

# マルチインタフェースアドホックネットワークにおける チャンネル使用状態を考慮した経路制御手法の提案と実装

梶岡 慎輔<sup>†</sup> 若宮 直紀<sup>†</sup> 佐藤 弘起<sup>††</sup> 林 正人<sup>††</sup> 松井 進<sup>††</sup> 村田 正幸<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 大阪大学 大学院情報科学研究科

〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

<sup>††</sup> 株式会社 日立製作所 システム開発研究所

〒 244-0817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 292 番地

E-mail: †{s-kajioka,wakamiya,murata}@ist.osaka-u.ac.jp,

††{hiroki.satoh.yj,masato.hayashi.eg,susumu.matsui.cb}@hitachi.com

あらまし 無線アドホックネットワークにより、タウンモニタリング、遠隔監視、被災地支援などのアプリケーションシステムを実現するためには、音声、映像のリアルタイム通信に求められる通信品質を提供しなければならない。本稿では、それぞれ異なる無線チャンネルを割り当て可能な複数のネットワークインタフェースを持つノードからなるアドホックネットワークを対象に、効率的かつ効果的に、ネットワークの状態にもとづいてアプリケーションの要求する QoS を満足する経路制御を行う制御手法を提案している。提案手法では、OLSRv2 を拡張することにより、トポロジ情報とともに利用可能帯域に関する情報をやりとりし、送信側ノードでこれらの情報をもとにした論理ルーティングを行う。プロトタイプを用いた実験により、無線チャンネルの使用状態に応じた適切なチャンネル、経路を用いて通信が行えることを確認した。

キーワード アドホックネットワーク、論理ルーティング、マルチチャンネル、マルチインタフェース。

## Proposal and Implementation of a QoS-aware Routing Mechanism for Multi-Channel Multi-Interface Ad-Hoc Networks

Shinsuke KAJIOKA<sup>†</sup>, Naoki WAKAMIYA<sup>†</sup>, Hiroki SATOH<sup>††</sup>, Masato HAYASHI<sup>††</sup>,

Susumu MATSUI<sup>††</sup>, and Masayuki MURATA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

1-5 Yamadaoka, Suita-shi, Osaka 565-0871, Japan

<sup>††</sup> Hitachi, Ltd., System Development Laboratory

292, Yoshida-cho, Totsuka-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 244-0817, Japan

E-mail: †{s-kajioka,wakamiya,murata}@ist.osaka-u.ac.jp,

††{hiroki.satoh.yj,masato.hayashi.eg,susumu.matsui.cb}@hitachi.com

**Abstract** To support real-time data transmission for audio and video communication in wireless ad-hoc networks, we propose a new routing mechanism in this paper. Our mechanism considers an ad-hoc network composed of nodes equipped with multiple network interfaces to each of which a different wireless channel can be assigned. By embedding information about channel usage in control messages of OLSRv2, each node obtains a view of topology and channel usage of the whole network. Then, a source node establishes a logical path on which application's QoS demand is satisfied and packets are encapsulated so that they traverse the logical path toward a destination node. Through experiments on a prototype, we confirmed that our mechanism can transfer packets over an appropriate logical path while effectively using multiple channels.

**Key words** ad-hoc network, logical routing, multi-channel, multi-interface.

# 1. はじめに

無線アドホックネットワークは、アクセスポイント等の固定的な通信設備を必要とせず、ノード間の無線通信によりネットワークを構成できることから、特に、配線コストや機器設置コストが問題となる環境や歴史的建造物など機器設置の制約が大きい環境に適しており、また、大規模災害時など社会情報基盤が停止した際の緊急通信手段としても期待が持たれている。

遠隔監視、タウンモニタリング、VoIP、テレビ電話などの音声、映像のリアルタイム通信を伴うアプリケーションにおいては、遅延や帯域などに関する QoS (Quality of Service) が要求されることから、アドホックネットワークにおける QoS 制御について、これまで多数の研究が行われている [1-3]。例えば [3] では、ノード間で利用可能帯域およびパケット転送遅延を計測し、計測結果を経路制御のメトリックに用いることで、広帯域、低遅延の通信を実現し、QoS 制御を行わない OLSR と比較してパケット棄却率が半減することを示している。また、単一の無線チャネルを用いたマルチホップ通信では、音声、映像トラフィックの収容に十分なスループットを得られないため [4, 5]、ノードが複数の無線チャネルを組み合わせ、あるいは切り替えて使用することにより、無線チャネルあたりのスループットを向上させる研究が進められている [6-9]。

