

## 組込み OLSR ノードによる IP センサシステムの MANET 実装と検証

落合 秀也<sup>†</sup> 松浦 知史<sup>††</sup> 山内 正人<sup>††</sup> 砂原 秀樹<sup>††</sup> 江崎 浩<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 東京大学

東京都文京区本郷 7-3-1 工 2 号館 102B1 江崎研究室

<sup>††</sup> 奈良先端科学技術大学院大学

奈良県生駒市高山町 8916-5 インターネットアーキテクチャ講座

E-mail: †jjo2lxq@hongo.wide.ad.jp, ††{sato-mat,masato-y}@is.naist.jp, †††{suna,hiroshi}@wide.ad.jp

あらまし 本研究では、既存の IP センサシステムを組込み OLSR ノードで作動させた場合のシステム評価を行っている。MANET においては、組込みシステム化と安定した通信路の提供が課題となっている。本研究では、既存の IP センサを組込みシステムで OLSR 対応にし、約 20 個の OLSR ノードによる実環境上でセンサデータの配信を行い、CPU 使用率やアップロード成功率の計測を行っている。その結果、(1) 組込みシステムでは経路計算のために計算資源がほとんど消費され、(2) MANET の通信路特性が既存 IP センサシステムの安定性を低下させた。

キーワード OLSR, 組込みシステム, センサデータシステム, 既存 IP アプリケーション, 通信路特性

## Evaluation of an Embedded OLSR Node for IP Sensor System

Hideya OCHIAI<sup>†</sup>, Satoshi MATSUURA<sup>††</sup>, Masato YAMANOUCHI<sup>††</sup>, Hideki SUNAHARA<sup>††</sup>, and  
Hiroshi ESAKI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> The University of Tokyo

EsakiLab Bld2. 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan

<sup>††</sup> Internet Architecture, 8916-5 Takayama-cho, Ikoma city, Nara, Japan

E-mail: †jjo2lxq@hongo.wide.ad.jp, ††{sato-mat,masato-y}@is.naist.jp, †††{suna,hiroshi}@wide.ad.jp

**Abstract** This paper describes an evaluation of an OLSR embedded IP sensor system. It is challenging in MANET to implement its protocol into embedded computer and to provide stable data channel. We evaluate, in this paper, CPU usage and sensor data upload success rate of an integrated OLSR embedded node with a legacy IP sensor system. The results indicate that (1) the topology calculation consumed all the CPU resource of the embedded computer and that (2) the property of MANET drastically reduced the stability of uploading rate of the legacy system.

**Key words** OLSR, Embedded System, Sensor Data System, Legacy IP Application

### 1. はじめに

近年、モバイル・アドホック・ネットワーク (MANET) は、ノート PC 上での利用の他、組込みシステムにも適用されるようになってきている。MANET の組込みシステム化により、ノードは小型化し、安価となり、規模の大きな MANET ネットワークの導入が実現しやすくなることが予想される。MANET は無線アドホック環境上で既存の IP アプリケーションを動かすことが可能なため、今後、様々な場面で利用が促進されると考えられる。

本研究では、既存の IP アプリケーションの例として、IP ベー

スの気象センサを取り上げ、これを組込みシステムで MANET に接続することを考える。具体的には OLSR での構築が検討されている非常通信ネットワークに、この気象センサシステムを持ち込むことで、非常通信ネットワークのアプリケーションとして稼働させる。本研究は、既存の IP ベースのセンサシステムにはほとんど変更を加えずに OLSR ネットワークに取り込んだ場合のシステム検証、を行うことを目的としている。

本研究では、下記 2 つの問題点を取り上げ、その問題の検証を行っている。

- 組込みシステムに OLSR を実装する場合
- MANET の通信路特性が引き起こす既存 IP アプリケー

## ションへの影響

OpenWrt [1] などにより、組込みシステムへの MANET の実装が可能になってきたが、ここには組込みシステムならではの問題点がある。組込みシステムは、ノート PC と比べて、1 割以下程度の CPU 速度と、わずかなメモリ容量で動作しているのが通常である。OLSR は、経路構築などに計算を多く必要とするため [2]、ノート PC では動作が可能な規模の OLSR ネットワークでも、組込みシステムでは計算能力が及ばなくなってしまう場合が考えられる。

