

修士論文 2004年度(平成16年度)

インターネット自動車における
ポリシ経路制御を用いた複数リンク活用技術の研究

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科
岡田 耕司

インターネット自動車における ポリシ経路制御を用いた複数リンク活用技術の研究

第 4 世代移動体通信において、移動体は複数の接続環境をアプリケーションの要求に応じて使い分けながら移動する。移動体通信環境において、ノードは複数の特性の異なる通信メディアを持つ。一方、移動体の接続形態としては、インターネット接続、アドホックネットワーク接続という 2 つの形態が存在する。それらの複数の性質の異なる通信メディア、通信環境を状況に応じて使い分けることで様々なアプリケーションを移動体通信環境で利用することができる。

既存のインターネット自動車システムは、通信メディアのメディアタイプのみを考慮した通信路の使い分けを行っている。しかし、マルチホップ通信環境のような動的に通信路の通信品質を変動させるような接続形態を用いた通信を行う際、通信メディアのタイプのみを考慮した通信路選択では、通信路の品質評価を行うことができない。結果としてアプリケーションの要求を無視したデータ転送が行われてしまう。

本研究では、MANET 経路制御プロトコルの拡張を行うことで、動的に変動するマルチホップ通信環境のパス品質評価を行った上で、ポリシ経路制御を行うためのシステムの設計、実装、評価を行った。本論文で提案するアーキテクチャを導入することで、パスの品質評価と通信メディアタイプに基づいたリンク品質評価を同一のポリシ経路制御システムを用いて管理することが可能となる。本研究で提案するシステムを用いることで、インターネット自動車環境におけるアプリケーション開発の可能性が広がる。

キーワード

1. インターネット自動車, 2. マルチホーム, 3. ポリシ経路制御, 4. パス品質測定, 5. OLSR

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

岡田 耕司

<p>Policy-based-routing architecture for InternetCAR system with NEMO and MANET</p>

In the 4G mobile communication, multiple connectivities of mobile nodes are utilized to fulfill different requirements of applications. In the mobile communication environment, nodes manage multiple communication media with different characteristics. Meanwhile, two different types of path known as the Internet connectivity and ad hoc network connectivity are provided from a mobile node. With the utilization of these media and the connectivities of the mobile node, various types of applications can be used in the mobile communication environment.

In the current InternetCAR system, the link decision is based on the characteristics of the media itself. However, when communications involve links where dynamic change in its quality is expected as in multi-hop communication environment, evaluation of the path quality is not possible from the media type. As a result, data transfer occurs without consideration of the requirement from applications.

In this study, a policy based routing system which evaluates the path quality of multi-hop communication environment is designed, implemented and evaluated as an extension to the MANET routing protocol. By integrating the proposed architecture, evaluation of link quality based on path quality and media characteristics can be managed on a single policy based routing system. The proposed system provides possibilities for development of broad applications for the communication environment of InternetCAR .

Keywords :

1. InternetCAR, 2. Multi-home, 3. Policy-based-routing, 4. Path quality evaluation, 5. OLSR

Graduate School of Media and Governance, Keio University

Kouji Okada

目次

第1章	序論	1
1.1	背景	1
1.2	本論文の目的	2
1.3	本論文の構成	2
第2章	インターネット自動車モデルにおける次世代通信環境	3
2.1	移動体通信環境の現在と未来	3
2.1.1	移動計算機環境の現在	3
2.1.2	第4世代移動体通信環境	4
2.2	無線通信メディア	5
2.2.1	無線通信メディアの特徴	5
2.2.2	無線通信メディアの整理	6
2.3	ネットワークモデル	7
2.3.1	マルチホップ通信モデル	7
2.3.2	インターネット接続モデル	8
2.4	移動体通信支援技術	8
2.4.1	エンドネットワークにおけるマルチホーム通信環境	8
2.4.2	マルチホーム通信環境に関連する技術	9
2.4.3	インターネット自動車通信環境要素技術	11
2.5	インターネット自動車通信環境	13
2.5.1	インターネット自動車プロジェクト	13
2.5.2	車内ネットワーク	14
2.6	次世代インターネット自動車モデル	16
第3章	想定通信モデルと機能要求	18
3.1	想定通信モデル	18
3.2	想定アプリケーション	19
3.3	機能要求	20
3.3.1	経路管理機構	20
3.3.2	MANET内ノードインターネット接続性	21
3.3.3	ポリシ経路制御	22

第4章	設計	25
4.1	システム概要	25
4.2	経路管理機構	26
4.2.1	経路管理機構への機能要件	26
4.2.2	GNU Zebra	27
4.3	ポリシー管理機構	28
4.3.1	ポリシー項目	28
4.3.2	ポリシーの記述	28
4.3.3	ポリシー送受信	29
4.4	ポリシー実現機構	31
4.5	MANET 経路制御プロトコル	32
4.5.1	経路制御プロトコルを用いた通信路評価	32
4.5.2	MANET 経路制御プロトコルへの要求	32
4.5.3	各経路制御プロトコルの比較	33
4.6	OLSR の改良	34
4.6.1	OLSR の IPv6 対応化	34
4.6.2	OLSR を用いたポリシー変数配布	35
4.7	インターネット接続環境で動作する経路制御デーモンとの連動	36
第5章	実装	39
5.1	OLSR の実装	39
5.1.1	実装環境	39
5.1.2	olsr6d の概要	39
5.1.3	olsr6d の使用方法	43
5.2	ポリシー経路制御 OLSR	43
5.2.1	位置情報取得手法	44
5.2.2	ポリシー経路制御隣接ノード管理部	44
5.2.3	トポロジ管理部と経路表管理部の改変	46
5.3	ポリシー管理サーバの実装	47
第6章	評価	49
6.1	車車間マルチホップ通信路における距離と帯域の相関	49
6.1.1	実験自動車環境と測定手法	49
6.1.2	使用機材	50
6.1.3	走行コース	50
6.1.4	測定結果	51
6.1.5	考察	51
6.2	仮想自動車移動環境におけるポリシー経路制御システムの性能評価	53
6.2.1	実験概要	54
6.2.2	測定結果	57
6.2.3	考察	58