我々の研究グループでは、複数の無線チャネルが利用可能なノードからなるアドホックネットワークにおいて、アプリケーションの QoS 要求を考慮した通信を実現するための、経路制御手法について検討している。単一のネットワークインタフェースで複数の無線チャネルを利用するシステムでは、チャネル切り替えに伴うオーバーヘッドにより、特にエンド間ホップ数が大きい場合にスループットが大きく低下することが示されている [7]。そこで、本研究では、ノードはそれぞれ異なる無線チャネルが割り当て可能な複数のネットワークインタフェースを有するものとする。

提案手法では、利用可能な無線チャネルのうちネットワーク全体で共通の 1 つをベストエフォート通信に、残りのチャネルを音声や映像などのリアルタイム通信に用いる。ベストエフォート通信の経路制御は、同じチャネル上で動作するアドホックネットワーク経路制御プロトコルにもとづいて行われる。一方、リアルタイム通信のためには、QoS を考慮した経路制御プロトコルをそれぞれの無線チャネルで独立動作させるのではなく、仮想的なオーバーレイネットワークにおいて経路選択を行うことにより、経路制御トラフィックのオーバーヘッドを回避するとともに複数の無線チャネルを統合的に利用する。ノードは、ベストエフォート通信チャネル上の経路制御プロトコルによってネットワークの通信状態に関する情報を収集、管理しており、これを用いることにより、リアルタイム通信の送信側ノードは、アプリケーション要求を考慮した論理的な経路を決定する。パケットは、論理経路上の中継ノードを宛先としてカプセル化される。中継ノード間はリアルタイム通信チャネル上を、ベストエフォート通信チャネル上の経路制御プロトコルによって決定された経路を通して、順次転送される。中継ノードでは、リア

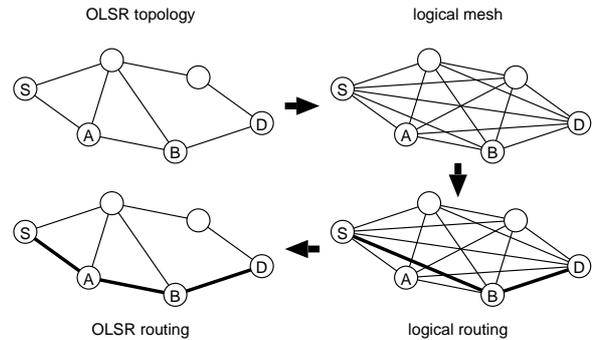


図 1 提案手法による経路制御

Fig. 1 A proposed routing mechanism.

ルタイム通信用の複数のチャネルを効率的に利用するため、パケットごとに最も空いている無線チャネルを選択し、パケットを転送する。

以降、2 章では、マルチインタフェースアドホックネットワークのための経路制御手法を提案する。3 章において、提案手法の実装におけるモジュール構成およびモジュールの動作について述べ、4 章で実験による基本動作確認の結果を示す。最後に 5 章で本稿のまとめと今後の課題を述べる。

## 2. チャネル使用状態を考慮した経路制御手法

本章では、本稿で対象とするアドホックネットワークと、提案する経路制御手法について述べる。

### 2.1 対象とするアドホックネットワーク

アドホックネットワークは、それぞれ異なる無線チャネルを割り当て可能な  $M$  個の無線インタフェースを有するノードからなる。利用可能なチャネルはすべてのノードで等しく、チャネル数を  $K$  ( $2 \leq K \leq 4$ ) とする。いったん設置されたノードは頻繁には動かされないものとし、少なくともあるノード間でリアルタイム通信が行われている間はいずれのノードも移動しない。ただし、無線通信環境の変化などにより、帯域変動や、単方向リンク、リンク切れが発生する。