既存の IP アプリケーションを MANET に取り込む際に、考慮すべき MANET ならではの特性がある。有線のデータリンクと比較して、通信路特性が悪い (e.g., 通信容量が小さく、パケットロスが多い)。既存の IP アプリケーションは、有線の通信路を念頭に通信アルゴリズムが設計され、構築されている場合が多く、現在の MANET 環境に適用した場合は、アプリケーションのパフォーマンスを極端に低下させる可能性がある。例えば、MANET 環境においてはビットエラーによるパケットロスが比較的多いため、TCP での通信容量は極端に小さくなる [3]。この通信路特性に適応した信頼性通信を実現するトランスポートプロトコルのアルゴリズムとして、TCP vena [4] が提案されるほど、通信路の特性が上位層に与える影響は大きいと言える。本研究では、通信路特性の向上は MANET の目標と考え、敢えてアプリケーションにはほとんど手を加えずに、そのまま MANET 上にセンサシステムを埋め込むことを考えている。

本研究が利用する OLSR ネットワークテストベッドは、タイの Asian Institute of Technology が主催するイベント DUMBO [5] で構築されたものである。同一セグメント上におよそ 20 台の OLSR ノードが用意され、すべてのノードへは約 5 ホップ以内で到達できる。気象アプリケーション以外に、テキストメッセージングアプリケーションや、ビデオ通信アプリケーションが OLSR ネットワークを利用し、災害時を想定した状況が再現される。

本研究では、2 種類の OLSR 対応気象センサ (i.e., 組込みシステムによる OLSR ノードと、ノート PC による OLSR ノード) を作成し、実装による違いを検証している。本研究で重要な実装の違いを下記に挙げる。

- コンピュータ性能の違い
- アプリケーション通信アルゴリズム

イベントで一時的に構築されるテストベッドの特性上、詳細な検証試験は課題として残ったが、本研究で行われた実験では下記の結果が得られた。

- 組込みシステムはほぼすべての CPU 資源を経路構築に使った
- アプリケーション通信アルゴリズムの違いがセンサデータアップロード成功率に大きく影響した

本論文は以下の構成になっている。第 2 章でテストベッドとセンサシステムについて述べる。第 3 章で実験で用いた OLSR センサ実装を解説し、第 4 章で実証実験結果を掲載する。第 5 章で考察を述べて課題を明らかにし、第 6 章でまとめる。

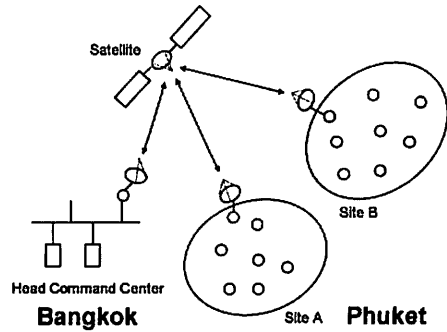


図 1 DUMBONET: プークットに災害現場のシミュレーションが展開され、バンコクに設置された司令部から指示が発行される。すべてのノードは OLSR を実装し、同一セグメントが割り当てられ、衛星を介して L2 リンクで接続されている

## 2. テストベッドとセンサシステム

本章では、本研究で利用した OLSR 非常通信ネットワーク (DUMBONET) について解説し、適用した IP ベースの気象センサシステム (Live EI) [6] について説明する。本研究では、Live EI システムに手を加えずに、OLSR 対応だけで DUMBONET に導入することを考えている。DUMBONET への Live EI の導入に関して、気象センサシステムとしての最大の評価基準をデータアップロードの成功率とし、OLSR ネットワークの重要な評価基準として CPU 使用率と IP パケットロス率を考える。