6.3	実験のまとめと考察	59
第7章	結論	60
7.1	まとめ	60
7.2	今後の課題	60

目次

2.1	第4世代移動体通信環境	4
2.2	マルチホップ通信	7
2.3	移動体通信におけるマルチホーム接続環境	9
2.4	自動車通信環境	14
2.5	既存通信路評価ドメインと本研究における通信路評価ドメイン	17
3.1	想定通信モデル	19
3.2	複数の経路制御プロトコルを用いた自動車通信環境	21
3.3	MANET 通信路の動的品質変化	23
4.1	システム概要	25
4.2	Zebra の動作概念図	27
4.3	ポリシ設定ファイルの記述	29
4.4	PBR_RULE メッセージヘッダフォーマット	30
4.5	PBR_RULE メッセージボディフォーマット	30
4.6	IPv6 プレフィクス対応 HNA メッセージフォーマット	35
4.7	PBR_HELLO メッセージヘッダフォーマット	36
4.8	PBR_TC メッセージフォーマット	37
4.9	ホームエージェントとモバイルルータ間でループ	38
5.1	olsr6d のモジュール構造	40
5.2	OLSR 構造体	41
5.3	olsr6d のコマンドラインオプション	43
5.4	車両情報 XML の例	45
5.5	olsr_link_tuple 構造体の改変	45
5.6	olsr_topology_tuple 構造体と olsr_routing_entry 構造体の改変	46
5.7	pbr 構造体	47
6.1	実験自動車環境	50
6.2	走行コース (メビウスリング)	51
6.3	20km/h 走行時の実効帯域 (車間距離 100 - 150m)	52
6.4	30km/h 走行時の実効帯域 (車間距離 100 - 150m)	52
6.5	40km/h 走行時の実効帯域 (車間距離 100 - 150m)	53
6.6	20km/h 走行時の実効帯域 (車間距離 10 - 20m)	53

6.7	30km/h 走行時の実効帯域 (車間距離 10 - 20m)	54
6.8	40km/h 走行時の実効帯域 (車間距離 10 - 20m)	54
6.9	評価ネットワーク環境	55
6.10	ポリシー管理サーバ設定ファイル	56
6.11	MANET 経路制御プロトコルのみの動作	57
6.12	ポリシー経路制御導入時の動作	58

表 目 次

2.1	各無線通信方式の特徴	6
4.1	各 MANET 経路制御プロトコルの比較	34
5.1	実装環境	39
6.1	実験機材	50
6.2	実験機材	56

第1章 序論

本章では、本論文の背景、目的を整理し、本論文の構成を示す。

1.1 背景

現在日本国内の自動車台数は7800万台を越え、私達の生活にとって自動車の存在は欠かせないものとなっている。近年、自動車が持つ情報を自動車内のみで利用するのではなく、自動車外部に公開することによって新しい自動車の利用携帯を模索する動きがある。ITS(Intelligent Transport Systems)[1]に関連した自動車の情報化の流れは注目を集め、多くの組織を巻き込みながら自動車を取り巻くネットワークを用いた新しいサービスが展開されている。

自動車の情報化を議論するにあたり、まず、自動車内における情報発信元を整理する。自動車内には、主な情報発信元として多種多様なセンサノードが存在し、これらのノードからの情報に基づいて自動車の制御が行われている。それらセンサノードが発信する情報を組み合わせることで、これまでに無い形態のサービスを行うことができる。例えば、車両のスピードやブレーキ状態等の車両走行状態や、アクセル開度やハンドル回転角等の車両制御情報を自動車間で交換する事で、自動車同士の協調作業を支援することが可能となり、結果として、交通事故や交通渋滞等さまざまな交通問題を解決できる。

現在、自動車の情報化は一般的なものとなり始めている。自動車メーカー各社により携帯電話を用いた車内へのインターネット接続環境は整備され、自動車内においても家庭、オフィスで提供されているサービスと同様のサービスを享受できる環境の整備が行われている。インターネット自動車プロジェクトは、そのようなインターネットを用いた自動車の情報化を進めているプロジェクトである。インターネット自動車プロジェクトは、WIDEプロジェクト[2]が中心となり、通信基盤としてインターネットを用いた自動車通信環境の整備を実践している。

一方で、自動車の情報化に関連して、車車間でのマルチホップ通信が注目を集めている。車車間マルチホップ通信とは、走行中の自動車間で相互に情報を中継することで、自動車間でのマルチホップ通信環境を実現するものである。自動車間で相互に情報交換することで、事故情報や渋滞情報、緊急車両走行情報などを迅速に自動車間で共有することが可能となる。また、ツーリング時に行われるビデオチャット等のアプリケーションを用いる際には、広帯域、低遅延な通信環境を長時間に渡って継続する必要がある。車車間マルチホップ通信を用いることでそのようなサービスを行うことが

可能となる。

既存のインターネット自動車モデルでは、通信メディアの情報のみを利用した通信路選択が行われている。しかし、そのような手法では、車車間マルチホップ通信環境のように、動的に通信路の通信品質を変化させるような通信環境においては、通信路全体の通信品質を取得することはできず、結果としてアプリケーションの要求を無視した通信路選択が行われる。本研究では、インターネット自動車環境において、パスの通信品質を監視し、アプリケーションの要求に従った動的ポリシー経路制御アーキテクチャを提案する。

1.2 本論文の目的

本研究では、インターネット自動車通信環境において、車車間マルチホップ通信環境のパスの通信品質を監視し、動的なポリシー経路制御を可能とし、アプリケーションの要求に即した通信環境を実現することを目的とする。そのために、MANET 経路制御中から OLSR(Optimized Link State Routing Protocol)[3] を RFC3626 に準拠して実装し、ポリシー経路制御に用いる変数をネットワーク内に配布するための機構の設計、実装を行った。その上で、汎用ポリシー管理サーバの設計、実装を行い、HAKONIWA による仮想自動車走行環境においてシステムの評価を行った。