### 2.2 提案手法の概要

提案手法では、 $K$  チャネルのうち、1 チャネル (チャネル番号 0 とする) をベストエフォート通信チャネル、残りの  $K-1$  チャネル (チャネル番号 1~ $K-1$  とする) をリアルタイム通信チャネルとする。ベストエフォート通信チャネルでは経路制御プロトコルとして OLSRv2 [10] が動作する。

ネットワークインタフェースには無線チャネルと IP アドレスが固定的に割り当てられる。IP アドレスのホストアドレス部は同一ノードのネットワークインタフェース間で共通とし、ネットワークアドレス部は割り当てられた無線チャネルに対応づけられる。ノード間で同じチャネルを割り当てられたネットワークインタフェースは同じサブネットに属することになり、IP パケットの宛先アドレスによって通信に使用するチャネルを指定することが可能となる。利用可能なチャネル数とネットワークインタフェース数がともに 4 の場合、ホストアドレス 1 を持つノードのネットワークインタフェースの IP アドレスは

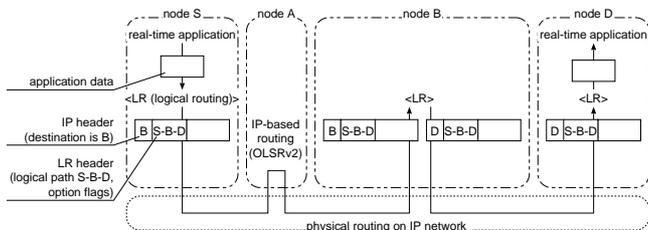


図 2 通信の様子

Fig. 2 Transmission flow.

例えば  $192.168.k.1$  ( $0 \leq k \leq 3$ ) となる。  $M \leq K$  の場合には、ネットワーク全体で共通の  $M$  チャンネルを選択して、ノード上ではネットワークインタフェースごとに異なるチャンネルを割り当てる。一方、  $M > K$  の場合には複数のネットワークインタフェースに同じチャンネルを割り当てることになるが、それぞれ異なるネットワークアドレスを用いるものとする。

ノードはリアルタイム通信チャンネルの使用状態を監視し、リアルタイム通信に利用可能な帯域を推定する。OLSRv2 を利用可能帯域に関する情報（以降では帯域情報と呼ぶ）を扱えるように拡張し、制御メッセージに利用可能帯域の情報を付加することによりネットワーク全体で帯域情報を共有する。

ベストエフォート通信を行うアプリケーションは提案手法と無関係に、ベストエフォート通信チャンネルを用いて通信を行う。一方、リアルタイム通信の要求が発生すると、送信側ノードはネットワークトポロジと利用可能帯域の情報にもとづいて論理ルーティングを行い（図 1 右下）、論理経路上の中継ノードアドレスでパケットをカプセル化した後、リアルタイム通信チャンネルにおいてパケットを送出する。例えば図 1 において、送信側ノード S から受信側ノード D への論理経路としてノード B が中継ノードに選択された場合、送信側ノードから送られるパケットの宛先 IP アドレスは論理経路における次ホップノード B のものとなる。

中継ノードは、ベストエフォート通信チャンネルでパケットを受信した場合には、通常の実受処理を実行、または OLSRv2 に従ってパケットを転送する。一方、リアルタイム通信チャンネルでパケットを受信した場合は、宛先 IP アドレスが自ノードであれば論理経路上の次ホップノードの IP アドレスに変更してパケットを送出、あるいは自ノードが最終的な宛先であれば受処理を行う。また、宛先 IP アドレスが自ノードでない場合には、リアルタイム通信用に割り当てられたチャンネルのうち最も空いているものを用いて、パケットを転送する。なお、論理経路上の中継ノード間のパケット転送は、ベストエフォート通信チャンネル上の経路制御プロトコルに従って行われる（図 1 左下）。図 1 における通信の様子を図 2 に示す。

### 2.3 利用可能帯域の推定

チャンネルの空き帯域の推定方法としては、パケット送信時の MAC レベルでのスループットをチャンネルの理想的な通信容量から減じて求める方法 [5] や、キャリアセンスや RTS/CTS ハンドシェイクなどを含めた全通信時間のうち、実際のデータ送信時間が占める割合を算出し、これをチャンネルの理想的な通信