### 2.1 DUMBONET

Digital Ubiquitous Mobile Broadband OLSR Network (DUMBONET) は、2006 年 12 月に、タイの Asian institute of technology (AIT) 主催で開かれたイベントにて構築された OLSR 非常通信ネットワークである。図 1 にこのネットワークの構成を示す。

DUMBONET は、バンコクの司令部、プークットの 2 つのシミュレーションされた災害現場を衛星回線で接続している。衛星回線は L2 レベルでの接続を提供し、全体は単一セグメントで構成される。バンコク司令部のコンピュータは有線で接続されているが、OLSR プロトコルを実装し、プークットの移動ノードとの間で OLSR ネットワークを構成する。プークットでは象が移動手段となっており、各象に搭載されたノード間で OLSR ネットワークを構成する。各ノードにはテキストメッセージングアプリケーションや、ビデオアプリケーションが搭載されていて、災害救助のための通信が行われる。全体でおよそ 20 台のノードが展開し、すべてのノードには約 5 ホップ以内で到達できる。

### 2.2 Live EI センサシステム

DUMBONET に導入した Live EI センサシステムは、クライアントサーバ構成をしており、クライアントであるセンサから、サーバに対して観測したデータを通知する仕組みになっている。観測されたデータはサーバに蓄積され、ユーザはサーバ

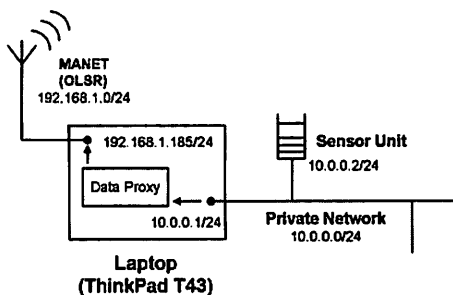


図 2 HPOI の構成: プライベート IP ネットワークに Live E!センサを設置し、OLSR ノードであるノート PC 上にソフトウェアで構築された Live E!プロキシを置く

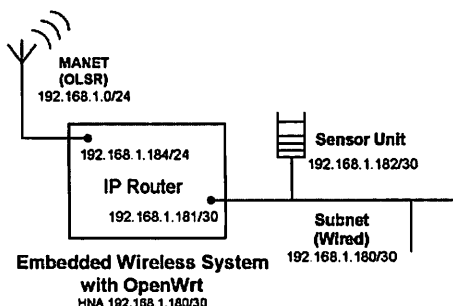


図 3 EOI の構成: サブネットワークに Live E!センサを設置し、組込み OLSR ノードは IP ルータとして動く、Live E!センサはサーバに直接データをアップロードする

に問い合わせることで、気象観測データを読み出すことが可能になっている。Live E!センサシステムは、インターネット上に展開されることを前提にデザインされ実装されているため、通信はすべて HTTP 上の SOAP で行われる。このデザインは、現在の MANET 環境には向いていないはずだが、本研究では、MANET は将来的には任意の IP アプリケーションを取り込み可能になるべきだと考え、敢えて Live E!センサシステムに手を加えることを考慮に入れていない。

Live E!センサシステムの通信量 (送受信) は、1 センサデータ要素のアップロードあたり 1.8kByte ほどで、1 分間に 7 要素のデータをアップロードする。従って、1 分間の送受信で交換されるデータ量は、全体で約 12kByte である。

### 3. OLSR センサ実装

本研究では、2 種類の実装を用意して、実証実験に臨んでいる。ノート PC を用いた High performance OLSR implementation (HPOI) と、組込みシステムによる Embedded OLSR implementation (EOI) である。図 2、図 3 にそれぞれ、HPOI と EOI の構成を示す。実証試験で用いられた実装は、機種性能以外にも構成に異なる点がある。表 1 に HPOI と EOI の実装の比較を示すと共に、以下、HPOI と EOI について詳細に述べる (双方ともに、OLSR デーモンは `olsr.org` [7] のものを用いた)。

表 1 OLSR センサ実装の比較

比較観点	HPOI	EOI
計算能力	4.0GIPS	0.2GIPS
適合方式	アプリケーションプロキシ	IP セグメンテーション
アルゴリズム	Sleep システムコール	Timer イベント