1.3 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。

第2章では、次世代インターネット自動車通信環境とそれに関わる技術を整理し、本研究で提案するモデルを示す。第3章では、本研究で提案するモデルとそれを実現するための要求事項の整理を行い、それに基づいて第4章で本研究で提案するシステムの設計を示す。第5章でシステムの実装について述べる。第6章では、実験環境の整理と評価結果を示す。第7章に本研究のまとめと今後の課題を示す。

第2章 インターネット自動車モデルにおける次世代通信環境

第4世代移動体通信環境では、複数の通信メディアと通信路を用いた通信を行うことで、通信状況やアプリケーションの要求に応じた広帯域通信環境を実現する。インターネット自動車通信環境においても、第4世代移動体通信環境の配備が進み、複数通信メディアを使い分けるための技術開発が行われている。しかし、既存のインターネット自動車通信モデルでは、通信メディアの特性にのみ従った通信路選択が行われるため、マルチホップ通信環境のように動的にパスの通信品質が変動するような通信環境においては、アプリケーションの要求を無視した通信路選択が行われる可能性がある。本章では、既存のインターネット自動車通信環境の問題点を明確化するため、移動体環境における通信メディア、通信ネットワークモデルを整理し、インターネット自動車環境を取り巻く技術を整理する。その上で、既存モデルの問題点を指摘し、本研究で提案する通信モデルを示す。

2.1 移動体通信環境の現在と未来

本節では、移動計算機環境の現状を整理し、次世代移動体通信環境である第4世代移動体通信環境について述べる。

2.1.1 移動計算機環境の現在

携帯電話やPDA等の携帯端末の普及に伴い、個人が常時同一の計算機環境を用いることが一般的となっている。一方、それらの移動計算機に対してインターネット接続性を提供するサービスの普及が行われている。携帯電話を用いたWebブラウジングやEメールのようなTCP/IPを用いたサービスは、既に我々のコミュニケーションにとって基盤であり、音楽配信や映像配信のようなサービスの展開も行われている。個人にとって、移動端末は従来の携帯型アミューズメント機器の機能をすべて兼ね備えた統合的インターフェースとなっている。

一方、移動計算機環境を支援する環境として、無線ホットスポットの展開も飛躍的に進んできている。無線ホットスポットとは、駅や空港等の公共施設や飲食店等の街中の施設において、無線LAN技術を用いたアクセスポイントを設置することで、移動計算機にインターネットへの接続性を提供するサービスである。2001年より始まった

Hi-FIBE における無線ホットスポット実証実験を皮切りに通信事業者各社によるホットスポット事業の展開が行われている。無線ホットスポットによって、街中でも無線 LAN 技術による広帯域な通信を行うことが可能となり、自宅以外の場所でも TV 品質のビデオストリーミングを受信することができる。

移動体通信環境の配備が進む中、現在、第 4 世代移動体通信に関する議論が進んでいる。第 4 世代移動体通信環境では、個人端末の高度化に伴い、携帯端末によるキャッシングや TV 番組の受信、あるいは家電の操作を行うことを想定している。2005 年までの要素技術の確立、2010 年までの実用化を目指して、総務省主導による第 4 世代無線通信技術に関する議論が行われている。

2.1.2 第 4 世代移動体通信環境

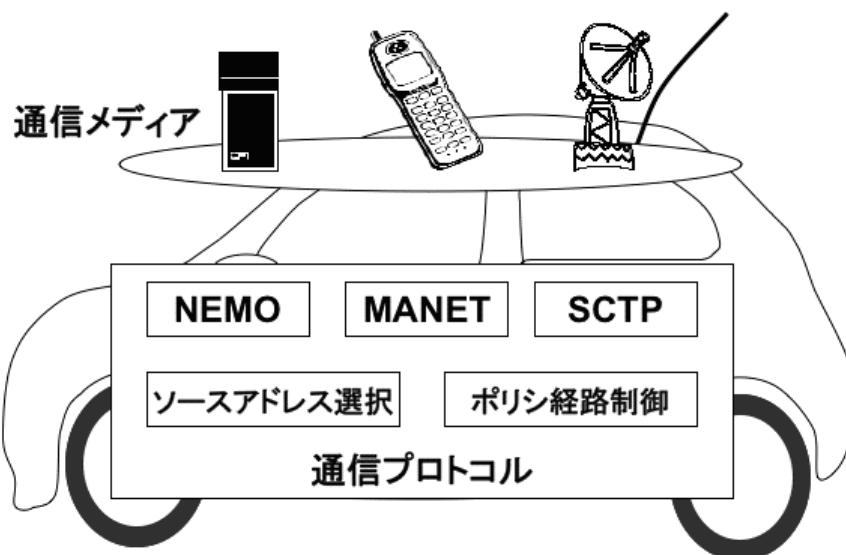


図 2.1: 第 4 世代移動体通信環境

第 4 世代移動体通信技術は、数十 Mbps の大容量無線通信環境を各種個人用移動端末へと提供するための技術である。第 4 世代移動体通信技術は、複数の通信基盤技術の中からユーザのネットワーク利用状況に応じた、通進路、通信メディアの選択を行った上で、それらを使い分けることで、ユーザの要求に応じた移動体通信環境を実現する(図 2.1) 移動体通信環境は、移動計算機の実用上、無線メディアを前提とした通信環

境の整備が行われている。第4世代移動体通信環境では、移動体は複数の通信メディアを用いた通信を行う。

複数の無線通信メディアは、ユーザの利用状況に応じた使い分けられることが望ましい。例えば、携帯電話の基盤環境が敷設されていない地域での通信は衛星通信を用いることで解決できる。しかし、衛星通信を常時使い続けることは、通信コスト、利用可能資源の制限の観点からも望ましくない。また、音声通話には携帯電話を通信メディアとして用い、ビデオストリーミングのような広帯域な通信を要求するアプリケーションには、狭域無線 LAN 技術を用いた通信を行うこと等、通信メディアの特性を活かした通信が行われるべきである

