

モバイルアドホックネットワークミドルウェアの システム評価用環境構築に関する検討

佐藤 善宣[†] 石原 進^{††} 水野 忠則[†]

[†] 静岡大学情報学部

〒 432-8011 静岡県浜松市城北 3-5-1

^{††} 静岡大学工学部

E-mail: †{satoh,mizuno}@mizulab.net, ††ishihara@ishilab.net

あらまし 無線通信装置、携帯端末の普及とともに様々なアドホックネットワーク (MANET) 用のソフトウェアが考案されている。MANET ソフトウェアはマルチホップ通信、トポロジ変化によって動作が影響されるものがほとんどであり、システム評価を行う際にもこれらと同じ動作を発生させなければならない。しかしながら、これらを実現するには労力、場所が必要であり、容易に実験・評価が行えない原因となっている。本稿では、これらの問題を解決するために、端末の電波強度制御による手法及びネットワークエミュレーション用端末を用いた手法を提案する。また、電波強度制御によるエミュレーションを実現するために、無線 LAN を用いた基礎実験により、その実用性を検討した。

キーワード アドホックネットワーク, IEEE802.11b, モバイル, システム評価, エミュレーション

Two emulation based methods for evaluating mobile adhoc network middleware

Yoshinori SATOH[†], Susumu ISHIHARA^{††}, and Tadanori MIZUNO[†]

[†] Faculty of Information, Shizuoka University

Johoku 3-5-1, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 432-8011 Japan

^{††} Faculty of Engineering, Shizuoka University

E-mail: †{satoh,mizuno}@mizulab.net, ††ishihara@ishilab.net

Abstract In this paper we propose two emulation methods for evaluating software for mobile ad hoc networks(MANET). The behaviors of software for MANET are effected by the changes of the network topology caused by the movements of nodes and obstacles. Although evaluating of such software requires the changes of the topology of ad hoc network, it is a hard task in practical environments. Our emulation methods are based on i) controll of the strength of electric wave, ii) a topology emulation station. These methods lighten the load to change the topology on practical wireless MANET. We confirmed the practicality of the former method by fundamental experiments.

Key words Ad Hoc Network, IEEE802.11b, Mobile, System Evaluation, Emulation

1. はじめに

近年、ノート PC や PDA などの携帯端末、無線 LAN や Bluetooth [1] などに代表される無線通信装置の発展・普及に伴い、端末同士が基地局を介さずに通信し、特定の場所に集まった携帯端末同士が一時的に構築するネットワークであるモバイルアドホックネットワーク (MANET) の構築が現実的なものとなってきた。

MANET には、ノードの移動が自由、ネットワークへの参加・離脱が自由、直接通信できない端末とも他の端末を経由して通信可能 (マルチホップの通信) といった特徴があり、現在 MANET の特徴を活かしたソフトウェア、アプリケーションや、ミドルウェア [2] [3]、ルーティングプロトコル [4] [5] など様々なものが考案されている。これらは、以下のような特徴を持っている。

- マルチホップ通信を前提とする。
- トポロジ変化によって動作が影響される

MANET ソフトウェアに限らず、ソフトウェアの開発においては、アルゴリズム設計・コーディングの各段階における動作検証が不可欠である。通常、ソフトウェアの基礎となるモデル (アルゴリズムなど) の段階で、シミュレーションによる評価が行われる。この後、完成した実際のソフトウェアを実環境を動作確認する。

シミュレーションによる評価は、特に MANET を想定した環境では、マルチホップ通信、トポロジ変化を容易に実現できるため、実験・評価が容易に行える利点がある。しかし、実際の端末、無線通信装置、ソフトウェアを使用しないため、起こりうる障害を見落とす可能性がある。

一方、実システムによる評価は、実際の端末、無線通信装置、ソフトウェアを使用するのでシミュレーションによる評価では発見できなかった問題を見つけ、それを解決する対策を講じることができる。しかし、マルチホップ通信、トポロジ変化を実現するのが、労力を伴うため、実験・評価が容易に行えない。