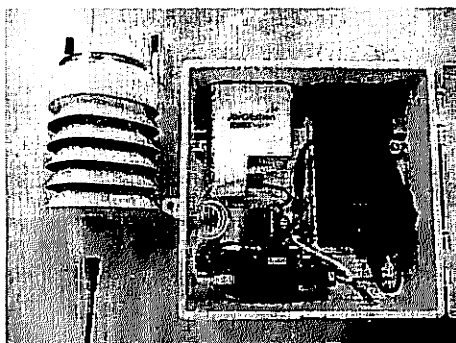


図 4 EOI パッケージ: 組込みシステムの特徴を生かして防水箱にパッケージ化された

#### 3.1 HPOI の構成

図 2 に示すように、High performance OLSR implementation (HPOI) は、OLSR ノードとしてノート PC を使用し、DUMBONET を構成する他のノードと同様、十分な CPU 性能とメモリ容量を備えている。Live E!センサは、プライベートネットワーク上に設置され、Live E!のデータプロキシを通じてサーバへ観測データを通知する。Sleep システムコールによる定期的な周期で、データ通知プロセスが起動し、6 個の観測項目それぞれについてアップロードが行われる。

#### 3.2 EOI の構成

Embedded OLSR implementation (EOI) で用いている組込みシステム (図 3) は、商用無線 AP (Buffero 社: WL13-TX1-G54) のファームウェアを OpenWrt に書き換えて OLSR プロトコルを実装している。HPOI の構成と異なり、DUMBONET (192.168.1.0/24) のサブネットワークセグメント (192.168.1.180/30) を有線にし、Live E!センサを接続すると共に、ルータ機能で DUMBONET に接続している。気象観測データの送信アルゴリズムも、HPOI 構成と異なり、毎分発生するタイマトリガによりデータ通知プロセスが起動され、7 個の観測項目それぞれについてアップロードが行われる。通知プロセスの途中で次のトリガが発生した場合には、現在のプロセスは終了し新規プロセスが開始する実装になっている。TCP 通信路の容量が、およそ 12kByte/min 以上であれば、データ通知プロセスは正しく作動するように実装されている。

EOI は、組込みシステムの特徴を生かし、比較的小型な防水箱にパッケージ化され、バッテリー駆動が可能な構成になっている。図 4 に EOI パッケージの様子を示す。

### 4. 実証実験

#### 4.1 環境設定

表 2 に実験で使った OLSR デーモンの設定を示す。これら

表 2 OLSR の設定

Parameter	Value
LinkQualityLevel	2
MprCoverage	4
HelloInterval	1.0
HelloValidityTime	20.0
TcInterval	3.0
TcValidityTime	30.0
MidInterval	5.0
MidValidityTime	30.0
HnaInterval	5.0
HnaInterval	30.0

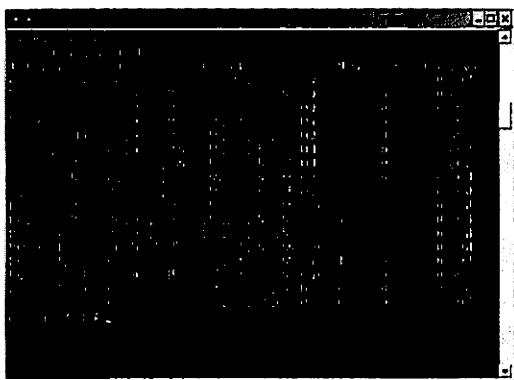


図 5 EOI のルーティングテーブル この時点では 15 個のノードが見えている

表 3 CPU 負荷およびネットワーク環境

観測項目	HPOI	EOI
CPU 使用率	25%	98%
パケットロス率	10%	70%

の設定は RFC3626 で推奨されているものと比べてわずかに異なる。

実験試験会場では、HPOI と EOI 共に DUMBONET のサイト B に設置した。HPOI は、電源が供給される衛星通信基地局の近くに設置され、EOI は組込みシステムの特徴を生かし、基地局から離れた山の中に設置された。サーバまでのホップ数は HPOI の場合は 1 から 2 で、EOI の場合は 2 から 3 であった。