容量に乘算して求める方法 [11] などがある。提案手法では、制御を簡便にするため、次式により、ノード  $k$  におけるチャンネル  $c$  ( $1 \leq c \leq K - 1$ ) の利用可能帯域  $B_k(c)$  を算出する。

$$B_k(c) = W(c) - B(c)/T. \quad (1)$$

ここで、  $W(c)$  はチャンネル  $c$  の理想的な通信容量であり、例えば IEEE 802.11g では 54 Mbps とする。  $T$  は推定周期であり、  $B(c)$  は推定周期内にノード  $k$  がチャンネル  $c$  を用いて送信した総データ量である。また、ノード  $k$  におけるリアルタイム通信の総利用可能帯域  $B_k$  は、次式で与えられる。

$$B_k = \sum_{c=1}^{K-1} B_k(c). \quad (2)$$

### 2.4 論理ルーティング

送信側ノードはリアルタイム通信要求が発生すると、まず、論理的なメッシュ網を構築する（図 1 右上）。メッシュ論理網におけるノード  $i, j$  間の論理リンクは OLSRv2 から得られるトポロジでのノード  $i, j$  間の最短経路と対応付けられ、論理リンクの利用可能帯域  $B(i, j)$  は、その最短経路における最小利用可能帯域とする。最短経路が複数存在する場合は、その中で利用可能帯域が最小となる経路を論理リンクと対応付ける。次に、構築したメッシュ論理網において、アプリケーションの要求する QoS を満たす論理経路を選択する。

論理経路の選択方法はリアルタイムアプリケーションが要求する QoS に応じてさまざまなものが利用可能であるが [12, 13]、本稿では、簡単なヒューリスティックを用いる。まず、論理メッシュ上でホップ数が  $H$  以下のすべての論理経路を求める。次に、論理経路上の最小の利用可能帯域をその経路の利用可能帯域とし、最も利用可能帯域が大きい論理経路を選択する。利用可能帯域最大の論理経路が複数ある場合にはホップ数が最も小さいものを選択する。なお、100 ノードからなるアドホックネットワークにおいては、  $H$  は 3 程度で十分であった。

### 2.5 OLSRv2 によるネットワーク情報の共有

OLSRv2 はプロアクティブに経路を構築するリンクステート型の経路制御プロトコルである [10]。OLSRv2 では、それぞれのノードは定期的に HELLO メッセージをやりとりし、リンク集合、隣接ノード集合、2 ホップ隣接ノード集合、MPR 集合、MPR セレクタ集合に関する情報を獲得、更新する。リンク集合は、すべての隣接ノードとのリンク情報の集まりである。OLSRv2 では、ブロードキャストメッセージの中継は MPR (multipoint relay) と呼ばれるノードのみが行う。MPR として選ばれたノードの集合を MPR 集合と呼ぶ。また、MPR を選択したノードを MPR セレクタと呼び、その集合を MPR セレクタ集合と呼ぶ。MPR は MPR セレクタが送信したブロードキャストメッセージの送受信および中継を行う。それぞれのノードは、すべての 2 ホップ先の隣接ノードにパケットが届くよう、隣接ノードの中から MPR を選出する。

MPR は TC (Topology Control) メッセージとして、定期的に自身と MPR セレクタとのリンクに関する情報を送信する。TC メッセージは MPR 間フラッディングによりすべてのノード

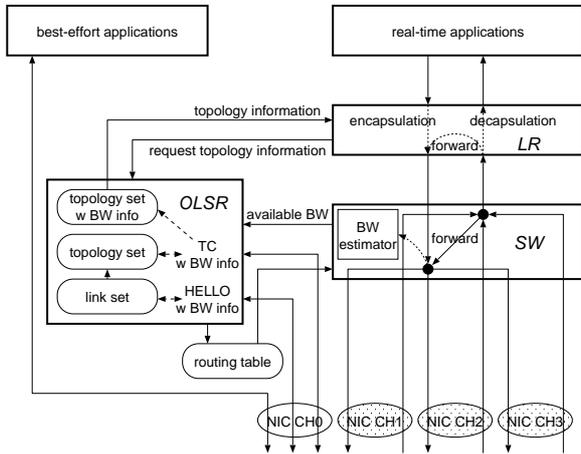


図 3 提案手法のモジュール構成

Fig. 3 Module components of proposed system.