シミュレーションによる評価、実システムによる評価、それぞれに一長一短がある。現実のソフトウェアを評価する上では、理想としては実システムでの評価を行うことが好ましいが、先にも述べたとおり、マルチホップの通信・トポロジの変化を起こすのが困難であるため、実験・評価を容易に行うことができない。

本研究では MANET ソフトウェアのシステム評価

を容易に行うために、シミュレーションによる評価と実システムによる評価のそれぞれの利点を活かしたエミュレーションによる評価により実験・評価を行うことを検討する。本稿では、「電波強度制御によるエミュレーション」と「トポロジエミュレータによるエミュレーション」の2つのエミュレーション手法を提案し、実験に基づくその実用性の検証を示す。

以下、2章で MANET の特徴と MANET ソフトウェアに対する従来のシステム評価手法としてシミュレーションによる評価と実システムによる評価の利点・欠点について述べる。3章で2章で挙げた利点を活かし欠点を補うエミュレーションによる評価手法として、「電波強度制御によるエミュレーション」と「トポロジエミュレータによるエミュレーション」の2つの提案手法を示す。4章で電波強度制御によるエミュレーションについて基礎実験について述べた。5章ではこれに基づいては電波強度制御によるトポロジエミュレーションの実現性を検討する。最後に6章でまとめて今後の課題を示す。

2. MANET ソフトウェアの評価方法

2.1 MANET

MANET は既存の有線ネットワークとは違った特徴を有する。ノードとなる端末は携帯無線端末であるので、ノードは自由に移動可能である。それに伴い、ノードはネットワークへ自由に参加・離脱が可能である。また、自分が直接通信したい相手と通信不可能である場合にも、他の端末を経由して通信することが可能である (マルチホップ通信)。マルチホップ通信を行う条件下でノードの移動、ネットワークへの参加・離脱、障害物や通信上の障害によって、トポロジが様々な変化するという特徴も持っている。(図1)

MANET における調停端末の動的再配置 [2] は、ノードの移動、ネットワークへの参加・離脱によるトポロジの変化によって、特定の機能をノード間で移動させる仕組みを提供し、MANET における端末の位置を考慮した複製配布方式 [3] は、MANET 上のあるノードが保持している情報を、周辺のノードに複製する機能を実現する。DSR [4] AODV [5] などのルーティングプロトコルは MANET 用のルーティングプロトコルであり、トポロジの変化を検知して、必要なときに目的のノードまでの経路を探索することができる。

ソフトウェア開発においては、実環境における動

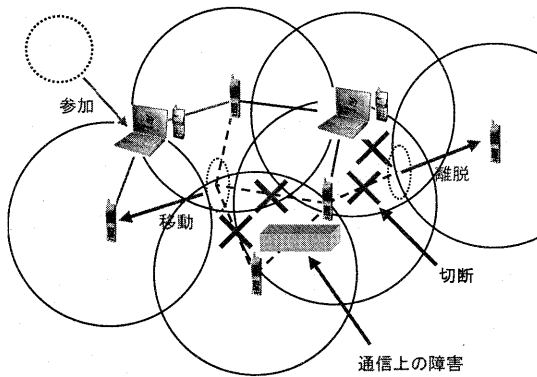


図 1 モバイルアドホックネットワーク (MANET)

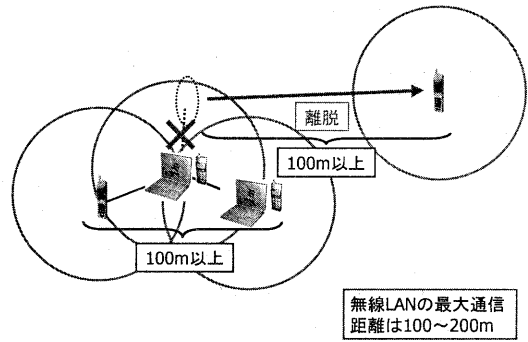


図 2 無線 LAN による MANET 構築

作検証が必要不可欠である。MANET ソフトウェアにおいては、マルチホップでの通信、トポロジの変化に対応した動作が最も大きな特徴であり、これらが起こらない環境ではその特徴が活かされず、システムを評価したことになる。よって、MANET ソフトウェアの評価を行う上ではこれらの条件が満たされる必要がある。