複数の通信メディアを用い、アプリケーションの要求に応じた通信を行うためには、ネットワーク層、トランスポート層において、利用通信メディアの選択を行うための技術が必要となる。また、複数通信メディアを用いて複数のネットワークに接続するマルチホーム通信環境では、接続ネットワークを通信路と捉えた通信路選択を行う必要がある。さらに、移動体同士の通信を行う際には、インターネットを経由した通信と、マルチホップ通信環境を利用したショートカット通信経路による通信という特性の異なる通信形態が存在する。第4世代移動体通信において、複数の通信メディア、接続ネットワーク、通信形態の特性を把握した上でそれぞれを使い分ける技術が必須となる。

本章では、2.2節で移動体通信に関わる通信メディアの整理を行う。2.3節では、移動体における通信形態であるネットワークモデルについて述べ、2.4節において移動体通信環境を支援する技術の整理を行う。その上で、本研究の前提環境であるインターネット自動車のネットワークモデルを2.5節に整理し、2.6節において既存技術の問題点を示す。

2.2 無線通信メディア

本節では、第4世代移動体通信環境を実現する通信メディアについて述べる。

2.2.1 無線通信メディアの特徴

無線メディアは、移動体と定点、あるいは移動体同士を接続するための無線リンクを形成するためのメディアである。無線リンクは通信範囲における共有型リンクであると言える。共有型リンクでは、複数のノードによって限られたネットワーク資源を共有するため、リンク接続ノード数の増大と共に1ノードに割り当てられる資源は減少する。つまり、通信範囲として広範囲にわたる通信形式では、資源共有地域の拡大に伴って、資源共有ノード数が増加するため1ノードあたりの利用可能資源は減少する。しかし、広範囲に渡って通信が継続されるため、通信の安定性は高い。通信範囲が狭域になれば、資源共有ノード数の減少に伴い、利用可能資源は増加する。しかし、移動に伴う通信範囲の切替えが頻繁に起こり、通信の安定性は低くなる。

2.2.2 無線通信メディアの整理

本論文では、各無線メディアを特徴に応じて、狭域通信メディア、中域通信メディア、広域通信メディア、超広域通信メディアの4タイプに分類する。各無線通信メディアの特徴を表 2.1に整理する。

表 2.1: 各無線通信方式の特徴

メディアタイプ	狭域	中域	広域	超広域
最大帯域	54Mbps	70Mbps	2Mbps	64Kbps
通信範囲	数十～数百 m	50km	数百～数千 km (1 基地局は最大で 13km 程度)	数千 km

狭域通信メディアは、通信範囲を数十から数百メートルとする通信メディアである。狭域通信メディアの特徴として、通信範囲の狭さから、電波行政に縛られない局設置、局運用を行うことができ、安価かつ容易な局設置を行えることをあげることができる。狭域通信メディアは、IEEE 802.11 技術を代表として、エンドネットワークにおける基盤技術として不可欠なものとなっている。一般的に無線 LAN という用語は、IEEE 802.11 関連技術の総称として用いられる。現在、IEEE 802.11 によるデータ搬送技術として、IEEE 802.11a[4]、IEEE 802.11b[5]、IEEE 802.11g[6] が標準化されている。これらの技術は、伝送速度 11～54Mbps の広帯域通信環境を実現する。

中域通信メディアは、都市規模における通信を対象とする通信メディアである。無線 MAN(Metropolitan Area Network) を支える技術として、IEEE 802.16 をあげることができる。IEEE 802.16[7] は、10～66GHz の周波数帯を用い、1 台のアンテナで半径約 50km の見通し可能な移動体に対して接続性を提供することが可能である。IEEE 802.16 は、30～130Mbps の伝送速度によるポイントトゥポイント通信を実現する。また、IEEE 802.16 の派生技術である IEEE 802.16a[8] は、最大伝送速度 70Mbps を実現し、見通し外通信、ポイントトゥマルチポイント通信を実現する。

広域通信メディアは、国規模における通信を対象とする通信メディアである。携帯電話や PHS のような通信メディアが広域通信メディアにあたる。現行携帯電話である第 3 世代携帯電話の特徴として高速なデータ搬送速度、良質な音声品質、国際的なローミングサービスをあげることができる。第 3 世代携帯電話として、マルチバンドデータ転送技術である W-CDMA、1.25Mhz 周波数帯を 1、あるいは 3 チャンnel用いる cdma2000 が主流である。

超広域通信とは、衛星通信を行うことで地球規模の通信環境を実現する通信である。INMARSAT(International Maritime Satellite Organization)[9] は、船舶の運航管理や安全対策を目標としたシステム開発を行う組織、また、該組織において開発、運用される衛星通信システムのことである。INMARSAT 衛星通信システムは、赤道軌道上の 9 基の静止衛星を用いて、最大 64Kbps の伝送速度による通信を提供する。GMMSS(Global MultiMedia Satellite System) は、低高度軌道衛星を用いたマルチメディアデータを携

帯端末に伝送する大容量移動体通信システムである。GMMSSは個人向けマルチメディアデータの転送を前提とするため、2Mbps程度の伝送速度による双方向通信環境を実現する。現在、GMMSSに関連した要素技術の開発、検証が行われており、今後は宇宙実証実験に向け、実験衛星の実現、配備を行う予定である。