4.2 CPU 負荷とネットワーク環境

図 5 に実験中の EOI のルーティングテーブルを掲載する。この図より、ノード数の規模はおおよそ 10 から 20 であることが読み取れる。この環境下で、おおよその CPU 使用率とパケットロス率を計測した結果、表 3 のようになった。

4.3 アップロード成功率

図 6、図 7 にそれぞれ、HPOI と EOI のアップロード成功率の推移を示す。横軸が時刻で、その時点でのアップロード成功率を縦軸にとってある。成功率の計算は、10 分間に行われた送信操作のうち成功した回数を元に算出してある。これらのグラフからわかることは二つある。

(1) HPOI は比較的安定してアップロードが成功している

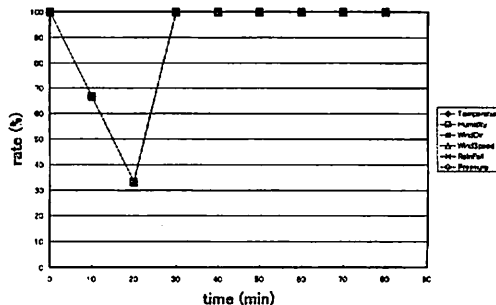


図 6 HPOI のアップロード成功率

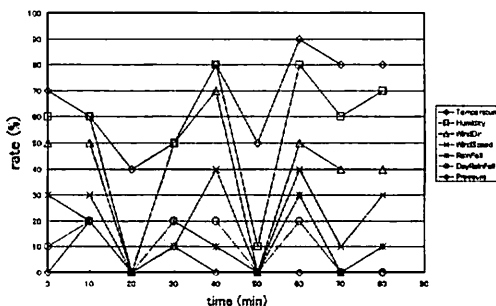


図 7 EOI のアップロード成功率

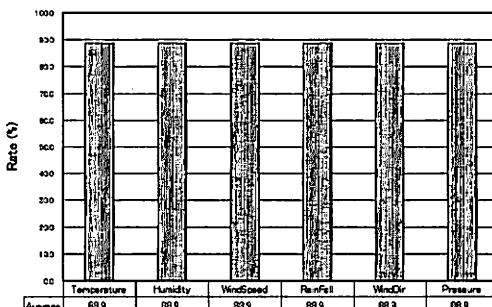


図 8 項目ごとの HPOI 平均アップロード成功率

のに対し、EOI のアップロード成功率は変動が激しい。

(2) HPOI はすべての観測項目に対して同じ成功率であるのに対し、EOI のアップロード成功率は、項目に応じて次のような関係がある。

Temperature>Humidity> → Pressure

図 8、図 9 にそれぞれ、HPOI と EOI の観測項目ごとの平均アップロード成功率を示す。HPOI の平均アップロード率は、どの項目も均等であるのに対し、EOI の場合は、Temperature、Humidity、WindDir、→、Pressure の順に低くなっている。

4.4 データの可用性

実験でサーバに蓄積された値を元に、気温、湿度、気圧をグラフ化した様子を図 10-図 12 に示す。これらのグラフは、実際に HPOI や EOI で観測されたデータのうち、サーバに正しく