以下、MANET ソフトウェアにおけるシステム評価について述べる。

2.2 シミュレーションによる評価方法

シミュレーションによる評価方法では、実際のソフトウェアではなく、その途中の段階であるモデル(アルゴリズム等)を用いて評価を行う。この評価方法では、コンピュータ上でノード数、移動距離、通信範囲、障害物等の環境を想定し、想定したシナリオに従ってノードの移動、トポロジの変化などの動作をさせる。

この評価方法では、MANET ソフトウェア評価の前提であるマルチホップ通信やトポロジ変化といった動作はコンピュータ上でシナリオに従って仮想的に再現するので、実験・評価を行うのに労力はかからない。実験のために必要な場所もコンピュータを置くスペースだけであるため、比較的容易に実験・評価が行える。特に MANET ソフトウェアの評価には NS2 [6] 等のシミュレータが広く用いられている。

しかし、シミュレーションで評価できるのはあくまでもモデルであり、実際のソフトウェアではない。モデルでの評価が万全であっても、実際にソフトウェアにするにあたって、新たに障害が発生する可能性もあり、ソフトウェア自体のバグが混入するため完全な評価が行えない。更に、実際の端末や無線通信装

置を用いていないために、想定環境から逸脱した状況においては予期せぬ障害が発生する可能性がある。

2.3 実システムによる評価

実システムによる評価では、ノードとして無線通信装置を装着した端末を用い、これらの位置を動かしながら、実際のソフトウェアを動作させて評価を行う。

この方法では、シミュレーションによる評価の欠点であった、予期せぬ障害の発見が可能であり、それに対して対策を立てることができる。しかしながら、実システムで評価を行うためには、多数の端末や障害物を実際に用意しなければならない。更に MANET ソフトウェアを評価するにあたっての前提であるマルチホップの通信とトポロジの変化を発生させるには、広い場所と労力を要する。

実験を行う際には、ノード数と同じ数だけの無線通信装置と端末を用意し、ノードを移動させるために端末を人が持って移動せねばならない。例えば、図 2 のように、無線通信装置として無線 LAN (IEEE802.11b) を使用した場合、その通信距離は伝送速度 11Mbps の通信時に屋外で最大 100m~200m 程度の距離まで通信可能である、これによって MANET を構築した場合、2 ホップの通信を行う場合でも、端末間の距離に 200m 以上を必要とし、ノードがネットワークに参加・離脱する場合にも 200m 必要となる。

つまり、実験の際には、ノードの移動のために端末を持っている人が実際に 200m 以上歩く必要がある。さらに、ノードがネットワークに参加することを実現するためには、200m 以上離れた人に移動するよう指示をする必要がある。

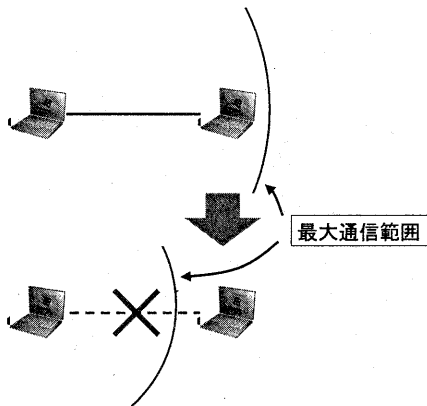


図3 電波強度制御

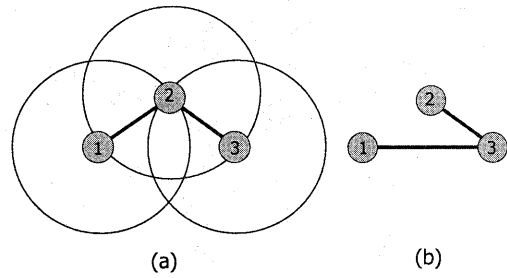


図4 初期位置による実現不可能なトポロジ

3. エミュレーションによる MANET ソフトウェアの評価

実働するソフトウェアのシステム評価では、実環境で評価を行うことが好ましい。しかし、MANETはトポロジの再現が困難という理由により、容易に実験を行うことができないため、シミュレーションによる評価では、モデルの動作検証しかできない。