2.3 ネットワークモデル

本節では、移動体における通信モデルとしてマルチホップ通信モデルとインターネット接続モデルについて述べる。

2.3.1 マルチホップ通信モデル

マルチホップ通信は、各移動ノード間でパケットを中継することにより移動ノード間のマルチホップ通信環境を実現する。

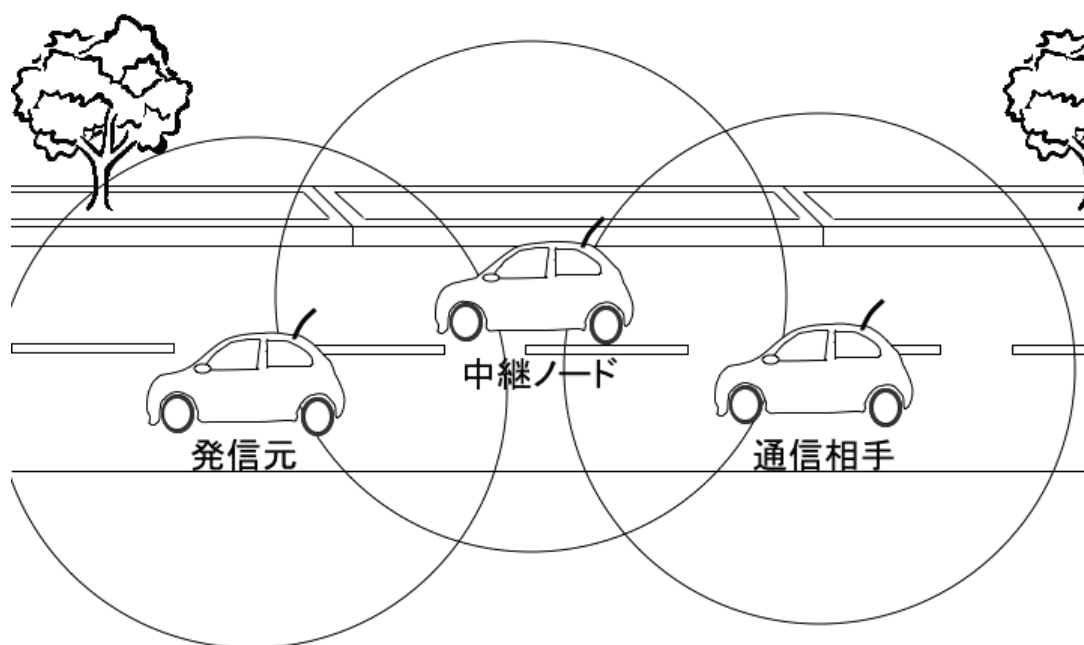


図 2.2: マルチホップ通信

マルチホップ通信によって、中継ノードによる無線環境の拡張を行うことができる。図 2.2において、情報の発信元ノードの狭域無線機器の通信範囲は中継ノードへのみ

達する。その際、中継ノードが通信先ノードへとデータ転送を行うことによって発信元ノードの無線通信範囲を越えた通信を行うことが可能となる。

2.3.2 インターネット接続モデル

インターネット接続モデルとは、各種無線デバイスを用いてインターネットに1ホップで接続する通信モデルである。インターネット通信モデルでは、通信品質は接続に用いる通信メディアの種類に大きく依存する。ここでいう通信品質は、アプリケーションの要求に基づくものであり、実効帯域、遅延、接続安定性をあげることができる。例えば、狭域通信メディアを用いる通信は、実効帯域、遅延という観点から資源は豊富であるが、その通信範囲の狭さから通信の安定性は低い。一方、広域通信メディアを用いる通信は、通信範囲の広さから通信安定性は高いが、相対的に資源共有ノード数が増えるため、通信資源に制約が課される。以上のように、インターネット接続モデルにおいて、接続に利用する通信メディアによって通信の特徴は定義される。

2.4 移動体通信支援技術

本節では、移動体通信におけるマルチホーム通信環境と、インターネット自動車に接続性を提供するための通信技術について述べる。

2.4.1 エンドネットワークにおけるマルチホーム通信環境

第4世代移動体通信環境において、移動体は複数のメディアを持ち、それらのメディアを状況に応じて使い分けながら通信を継続する。複数メディアの同時利用を行うことで、インターネットへの複数の接続点を確保することができ、無線リンクによる不安定な接続性を冗長化し、結果として安定した通信を継続することが可能となる。また、複数のメディアを用いて、複数の接続点へ接続することで、ノードの利用可能資源を増加させることができる。

マルチホーム接続とは、複数のネットワーク接続点を保持することで、ネットワークの耐障害性、通信の安定性を高め、実効帯域や遅延といった通信品質を改善する接続形態である。移動体通信におけるマルチホーム接続環境は、移動体、あるいは移動ネットワークが複数の接続点に接続する環境を示す(図2.3)。そのような環境では、移動体は複数のネットワークからそれぞれのネットワークのアドレスを取得する。さらに、移動体に対する移動透過性を実現するMIP(Mobile IP)では、ホームアドレスという特殊なアドレスを用いる。それら、複数存在するIPアドレス中から適切なアドレスを選択し、通信するための技術が必要となる。

複数の接続性を活用するためのアプローチには、2つの手法がある。複数の接続性を単一のものとして扱い、アプリケーションに対して接続性があたかも1つであるかのように見せる手法と、アプリケーションの要求に従い、通信路を使い分けるための手

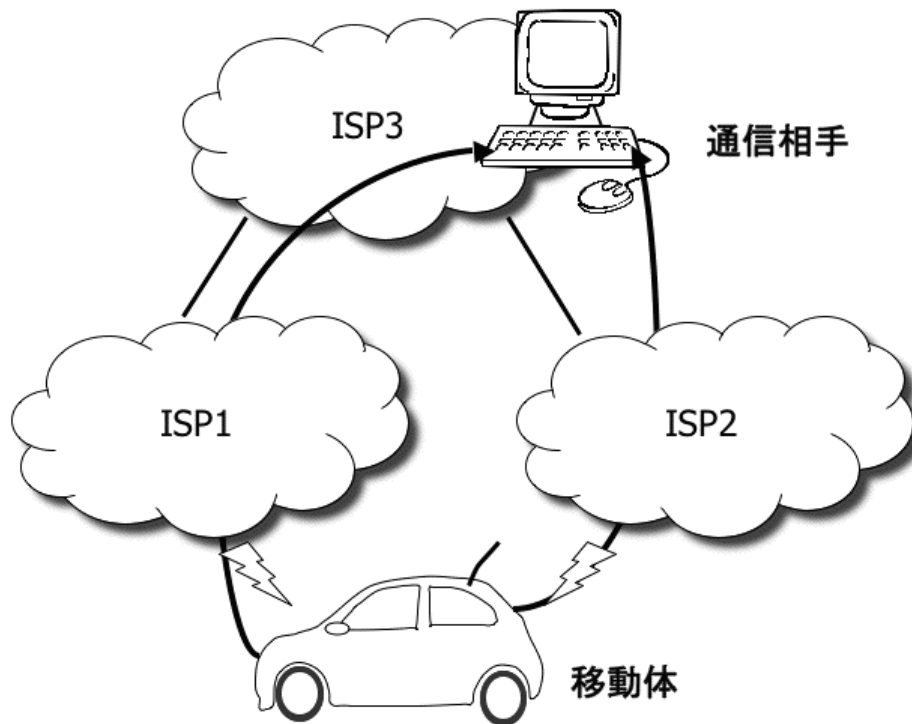


図 2.3: 移動体通信におけるマルチホーム接続環境

法である。前者は、グループ化される通信路の品質が類似する際に効果を発揮し、後者は、通信路の品質が異なる際に効果を発揮する。マルチホーム通信環境では、複数の通信路を効果的に統合、あるいは使い分けを行うことが重要となる。