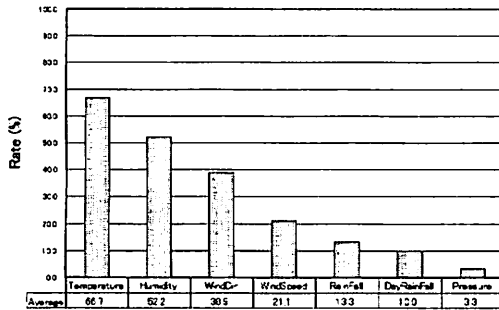


図 9 項目ごとの EOI の平均アップロード成功率

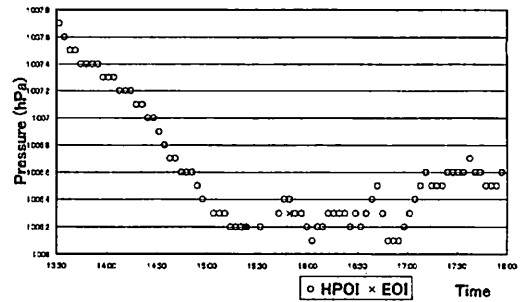


図 12 観測された気圧 (Pressure) の変動

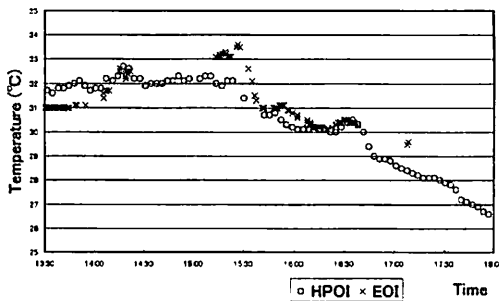


図 10 観測された気温 (Temperature) の変動

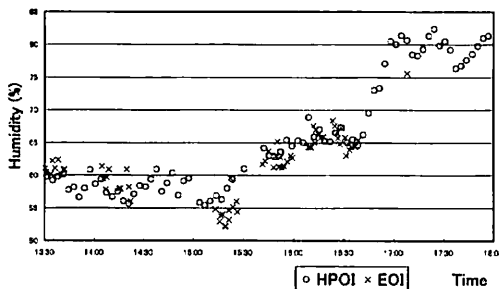


図 11 観測された湿度 (Humidity) の変動

アップロードされたデータから作成されたものである。

HPOIによるデータアップロード通知は、すべての観測項目に対して、十分実用に耐える性能を達成したが、EOIによるデータアップロードは、温度こそある程度のデータが得られ、値の変動をとことろ把握できるものの、気圧に関してはプロットされるデータがあまりにも少なく、大域的な値の変動を予測するのは不可能なレベルだった。

## 5. 考察と課題

本章では、OLSR 経路構築に要する計算量と組込みシステムの兼ね合いを模索すると同時に、MANET 環境に既存の IP アプリケーションを導入した場合の挙動について考察し、今後の展望を述べる。

約 20 台のノードから構成される OLSR ネットワークにおいては、4GIPS の計算能力を備えたコンピュータでは、経路構築に計算能力の 25%ほどを使用したが、0.2GIPS の計算能力しかない組込みコンピュータでは 98%を使用することが判明した。この結果は、組込みシステムに OLSR をインストールした場合、コンピュータの計算能力はほぼすべて経路構築に使われてしまい、他のことをする余裕がなくなってしまうことを意味している。組込みシステムに OLSR をインストールする場合、経路構築に要する計算量を減らすために、対象ネットワークの規模を小さくするか、構築頻度を下げる必要がある。これは、ノード移動性の少ないネットワーク、あるいは頻繁な通信が行われないネットワークであれば、対応できることを意味する [8]。

MANET 環境においては、有線環境と比較しパケットロス率が大きく、トランスポートに TCP を利用する既存のアプリケーションでは十分な通信速度を確保することができない。本研究で検証した IP ベースのセンサシステムもトランスポートに TCP を使っているため、十分な通信速度が得られず、データのアップロードトランザクションにかなりの時間を要していたことが図 7 および図 9 から読み取れる。本研究で用いた IP ベースのセンサシステムでも、下位層の通信路特性が変わることで既存の通信アルゴリズムが適用できなくなる状況が観測された。EOI で動いていたタイマイベントトリガによるデータアップロード方式では、有線の環境では想定外とされていた通信速度が極端に遅い場合 (12kByte/min 以下) が MANET 環境では現実のものとなり、アップロードに失敗する現象が発生してしまった。一方、HPOI で動いていたシステムでは、Live EOI データプロキシ上で動いていたスリープシステムコールベースのアルゴリズムにより、通信路が狭くてもタイムアウトすることなく、安定したセンサデータ通知を実現できていた。これはイベント型より逐次型のアルゴリズムの方が MANET 環境には向いていることを示しているのかもしれない。