そこで、本研究ではシミュレーションによる評価の利点と実システムによる評価の利点を利用に注目し、それぞれの欠点を補ったエミュレーションによる評価について検討する。エミュレーションによる評価では、端末、無線通信装置、評価対象のソフトウェアは実際のものを使用し、トポロジのみをエミュレートによって再現する。

3.1 電波強度の制御によるエミュレーション

この方法では、マシン、デバイス、OS、ソフトウェアは実際のものを使用する。この方法では、無線通信装置における電波の最大通信距離を動的に変化させることで端末の移動を疑似的に再現する(図3)。さらに、電波強度をシナリオで変化させることでトポロジを変化させる。

電波強度を制御すれば、無線通信装置の最大通信範囲を変化させることが可能となる。このため、マルチホップの通信をするのに必要とされる距離が短くなり、実験・評価用のネットワーク構築に必要な面積が小さくなる。また、電波強度の制御によってノード間の接続性を意図通りに制御できれば、ノードの移動のために実際に端末を移動させなくてもよいので、実験・評価のための労力が減少する。

一方、ノードとなる端末や障害物を実際に用意する必要がある問題や、ノードの初期位置によっては

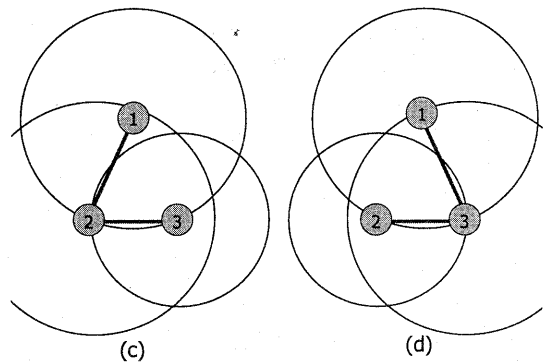


図5 図4のトポロジ変化を実現できる初期位置

実現不可能なトポロジが存在するといった問題は避けられない。例えば、初期トポロジが図4(a)のような場合、(b)のようなトポロジを実現することは電波強度をどのように制御しても不可能である。よって、実験・評価の効率をよくするための端末の初期位置について検討する必要がある。

例を挙げると、図4(a)のように1→2→3と繋がっているトポロジを(b)のように1→3→2と変化させたい場合、端末を図5(c)、(d)のように鋭角二等辺三角形形状に配置すれば、図4の配置ではできなかったトポロジの変化を実現することができる。

本手法では電波強度を意図的に変更するので、電波強度自体を制御するルーティングプロトコル[7]は評価できない。さらに、提案手法では片方向リンクはノード間の通信の切断を想定しているため、片方向リンクでも通信可能なプロトコル[8]の評価もできない。

表 1 MANET におけるシステム評価の利点・欠点

| システム評価方法 | 実際のハードウェア、ソフトウェアを使用するか | 実験・評価の容易 | トポロジ | 評価に必要な面積 | 必要な人員 | 必要な労力 | 動作保証 |
|-------------------|------------------------|----------|-----------------------|----------|-------|-------|------|
| シミュレーションによる評価 | 全く使用しない | 容易 | 仮想 | 狭い | 小 | 小 | × |
| 実システムによる評価 | 全て実際のもの | 困難 | 実際 | 広い | 大 | 大 | ◎ |
| 電波強度制御によるエミュレーション | 全て実際のもの | 普通 | ほぼ実際(初期位置でトポロジが限定される) | 中 | 中 | 中 | ○ |
| トポロジエミュレータ | 無線通信装置は使用しない | 容易 | 仮想 | 狭い | 小 | 小 | △ |