2.4.2 マルチホーム通信環境に関連する技術

本項では、マルチホーム環境において複数の IP アドレスから適切な通信相手アドレス、送信元を選択するための技術としてソースアドレス選択 [10]、複数の通信路を 1 つのアプリケーションで用いるための技術として SCTP(Stream Control Transmission Protocol)[11]、そして、アプリケーションの要求に応じた通信路選択技術としてポリシー経路制御技術を取りあげ、それぞれの技術について述べる。

ソースアドレス選択

ソースアドレス選択は、RFC 3484 で規定される IPv6 における発信元アドレス選択技術である。IPv6 を用いたインターネット環境において、インターネット上のホストは複数の IP アドレスを用いた通信環境をネットワーク層において構築することが一般

的になることが予想される。そのような環境では、通信相手の IP アドレス、自身の発信元 IP アドレスの対の可能性は複数存在する。ソースアドレス選択技術は、それらの対の中から通信の特徴に応じた対選択を行うことを可能とする。

従来の手法では、特定の相手先との通信を行う際に、一意のアドレスが送信元アドレスとして選択される保証は無い。TCP/IP による通信では、あるデータに対する返信パケットの送信元ホストへの送出手は、受信パケットの送信元アドレスフィールドを参照して行われる。従来の手法では、パケット送出毎に異なるアドレス対を用いる可能性があり、アドレス対によって通過経路が異なるインターネット上において、通信相手への通信品質を保証することができない。ソースアドレス選択技術によって、特定の通信相手への通信において、常に同一のアドレス対を用いることが可能となる。

ソースアドレス選択技術は、ポリシテーブルに基づいた発信元アドレス選択アルゴリズムと、通信先アドレス選択アルゴリズムで構成される。ポリシテーブルには、ラベル、優先度に変数として設定され、通信先アドレスは優先度に基づいて最長一致アルゴリズムを用いて検索される。発信元アドレスは通信先アドレスのラベルに基づいて最長一致アルゴリズムを用いて自身に割り振られた IP アドレスの中から検索され、最適なアドレスが発信元アドレスとして使用される。

SCTP(Stream Control Transmission Protocol)

SCTP は、RFC 2960 で規定されるトランスポート層で動作する信頼保証型通信プロトコルの 1 つである。SCTP は chunk と呼ばれるデータ単位でのメッセージ送信を行い、複数のユーザデータを単一のデータグラムで送信することで通信の効率性を向上させることができる。また、マルチホーミング環境において、あるパスのネットワーク層でのエラーを検知し、別パスを経由したデータ転送を行うことで、通信の信頼性を向上させることができる。さらに、TCP と同様の輻輳制御手法、フロー制御手法を持つ。

ポリシ経路制御

ポリシ経路制御は、複数存在する宛先への通信路中からユーザの要求に従った通進路選択を行うための技術である。ポリシ経路制御手法は、組織網の接続点におけるパス選択手法と組織網内部におけるパス選択手法に大別される。組織網の接続点において、他組織にデータを転送する際、BGP(Border Gateway Protocol) を用いたデータ転送先組織の決定を行うことで、複数通信路に対するデータの振り分けを行うことが可能となり、データ転送による負荷の分散を図ることができる。これに対し、後者の手法は、組織網内における複数パス中からアプリケーションの要求に基づいてパス選択を行う技術である。本研究では、以下、後者のポリシ経路制御手法をポリシ経路制御技術と定義する。

2.4.3 インターネット自動車通信環境要素技術

本項では、インターネット自動車通信環境において、インターネット接続環境を提供する NEMO と車車間マルチホップ通信環境を提供する MANET 経路制御プロトコルについて述べる。

移動ネットワーク

移動ネットワークとは、MIP のような移動体単体に対して移動透過性を提供する技術とは異なり、ネットワークを代表するルータが移動管理を行うことで、ネットワークに参加するノードに移動透過性を提供するネットワークモデルである。移動ネットワークの技術を用いることで、ネットワーク内のノードは移動に伴うネットワーク切替えを意識すること無く通信を行うことが可能となり、自動車や電車、飛行機などの移動体集合において通信オーバーヘッドを軽減することが可能になる。

NEMO は、MIPv6 の拡張により、ネットワークの移動を支援する技術である。自動車内には特性の異なる複数の車内ネットワークが存在する。MIPv6 のようなノード単体での移動透過性を実現する技術とは異なり、NEMO はモバイルルータが代表して NEMO のプロトコルスタックを持つことで、ネットワーク内のノードに移動を隠蔽化する。したがって、移動ネットワーク内のノードは、個別の移動計算機技術を保持する必要がなく、通信の効率化、ノードの機能の最小化を図ることができる。

NEMO におけるモバイルルータは、ホームエージェントで集約可能なネットワークプレフィクスの一部を委譲されたモバイルプレフィクスによって識別される。モバイルルータは、移動先ネットワークから得たアドレスとモバイルプレフィクスとの関連付けを行うメッセージをホームエージェントに登録する。その上で、モバイルルータはホームエージェントと双方向での IP トンネルを確立し、モバイルネットワーク内のノードから送出されたデータはモバイルルータ上の IP トンネルを用いて転送されることになる。移動ネットワーク宛てのデータは、ホームネットワークに到達し、ホームエージェントの転送により IP トンネルを介して移動ネットワークに転送される。