に伝えられる。ノードは TC メッセージを受信すると、ネットワークに存在する MPR とその MPR セレクタ集合からなるトポロジを構成し、トポロジテーブルとして管理する。このトポロジテーブルにもとづいて、ノード間の最短経路を算出し、経路制御を行う。

提案手法では、OLSRv2 の経路制御の仕組みを利用することにより、ネットワーク全体で帯域情報を共有する。そのため、HELLO メッセージの拡張領域 (メッセージ TLV ブロック) に新たなフィールドを設けてリアルタイム通信チャンネルの帯域情報を付加する。HELLO メッセージにより交換された帯域情報は、ノードに関する情報とともに保持される。また、TC メッセージにも同様に拡張領域に帯域情報が付加され、トポロジテーブルには、MPR と MPR セレクタ集合のそれぞれについて帯域情報があわせて保持される。

### 3. 提案手法の実装

図 3 に実装システムにおけるノードのモジュール構成を示す。図では、リアルタイム通信にチャンネル 2~4 を割り当てている。以降では、LR、SW、および OLSR モジュールの動作を述べる。

LR モジュールはリアルタイム通信のための論理ルーティングを行うモジュールである。

LR モジュールはリアルタイムアプリケーションからアプリケーションデータを受信する。アプリケーションデータの宛先 IP アドレスと宛先ポート番号から、あるいは、アプリケーションが明示的にセッション識別子を指定することにより、LR モジュールはアプリケーションデータの属するセッションを識別する。新しいセッションであれば、トポロジ情報にもとづいて論理経路を構築する。なお、LR モジュールは定期的に OLSR モジュールから利用可能帯域を含むトポロジ情報を取得しており、実装では、トポロジ情報要求メッセージの送信間隔を OLSRv2 における TC メッセージの送信間隔と同じ 5 秒に設定している。

#### 3.1 LR モジュールの動作

論理経路に関する情報は LR ヘッダとしてパケットの先頭に

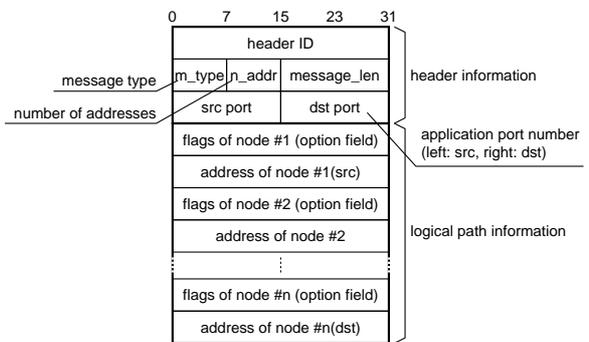


図 4 LR ヘッダフォーマット

Fig. 4 LR header format.

追加される。LR ヘッダの構成を図 4 に示す。LR ヘッダはヘッダ情報と論理経路情報で構成される。ヘッダ情報のフィールドには、LR ヘッダ識別子、メッセージタイプ、論理経路長、メッセージ長、送信側・受信側アプリケーションのポート番号を、論理経路情報のフィールドには、送信側ノードから順に、ノードの IP アドレスと、そのノードをパケットが通過したかどうか、またはノードが受信側ノードであるかどうかを示すフラグが格納される。LR モジュールは、送信側ノードのフラグを既達、受信側ノードのフラグを受信側に、残りは未達に設定して、カプセル化されたパケットを SW モジュールに渡す。

また、LR モジュールは、セッション識別子、LR ヘッダ、参照時刻をセッション管理テーブルで管理し、以降、アプリケーションから同じセッションに属するデータを受信すると同じ LR ヘッダでカプセル化する。なお、LR モジュールはソフトウェア型のセッション状態管理を行っており、30 秒間参照されなかったセッション識別子のエントリは破棄する。