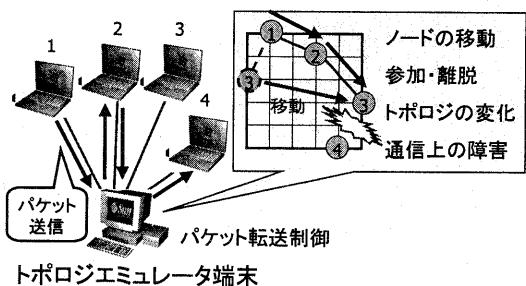


図 6 トポロジエミュレータ

3.2 トポロジエミュレータによるエミュレーション

この方法では、MANETのノードとなる端末をトポロジエミュレータ端末に有線接続し、トポロジエミュレータ端末内で、ノードの移動、ネットワークへの参加・離脱、トポロジの変化、通信上の障害などを再現し、シナリオによって仮想的な位置を制御する(図6)。トポロジエミュレータ内はノードの仮想的な位置関係に応じて実際の端末へのパケット転送の可否を制御する。通信路の通信品質をしたい場合、トポロジエミュレータによって疑似的な遅延を発生させる。

この方法では、シミュレーションによる評価とほぼ同じ方法でトポロジを実現するので、ほぼ全てのトポロジが再現可能である。更に、トポロジの再現のための場所や労力が大幅に縮小されるといった利点もある。しかし、実際に無線通信装置を使用しないため物理層・データリンク層の動作の再現は困難である。例えば、無線LANネットワークではCSMA/CAによる制御を行わないことや、隠れ端末問題・さら

し端末問題といった問題は起こらない。

以上の従来研究におけるシステム評価手法と提案手法について、表1にまとめる。

4. 基礎実験

電波強度制御によるエミュレーションの実現性を実験により検証した。電波強度制御によるトポロジのエミュレーションを行う上では、端末の位置と電波強度、および接続性の関係を明らかにしておく必要がある。

4.1 実験方法

実験ではCiscoのIEEE802.11b対応無線LANカードAironetを使用した。Aironetは、送信電力が1, 5, 20, 30, 50mWの5段階に変化させることが可能である。

Cisco Aironetの無線LANカードを装着したノートPC 2台を用いて、屋外で端末間距離、送信電波強度を変化させて、パケットロス率、スループットを測定した。

片方の端末を固定端末、もう一方の端末を移動端末とし、無線LANカードのアドホックモードで通信させた。固定端末の送信電力を50mW(最大)、ビットレートを11Mbps(最大)と固定し、地面から1mの高さの位置に配置した。移動端末はビットレートを11Mbps(最大)と固定し、0mから200mまで、20mごとに送信電力をそれぞれ変えながら、実験者が手に持ちながら、パケットロス率とスループットを測定した。

各送信電力毎に、パケットロス率が100%になる端末間距離まで測定を行った。パケットロス率は移動端末で100回のpingにより測定した。スループットの測定にはnetperf[9]を用いた。netperfで移動端末から固定端末へ1500byteのMTUでUDPパケットを10秒間送信し、固定端末に届いたUDPパケッ