MANET

MANET 経路制御技術は、TCP/IP を用いたアドホックネットワーク形成技術である。アドホックネットワークとは、既存の通信インフラストラクチャに依存すること無く、中継機能を持つ中間ノードを経て、通信元ノードから通信先ノードへのデータ転送を行う「場あたりのな」マルチホップネットワークのことである。無線アドホックネットワーク形成技術として、MANET 経路制御プロトコルが IETF(Internet Engineering Task Force) 内 MANET ワーキンググループにおいて議論されている。MANET 経路制御プロトコルはネットワーク内に存在する各ノードが経路制御を行い、ネットワーク層によるパケット転送環境を実現する。本研究では、アドホックネットワーク構築

技術として MANET 経路制御プロトコルを用いる。

MANET 経路制御プロトコルは、大きくリアクティブ型、プロアクティブ型の 2 つのタイプに分類される。リアクティブ型の経路制御プロトコルは、通信開始時に要求に応じて動的に経路探索を行い、宛先までの経路情報を取得する。リアクティブ型経路制御プロトコルは、周期的なメッセージングによるネットワークへの負荷が低減される反面、通信開始時に経路検索のタイムラグが生じる。プロアクティブ型の経路制御プロトコルは、予め周囲の経路状態を周期的なメッセージングによって取得し、経路表を作成する。そのため、メッセージングによるネットワークへの負荷を低減するための機能が必須となる。

MANET ルーティングプロトコルは、現在、プロアクティブ型経路制御プロトコルとして、OLSR(Optimized Link State Routing Protocol), TBRPF(Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding)[12]、リアクティブ型経路制御プロトコルとして DSR(Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks)[13], AODV(Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing)[14] の 4 つのプロトコルが議論されており、DSR を除く 3 つのプロトコルは Experimental RFC として標準化された。

以下にそれぞれの経路制御プロトコルの特徴を示す。

- OLSR

OLSR は 2003 年 10 月に Experimental RFC として IETF において標準化されたプロアクティブ型経路制御プロトコルである。OLSR の特徴は、MPR(Multi-Point-Relay) 選択による独自のメッセージフラディング手法にある。あるノードによって、MPR として選択されたノードはそのノードからのメッセージを転送する役割とそのノードとのリンク情報を経路情報としてネットワークにフラディングする役割を持つ。MPR 選択アルゴリズムは、2 ホップのノードへのメッセージ到達性を基に計算され、無線セルを経由する重複パケットが最小限となることを実現している。

- TBRPF

TBRPF は 2004 年 2 月に Experimental RFC として IETF において標準化されたプロアクティブ型経路制御プロトコルである。TBRPF は隣接ノード発見モジュールと経路制御モジュールによって構成される。隣接ノード発見モジュールは、安定したリンク選択のため、数回の HELLO メッセージのやりとりの後にリンクの成立を認める。経路制御モジュールでは、ノードは自身をルートとした経路ツリーを構成する。さらにこの経路ツリーはネットワーク全体で厳密に共有される。それにより、ノードは自身がネットワーク内に配布すべき経路情報をソースツリーの中から選択可能となる。したがって、ノードは必要最小限の経路情報のみを転送することが可能となる。

- DSR

DSR はソースルーティングを用いたリアクティブ型経路制御プロトコルである。DSR による経路生成は、ノードがある宛先への経路要求を送信し、宛先からの

返信を中継ノードが転送する際に、中継ノードはソースルーティングのリストに自身のアドレスを記述することで行われる。それにより、要求送信元ホストに返信が到達した時点で宛先までのソースルーティングによる経路が作成される。また、中継ノードは自身のアドレスをソースルーティングリストに追加する前に、その時点での返信送信元へのソースルーティングリストを保持することで返信送信元への経路を得ることができる。

- AODV

AODV は 2003 年 7 月 Experimental RFC として IETF において標準化されたりアクティブ経路制御プロトコルである。AODV は、経路表駆動型経路制御プロトコルであるため、パケットの送信ノードはネットワーク内の全ての経路を知る必要がない。AODV は常に最新の経路を保持するために、経路情報にシーケンス番号を割り当てて管理する。最新の経路情報を保持することでパケットの転送ループを回避する。経路要求を受け取った際、ノードは自身の経路表に該当する宛先への経路が存在すれば、最新のシーケンス番号の経路を要求元へと送信することができる。また、リンク切断時には経路修復を行うことで、他ノードの経路表更新を低減することも可能である。

2.5 インターネット自動車通信環境

本節では、本研究の前提環境であるインターネット自動車通信環境を整理する。

2.5.1 インターネット自動車プロジェクト

インターネット自動車プロジェクトは、1996 年に WIDE プロジェクトにより発足され、以来、移動するオブジェクトである自動車をインターネットに接続するための技術開発、ならびに自動車の情報に基づいたアプリケーションの開発を行ってきた。インターネット自動車プロジェクトは、インターネットに関わる技術を視点の基盤に持ち、自動車の情報化に関する技術開発と大規模実証実験を行っている。現在、ITS(Intelligent Transport Systems) に注目が集まる中、インターネット自動車プロジェクトが自動車の情報化において果たす役割は大きい。

インターネット自動車プロジェクトは、自動車を移動ネットワークとして捉えた上で、TCP/IP による無線メディアを用いた通信システムの構築を行っている。TCP/IP を通信基盤技術として用いることで、特定のアプリケーションの要求に特化しない汎用的な通信基盤の構築を行うことが可能となる。インターネット自動車は、無線 LAN 技術、携帯電話網、衛星通信等の多様な無線デバイスを、メディアの通信状態に従って切替えながら移動する。車載ルータがそれらのメディアの切替えを車内ネットワークに対して隠蔽化することで、車内通信装備が車内ノード毎に冗長化される問題を回避することが可能である。

