能となり、イーサネットフレームが到達できるノードを変化させることができる。上記の LCN E と F での処理を行うプログラムをそれぞれ encap, decap と呼ぶ。エミュレーション全体では図 7 のような配置となる。encap でイーサネットフレームを UDP ペイロードにカプセル化を行い、decap で UDP ペイロードからイーサネットフレームを取り出す。これにより、ノード間でイーサネットフレームを送受信でき、またそのイーサネットフレームが受信できるノード

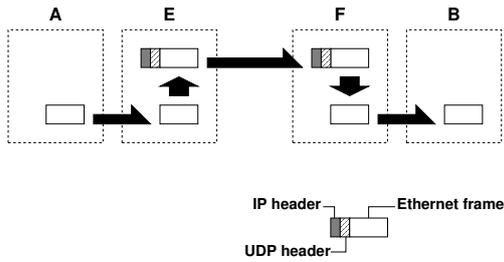


図 6: カプセル化

を変化させる環境を構築できた。

次に、エミュレーションの手順について示す。

1. 各時刻による各無線ノードの位置を決定
2. 位置から各無線ノード間の距離を時刻毎に算出
3. 算出した距離からデータの到達性を算出
4. 各 LCN へ通信ノードの到達情報を送信
5. 各 LCN の時刻を 0 にする
6. 各 LCN で decap を起動
7. 各 LCN の時刻を一つ進める
8. その時刻の到達情報をもとに encap を起動
9. 7 へ戻る。

これにより、ノードの到達性は、時刻ごとに变化させることができる。

4 実装

到達性算出部は perl で作成した。

到達性制御部の LCN の要素となる encap と decap は UNIX 上で C 言語を用いて実装した。イーサネットフレームの受信には libpcap [9] を用いた。libpcap の拡張を行うことにより、libpcap でイーサネットフレームの送信を行えるようにした。なお、この二つのプログラムは FreeBSD と Linux で動作確認済である。実ノードのエミュレーションの進行は、kuroyuri [8] を用いて行う。kuroyuri は、StarBED Project [8] により開発された実験支援システムの一つである。

5 評価

5.1 データの到達性の変化

無線ノードの移動に伴った到達性の変化を確認する実験を行った。無線ノードを移動させ、その到達性を計測する(図 8)。ノードは、矢印の向きに移動

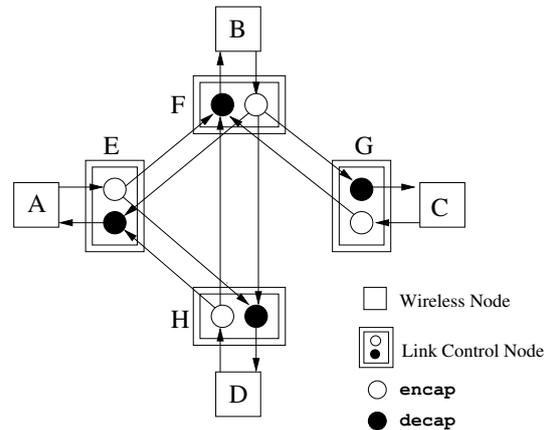


図 7: ソフトウェア配置

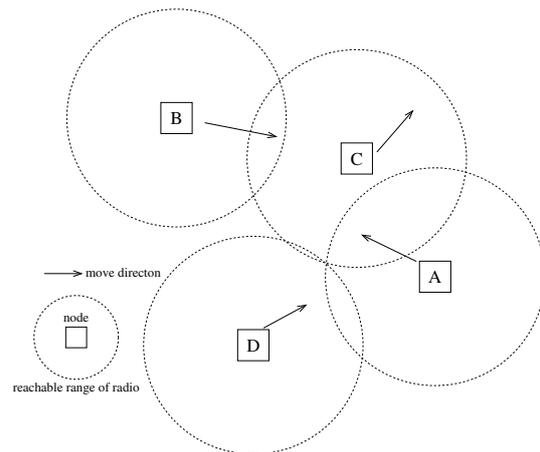


図 8: テストポロジ

し、ノード間の距離を変化させることでデータの到達性も変化する。実験諸元を表 2 に示す。

ノード A からノード B, C, D に ICMP を送信し、それぞれのノードで通信を観測することで、到達性の変化は確認した。そのため、前述のエミュレーション手順に ICMP を送出する以下のステップを追加して行った。