一方、LR モジュールは SW モジュールからパケットを受信すると、LR ヘッダの論理経路情報内の自ノードアドレスのフラグを参照する。自ノードが受信側ノードであれば LR ヘッダをすべて取り除き、LR ヘッダに指定された宛先ポートを通じてアプリケーションにパケットを渡す。一方、自ノードが受信側ノードでない場合には、自ノードのフラグを既達とし、パケットを SW モジュールに渡す。

#### 3.2 SW モジュールの動作

SW モジュールは、LR モジュールとのパケット交換、OLSRv2 の定めた経路にもとづくパケット転送、パケット送信チャンネルの選択、および利用可能帯域の推定と OLSR モジュールへの通知を行う。

SW モジュールは LR モジュールからカプセル化されたパケットを受信すると、まず LR ヘッダから論理経路上の次ホップノードのアドレスを取得する。次に、OLSR モジュールによって管理されるシステム上の経路表を参照し、論理経路上の次ホップノード宛のパケット転送先ノードのホストアドレスを得る。続いて、利用可能帯域の推定周期内において最も使用されていないリアルタイム通信チャンネルのネットワークアドレスを得る。このネットワークアドレスと転送先ノードのホストアドレスを組み合わせたものを宛先 IP アドレスとして IP ヘッダ

を生成し、パケットを送信する。最後に、用いたチャンネルの送信データ量を、送信したパケットサイズにより更新する。

一方、SW モジュールはネットワークインタフェースからパケットを受信すると、LR ヘッダを参照し、論理経路上の次ホップノードが自ノードでない場合には、経路表にもとづいたパケット転送処理を行う。論理経路上の次ホップノードが自ノードである場合には、受信したパケットを LR モジュールに渡す。

また、SW モジュールは、定期的にノードの利用可能帯域  $B_k$  を推定し、OLSR モジュールに通知するとともに、すべてのチャンネルの送信データ量を 0 にする。実装では、ノードの利用可能帯域の推定周期を OLSRv2 の HELLO メッセージ送信周期である 2 秒とした。

### 3.3 OLSR モジュールの動作

OLSR モジュールでは、OLSRv2 を帯域情報を扱えるように拡張したものが動作する。OLSR モジュールは、SW モジュールによって推定される自ノードの利用可能帯域と、制御メッセージにより取得される他のノードの利用可能帯域に関する情報を、テーブルとして保持する。OLSR モジュールは、HELLO メッセージ、TC メッセージを生成する際に、ノードごとに拡張領域（メッセージ TLV ブロック）に帯域情報を付加する。LR モジュールからトポロジ情報要求メッセージを受信すると、OLSRv2 の生成、管理するトポロジ情報とノードの帯域情報を組み合わせ、LR モジュールに提供する。

## 4. 実験による動作確認

本章では、提案手法を実装したシステムの動作確認実験の結果を示す。

### 4.1 実験システムの構成

実験には、日立情報通信エンジニアリング製小型アドホック中継端末を用いた（図 5）。アドホック中継端末の仕様を表 1 に示す。アドホック中継端末は 4 つの IEEE 802.11b/g 無線インタフェースを備えており、そのうち 3 つをアドホック通信用に、1 つをアクセスポイント用に用いる。3 つのアドホック通信用のインタフェースには、ベストエフォート通信用として 2,412 MHz（チャンネル 1）、リアルタイム通信用として 2,442 MHz（チャンネル 7）、2,472 MHz（チャンネル 13）の無線チャンネルをそれぞれ割り当てた。ベストエフォート通信チャンネルでは提案手法にあわせて拡張した OLSRv2 が動作しており、HELLO メッセージの送信周期は 2 秒、TC メッセージの送信周期は 5 秒とした。なお、すべてのノードが MPR となれるよう、Willingness を 7 (WILL\_ALWAYS) とした。実験では 4 台のアドホック中継端末で図 6 のような格子状のネットワークを構成し、実装システムの基本動作を確認した。図中の実線はパケット送受信が可能なノードの隣接関係を表す。

### 4.2 実験結果

まず、図 6 に示す物理トポロジにおいて、送信側ノードを S、受信側ノードを D としてデータ送信実験を行った。リアルタイムアプリケーションは、ノード S からノード D に向けて 1,024 バイトのアプリケーションデータを 500 ミリ秒おきに生成する。リアルタイムアプリケーションの数を順次増加させ、SW



図 5 日立情報通信エンジニアリング製小型アドホック中継端末  
Fig.5 The ad-hoc wireless transponder (from Hitachi Information & Communication Engineering).