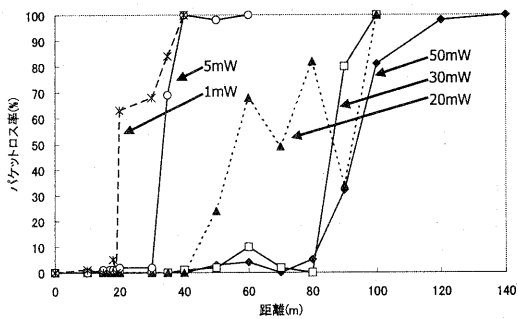


図7 電波強度制御とパケットロス率の相関関係

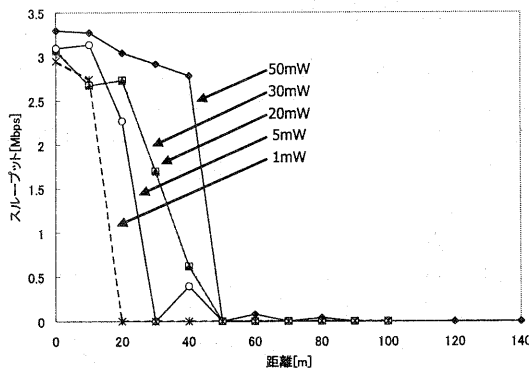


図8 電波強度制御とスループットの相関関係

表2 送信電力と端末間距離の関係

| | 1mW | 5mW | 20mW | 30mW | 50mW |
|--------------------|-----|-----|------|------|------|
| 相互通信可能な最大端末間距離 [m] | 20 | 30 | 50 | 50 | 50 |

トの数からスループットを算出した。

4.2 実験結果

実験結果を図7、図8に示す。図より、送信電力の大きさによって、通信可能な端末間距離に違いが現れた。

図7、8より、各送信電力の通信可能距離は表2のようになる。送信電力が20、30、50mWの時の最大端末間距離には大きな違いがない。このため、エミュレーション時に、この3つの送信電力を使い分けることは現実的でない。そのため、本研究では1、5、50mWの3つの送信電力を使用することとした。

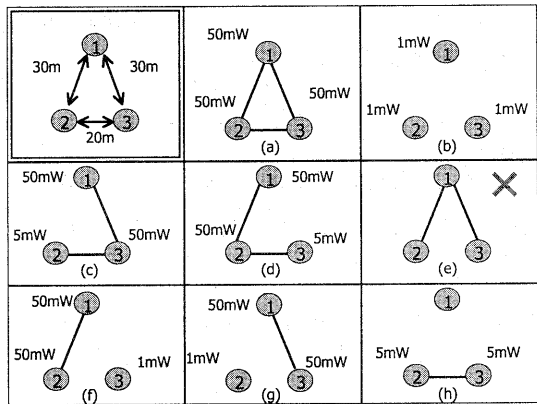


図9 ノード数3におけるトポロジ

5. 電波強度制御によるトポロジのエミュレーション

実験により実際に無線LANカードの電波強度制御によって通信範囲が変わることが確かめられた。以下測定データを元にして、端末の位置と送信電力の制御によってエミュレート可能なトポロジ変化のシナリオについて検討する。

MANETソフトウェアを評価する上での前提条件は、マルチホップの通信とトポロジの変化が起ることである。まずマルチホップの通信ができるMANETとして、最小ノード数3における電波強度制御によるトポロジのエミュレーションについて考える。

ノード数3の場合が起りうるトポロジは図9(a)～(h)の計8通りある。ノードを図9のように二等辺三角形に配置し、電波強度をそれぞれ3段階で制御すると、(e)を除く、7通りを実現できる。

ノード数が4以上の場合、ノード数3でトポロジの再現率の高かった二等辺三角形に新たにノードを追加する形でノード数を増やしていくようにする。例えば、ノード数4の場合、2つの二等辺三角形を繋ぎ合わせた平行四辺形を考える(図10)。ノード数4の場合、起りうるトポロジは合計で64通りである。図10の平行四辺形において、3通りの電波強度を使用して実現できるトポロジは、図10(a)～(y)の25通りである。これより、電波強度制御では完全なトポロジの再現ができないことがわかるが、図10(o)(p)(q)(r)のようなホップ数4のトポロジ、(k)(l)(m)(n)のようなホップ数3のトポロジ、(k)(l)(m)(n)(s)のようなホップ数2のトポロジ、(t)(u)(v)(w)(x)(y)などのホップ数1のトポロジなど、主要なトポロジを再