9. 各通信ノードから全通信ノードへ向けて ping を実行 (ICMP 送出):10ms 間隔
10. ping の結果を記録
11. 7 へ戻る

図 9 は、送信ノード A から受信ノード B へ ICMP を送信した結果である。同様にノード A からノード C と D に送信した結果を、それぞれ図 10 と図 11 に

表 2: 実験諸元

ノード数	4 [台]
データの最大到達距離	150 [m]
移動範囲	500 x 500 [m]
ノードのスピード	0 ~ 5 [m/s]
移動モデル	random walk
実験時間	100 [s]

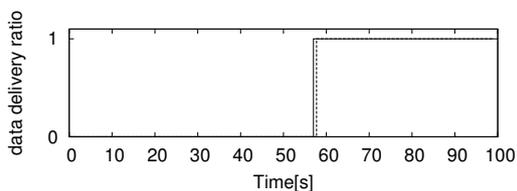


図 9: A-B 間の ICMP 応答

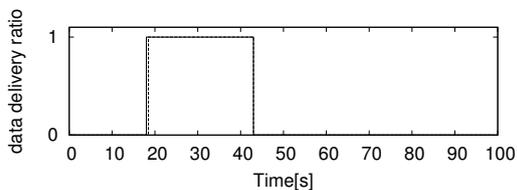


図 10: A-C 間の ICMP 応答

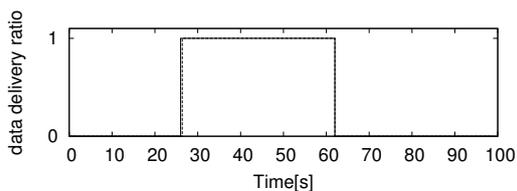


図 11: A-D 間の ICMP 応答

示す。実線は想定値を示し、破線は測定値を示す。3つの結果において、想定値と測定値がほぼ同じ値を示しているため、ノード間の距離による無線イーサネットの到達性変化のエミュレーションが成功したとみなせる。しかし、最初にノードB, C, DがノードAの伝送範囲内に入った時の想定値と実測値の時刻の間にずれがあった。

これは、最初の一部のICMPが届かなかったことを示す。このずれは、送信元ノードがARPによるアドレス解決に要した時間である。想定している無線ネットワークでも、ARPによる受信先のMACア

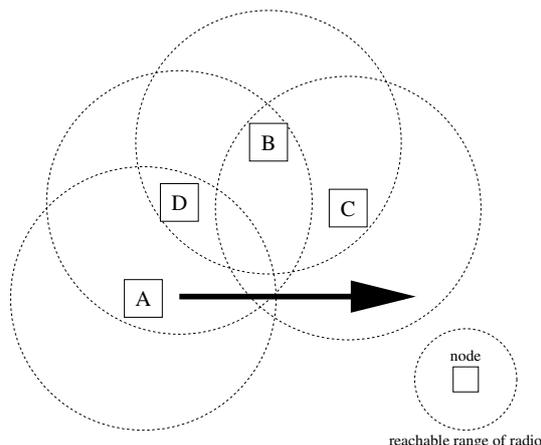


図 12: アドホックネットワークの実験トポロジ

表 3: アドホックネットワークの実験諸元

ルーティングプロトコル	AODV
ノード数	4 [台]
データの最大到達距離	150 [m]
ノードのスピード	4 [m/s]
実験時間	75 [s]