表 1 アドホック中継端末の仕様

Table 1 Specification of the Ad-Hoc relay node.

無線インタフェース	IEEE 802.11b/g × 4
有線インタフェース	10Base-T/100Base-TX × 1
CPU	SH4
OS	Linux Kernel 2.6
RAM	DDR-SDRAM (64 MByte)
シリアル I/F 数	2
筐体	アルミ製 非防水 230 × 210 × 60 mm
製作	日立情報通信エンジニアリング

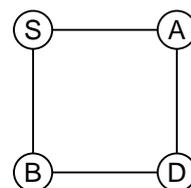


図 6 実機実験を行った物理トポロジ  
Fig.6 Experimental topology.

モジュールにおける利用可能帯域推定、および空きチャンネルの選択とパケット送信、OLSR モジュールにおける帯域情報交換、ネットワーク全体の帯域情報の管理、および帯域情報を付加したトポロジ情報の生成、また、LR モジュールにおける帯域情報にもとづいた論理経路の選択と、論理経路にもとづくパケット転送のそれぞれについて動作確認を行った。OLSRv2 によって構築されるノード S からノード D への経路はノード B を経由するものであったが、利用可能帯域を考慮した論理ルーティングによりノード A を通る経路とノード B を通る経路が同等に設定され、また、それらの経路においてリアルタイム通信用の 2 チャンネルが等分に使用されることを確認した。

### 4.3 参考実験

提案手法を実装したシステムの基本動作確認のため、1 台の計算機上で 4 台の仮想ノードを動作させ、アドホック中継端末による実験と同じネットワーク（図 6）を構成して参考実験を行った。ノード S からノード D に向けて 1,024 バイトのアプリケーションデータを 50 ミリ秒おきに送信するリアルタイムアプリケーションを 5 秒ごとに追加動作させた。なお、4 つの

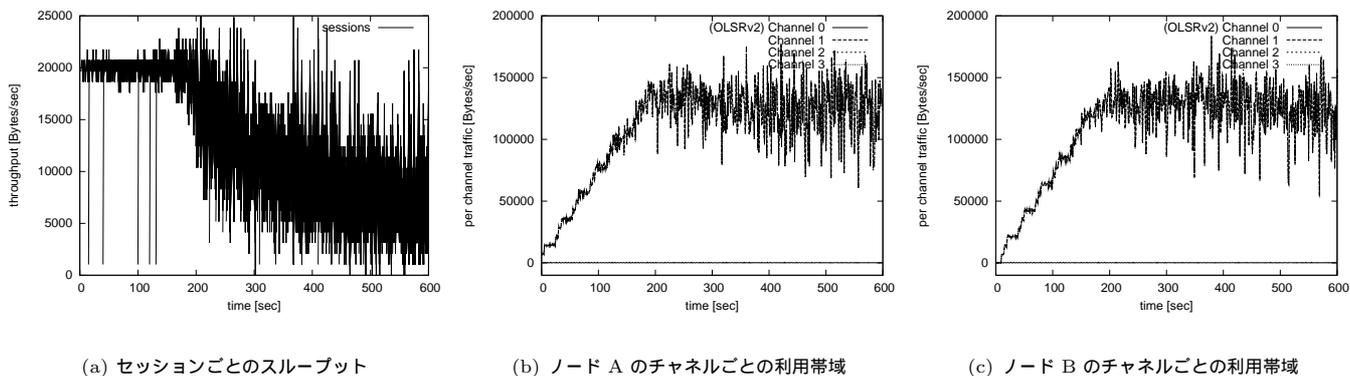


図 7 実装システムの参考動作実験評価  
Fig. 7 Experimental evaluation.