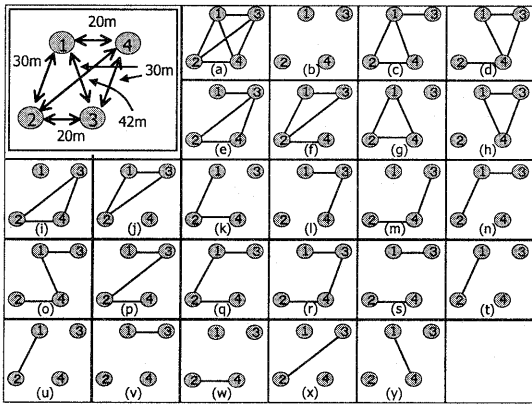


図 10 ノード数 4 におけるトポロジ 1

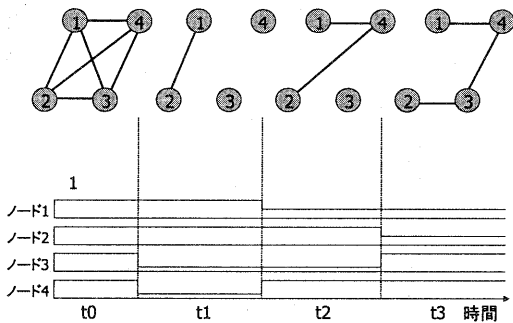


図 11 簡単なシナリオ例

現しているため、十分にシステム評価のためのトポロジ変化を実現できる。

実際に電波制御をシナリオによって変更する場合、まず各端末で送信電力の変化をあらかじめシナリオとして登録しておく。各端末の時計を事前に同期させておき、同時刻でこのシナリオにあわせて指定した時刻で送信電力を各端末上で変化させ、トポロジの変化を起こす。簡単なシナリオによるトポロジのエミュレート例を図 11 に示す。

6. まとめ

モバイルアドホックネットワーク用のミドルウェアの評価手法として、エミュレーションによる手法を提案した。電波強度制御による手法と、専用ネットワーク端末（トポロジエミュレータ）を用いた手法の 2 つ提案した。これらの手法を用いれば、少ない労力と作業範囲で実働するソフトウェアの評価が可能となる。

電波強度制御によるエミュレーションは、再現できるトポロジが、端末の初期位置によって制限されてしまうところが大きく、大規模なネットワークで起こりうる全てのトポロジの再現は困難である。

しかしながら、大規模なネットワーク中のポイントとなる端末の送信電力をシナリオによって制御するだけでも、トポロジは大きく変化し、省力化には有効である。

今後はシナリオに基づく電波強度制御を実装し、実機での MANET ソフトウェアの評価を行う予定である。更に、エミュレーション端末の設計も行う予定である。

文 献

- [1] <http://www.bluetooth.com>
- [2] 鈴木貴也, 石原進, 水野忠則: “アドホックネットワークにおける調停端末の動的再配置”, DICO 2001, pp. 133-138 (2001)
- [3] 田森正紘, 石原進, 水野忠則: “アドホックネットワークにおける端末の位置を考慮した複製配布方式の評価”, 情報処理学会研究報告 2001-MBL-18, pp. 135-142 (2001)
- [4] Josh Broch, David B. Johnson, David A. Maltz, Carnegie Mellon University: “The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks”, INTERNET-DRAFT, draft-ietf-manet-dsr-01.txt (1998)
- [5] C. Perkins, E. Royer: “Ad Hoc On Demand Distance Vector(AODV) Routing”, Internet Draft, draft-ietf-manet-aodv-02.txt (1998)
- [6] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [7] 澤田憲作, 中西恒夫, 福田晃, 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科, 九州大学大学院システム情報科学研究科: “省電力指向可変レベルアドホックネットワークルーティングの評価”, 情報処理学会研究報告 2001-MBL-18, pp. 91-98 (2001)
- [8] 西澤正稔, 荻野浩明, 原隆浩, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “アドホックネットワークにおける片方向リンクを考慮したルーティング方式”, 情報処理学会論文誌, pp. 783-791 (2000)
- [9] <http://www.netperf.org>