ドレス解決が行われるので、このずれは正常であり、ずれを除去する工夫は不要である。

5.2 アドホックルーティングプロトコルを用いた実験

この実験では、今回提案した実験環境で、実際に使用されているプロトコルやアプリケーションの動作の検証を行う。アドホックネットワークのルーティングプロトコルは、Ad-hoc On Demand Distance Vector (AODV) [10] を用い、図 12 のような、トポロジで実験を行う。表 3 に実験諸元を表す。

本実験では、ノード A に FTP (File Transfer Protocol) サーバを起動し、ノード B からノード A のファイルを FTP によって取得する。ノード A は移動するため、最初はノード D を介してファイルを取得する。途中でノード D と接続が切れるため、経路が変わりノード C を介してファイルの取得を行う。全てのノードで、tcpdump を動作させ、結果を取得する。この結果よりファイルの取得経路の変化を確認した。これにより、今回提案する実験環境で、ネットワーク層以上のプロトコルやアプリケーションの動作に

ついて、確認できた。

6 議論

本論文では、電波の到達性の変化の要因を距離のみに限定したが、それ以外の要因として、フェージング、障害物、気象条件、移動に伴うドップラ効果が知られている。フェージングへの対応は今後の課題である。無線イーサネットは主に屋内の近距離用途に限られるため、気象条件やドップラ効果は考慮する必要はない。現実の障害物の種類や数は様々であり、一般的な障害物モデルを設けることは困難である。多くの研究では障害物がない状況を想定しており、本研究でも障害物の影響は除外した。一般的な障害物モデルが確立されれば適用できるだろう。

また、有線ネットワークと無線ネットワークでは帯域やコリジョン検出に違いがある。これらも今後の課題である。

7 まとめ

無線ネットワーク向けに開発された実際のアプリケーションやプロトコルを容易に稼働させる実験環境が求められている。本研究では、その一つの解として有線イーサネットによる無線イーサネットのエミュレーション手法を提案した。イーサネットフレームのフィルタリングにより、データ到達性が変化するという無線ネットワークの特性を模倣する。本手法を組み込んだエミュレーション環境で、ICMPの到達性の変化や、アドホックルーティングプロトコルの動作など、本手法の効果を確認した。本手法は無線ネットワークの簡易な実験環境として有用である。

フェージングやコリジョン等の無線ネットワークの特性を忠実に再現することが今後の課題である。

参考文献

- [1] L. Breslau, D. Estrin, K. Fall, S. Floyd, J. Heidemann, A. Helmy, P. Huang, S. McCanne, K. Varadhan, Y. Xu, and H. Yu, *Advances in Network Simulation*, IEEE Computer, 33(5), May 2000.
- [2] 北陸 IT 支援センター
<http://www.hokuriku-it.nict.go.jp>
- [3] B. White, J. Lepreau, L. Stoller, R. Ricci, S. Guruprasad, M. Newbold, M. Hibler, C. Bard and A.

Joglekar, An Integrated Experimental Environment for Distributed Systems and Networks, *Proceedings of PADS '98*, May 1998.

- [4] Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: High Speed Physical Layer Extension in the 2.4GHz Band, *IEEE Std 802.11b*, 1999
- [5] T. Perennou, E. Conchon, L. Dairaine and M. Diaz, Two-Stage Wireless Network Emulation, *Proceedings of The 2004 Workshop on Challenges of Mobility*, April 2004.
- [6] L. Rizzo, Dummynet: A Simple Approach to the Evaluation of Network Protocols, *ACM Computer Communication Review*, 27(1), January 1997.
- [7] M. Carson and D. Santay, NIST Net: A Linux-based Network Emulation Tool, *ACM SIGCOMM Computer Communications Review*, 33(3):111-126, 2003.
- [8] KUROYURI, StarBED Project,
<http://www.starbed.org/>.
- [9] libpcap, Lawrence Berkeley National Labs Network Research Group, <http://ftp.ee.lbl.gov/>.
- [10] C. Perkins and E. Royer, Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing, *Proceedings of 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, February 1999.

Copyright Notice:

Copyright ©WIDE. All Rights Reserved.
This paper appeared on WIT2004
(Tatsukuchi, Japan, Dec.14-15, 2004.)