ネットワークインタフェースのうち 3 つをリアルタイム通信用とした。

図 7(a) にセッションごとのスループットの変化を、図 7(b) と図 7(c) にノード A とノード B における無線チャンネルごとの利用帯域の変化をそれぞれ示す。図 7(a) において、38 本目のセッションが開始された 185 秒あたりから仮想システムのネットワークの輻輳によりスループットが低下しているが、37 本目までは入力トラヒックに相当するスループット、つまり 20 KBytes/s が得られている。また、図 7(b), 7(c) において、中継ノード A, B では SW モジュールがパケットごとにリアルタイム通信チャンネルを使い分けるため、リアルタイム通信チャンネル 1, 2, 3 の利用帯域はほぼ一致している。

## 5. おわりに

本稿では、複数のネットワークインタフェースを持つノードからなるアドホックネットワークにおいて、ネットワークの利用状態にもとづいて、アプリケーションの QoS 要求を考慮した経路制御を行う手法を提案し、実験によりその動作を確認した。本稿では、帯域推定、帯域情報の共有、論理ルーティングといった基本機構の検証を行ったが、今後は、より大きな実験環境において、提案手法の性能評価を行う。また、帯域推定手法や論理ルーティングアルゴリズムについては、さらなる検討を行い、改良する予定である。

## 文 献

- [1] L. Hanzo and R. Tafazolli: “A survey of QoS routing solutions for mobile ad hoc networks”, in *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, **9**, 2, pp. 50–70 (2007).
- [2] R. Guimaraes, J. Morillo, L. Cerda, J. Barcelo, J. Garcia and J. Girona: “Quality of service for mobile ad-hoc networks: an overview”, Polytechnic University of Catalonia, Julho (2004).
- [3] A. Munaretto, H. Badis, K. Al Agha and G. Pujolle: “QoS for ad hoc networking based on multiple metrics: Bandwidth and delay”, in *Proceedings of IEEE Mobile and Wireless Communications Networks (MWCN 2003)* (2003).
- [4] J. Li, C. Blake, D. S. D. Couto, H. I. Lee and R. Morris: “Capacity of ad hoc wireless networks”, in *Proceedings of 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2001)*, New York, NY, USA, ACM Press, pp. 61–69 (2001).
- [5] S. Shah, K. Chen and K. Nahrstedt: “Available bandwidth estimation in IEEE 802.11-based wireless networks”, *The 1st Bandwidth Estimation Workshop* (2003).
- [6] P. Kyasanur and N. Vaidya: “Routing in multi-channel multi-interface ad hoc wireless networks”, Technical report, University of Illinois at Urbana-Champaign (2004).
- [7] P. Kyasanur and N. Vaidya: “Routing and link-layer protocols for multi-channel multi-interface ad hoc wireless networks”, in *Proceedings of ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, Vol. 10, ACM Press New York, NY, USA, pp. 31–43 (2006).
- [8] A. Raniwala and T. Chiueh: “Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network”, in *Proceedings of 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2005)*, Vol. 3, pp. 2223–2234 (2005).
- [9] N. Niranjan, S. Pandey and A. Ganz: “Design and evaluation of multichannel multirate wireless networks”, *Mobile Networks and Applications*, **11**, 5, pp. 697–709 (2006).
- [10] T. Clausen: “The optimized link state routing protocol version 2 (OLSRv2)”, Technical report, IETF Internet Draft, draft-ietf-manet-olsrv2-04.txt (2007).
- [11] K. Xu, K. Tang, R. Bagrodia, M. Gerla and M. Bereschinsky: “Adaptive bandwidth management and QoS provisioning in large scale ad hoc networks”, in *Proceedings of IEEE Military Communications Conference (MILCOM 2003)*, Vol. 2, pp. 1018–1023 (2003).
- [12] W. Xiao, B. Soong, C. Law and Y. Guan: “Evaluation of heuristic path selection algorithms for multi-constrained QoS routing”, in *Proceedings of IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, 2004, Vol. 1, pp. 112–116 (2004).
- [13] S. Licking, W. Chen, M. Moh and M. Nguyen: “A load-balanced channel assignment scheme for wireless mesh networks”, in *Proceedings of the 18th IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems (PDCS)* (2006).