今後の課題としては、下位層の通信路特性に応じて最適な通信アルゴリズムを自動的に選択したり埋め込むことができるシステムが考えられるかも知れない。しかし、アプリケーション側に様々なアルゴリズムを実装するのは、下位層で解決すべき問題 (i.e., コネクション指向性, 順序性, 信頼性) [9] をカプセ

ル化せず、アプリケーションにまで公開することを意味する。このようなアプローチによって特定の側面 (i.e., 通信速度, パケット数) に関しては, パフォーマンスを向上させることが可能かもしれないが, 他の側面 (i.e., 汎用性, 実装コスト) で失うことが多いのも事実である。汎用性を維持しつつ, 下位層で問題を解決してくれるアーキテクチャの研究が求められる。

## 6. おわりに

本研究では, OLSR ネットワークを組込みシステムで実現する場合と, 既存 IP アプリケーションを MANET 環境に導入する場合の問題点を提示し, IP センサシステムを例に挙げ, 検証試験を行った。既存 IP アプリケーションを組込み OLSR ノードに実装する場合, 組込みシステムの低い計算能力と, MANET 環境が提供するパケットロスの多い通信路特性が問題となる。検証にはタイの AIT でイベントとして構築された OLSR 非常通信ネットワーク (DUMBONET) をテストベッドとして利用した。実験では約 20 台のノードが単一セグメント上で OLSR ネットワークを構築している。比較的高い計算能力を備えたノート PC では, 経路構築をする余裕はあったが, 計算能力の乏しい組込みシステムでは, 経路構築に CPU 資源のほぼすべてを消費してしまい, 他のタスクを実行する余裕がなくなる現象を観測した。有線を想定して作られた IP アプリケーションをそのまま MANET 環境に持ち込んだ場合の挙動としては次のことを観測した: i.e., (1) TCP 通信路速度の極端な低下 (12kByte/min 以下), (2) アプリケーション通信アルゴリズムの違いによるアプリケーション通信成功率への影響。

## 謝 辞

本研究は, 総務省の委託研究「ユビキタスネットワーク認証・エージェント技術の研究開発」の成果の一部を活用したものである。本研究が利用した DUMBONET は Asian Institute of Technology の inTERlab (<http://www.interlab.ait.ac.th/>) により 2006 年 12 月に構築されたテストベッドである。

## 文 献

- [1] "Openwrt". <http://openwrt.org/>.
- [2] P. Jacquet, P. Mahlethaler, T. Calusen, A. Laouiti, A. Qayyum and L. Viennot: "Optimized link state routing protocol for ad hoc networks", IEEE INMIC 2001, pp. 62-68 (2001).
- [3] T. V. Lakshman and U. Madhow: "The performance of tcp/ip for networks with high bandwidth-delay products and random loss", IEEE/ACM Transactions on Networking, 5, 3, pp. 336-350 (1997).
- [4] C. P. Fu and L. S.C.: "TCP Venot: Tcp enhancement for transmission over wireless access networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 21, 2, pp. 216-228 (2003).
- [5] K. Kanchanast, A. Tunpan, M. A. Awal, D. K. Das, T. Wongsardsakul and Y. Tsuchimoto: "A multimedia communication system for collaborative emergency response operation in disaster-affected areas", Technical Report TR\_2007-1, IntERLab AIT (2007).
- [6] H. Esaki and H. Sunahara: "Live El project; sensing the earth with internet weather stations", IEEE/IPSJ SAINT'07, p. 1 (2007).
- [7] "Olsr implementation". <http://www.olsr.org/>.
- [8] A. Huhtonen: "Comparing aodv and olsr routing protocols", Technical Report HUT T-110.551 (2004). <http://www.tml.tkk.fi/Studies/>.
- [9] S. Iren, P. D. Amer and P. T. Conrad: "The transport layer: tutorial and survey", ACM Computing Surveys, 31, 4, pp. 360-404 (1999).