自動車を取り巻く通信環境を図 2.4に示す。

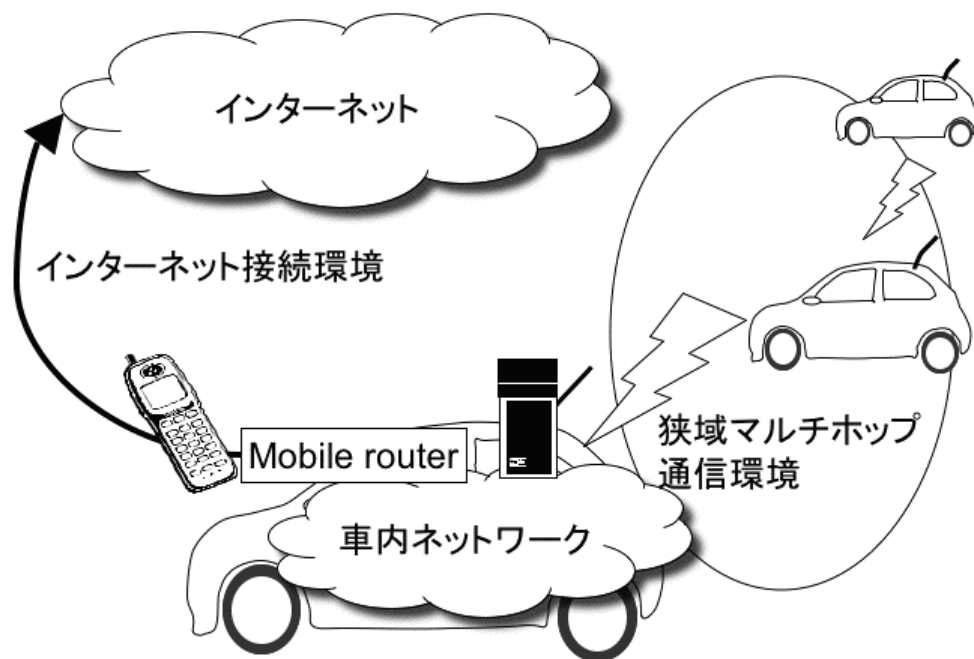


図 2.4: 自動車通信環境

自動車を取り巻く通信環境には、自動車内のノード間で行われる通信のための基盤ネットワークである車内ネットワークと、自動車内のノードが自動車外のノードと通信するための車外通信環境が存在する。以下にそれぞれの通信環境について詳述する。

2.5.2 車内ネットワーク

自動車内には、センサノードを始め、搭乗者用端末や、車両情報管理サーバ等の多種多様な計算機が存在する。それらのノードが自律的に用途に応じた独自の通信環境を用いる手法は、通信の確実性を高められる反面、汎用的な通信環境の実現を困難とする。そのような手法では、新たな機能を持つ計算機を自動車内に導入するたびに、通信基盤もまた新たに敷設する必要があり、非効率的であるといえる。TCP/IP の技術は汎用的な通信環境をインターネットを支える汎用通信基盤であり、TCP/IP を用いて自動車通信環境を整備することで、自動車内の汎用通信環境を実現できるだけでなく、自動車外のノードとの通信環境を構築することが可能となる。本研究では、TCP/IP を用いた自動車通信環境の構築を目指す。

また、本研究では、自動車内に外部接続性を提供するためのモバイルルータを前

提とする。自動車内ネットワークにおいて、センサノードに代表される各ノードは小型化されることが望ましい。センサの種類は多岐に渡り、その数は大規模なものとなる。移動体である自動車において、空間もまた限られた資源であり、ノードの小型化によって空間資源も節約されることが必要である。したがって、ノードの小型化を実現するために各ノードの機能は限定されるべきであり、自動車内ノードのそれぞれが移動透過性を実現するための機能を搭載することは冗長であるため望ましくない。本研究では、モバイルルータによって自動車内ネットワークに対する移動透過性を実現することを前提とする。

車内ネットワークは以下の通りに分類することができる。

- マルチメディア系ネットワーク

マルチメディア系ネットワークは、カーナビゲーションシステムやカーオーディオ等、ユーザに対して娯楽や利便性を提供するためのノードで構成されるネットワークである。このネットワークは、既存の通信環境を構築しない、あるいは現在 TCP/IP の機能を用いた通信基盤の構築が行われていることから、前提とする車内通信環境の実現が最も早期に行われると想定されるネットワークである。マルチメディア系ネットワークを TCP/IP の機能を用いて実現することで、位置情報、時間情報を基に自宅の音楽サーバから音楽データをストリーミングで受信し、状況に最も適した音楽再生サービスを実現することができる。また、事故情報、渋滞情報を動的に周囲の自動車、交通情報管理サーバから収集することによって、最新の情報を基にしたカーナビゲーションシステムの構築を実現することが可能となる。

- ボディ系ネットワーク

ボディ系ネットワークは、ヘッドライト、パワーウィンドウ等、自動車のボディ制御に関わるノードで構成されるネットワークである。通信の確実性、即時性に対する要求は中程度であり、マルチメディア系ネットワークにつぐネットワークの IP 化が予想される。ボディ系ネットワークでは、車内ノード間の通信が主となり、パワーウィンドウスイッチの要求に基づいたウィンドウ開閉用モータの動作等の通信に用いられる。

- 制御系ネットワーク

制御系ネットワークは、ブレーキ、エンジン、アクセル等の自動車の制御系に関わるノードで構成されるネットワークである。制御系ネットワークの通信環境を配備することで、自動車間での自律運転等のサービスを行うことができる。例えば、前方を走行中の自動車のブレーキ状態を取得し、それに基づいた速度調整を行うことで、追突事故防止を実現することができる。制御系ネットワークの通信の確実性、即時性に関する要求は非常に高く、TCP/IP を用いたネットワーク構築は困難であることが予想される。

本研究では、以上の車内ネットワークのうち、マルチメディア系ネットワークにおける通信を主な対象とする。マルチメディア系ネットワークが想定する環境には、多様なノード、アプリケーションが存在し、自動車外通信に対する要求も多岐に渡る。したがって、マルチメディア系ネットワークにおける車外通信の実現を行うことで、他自動車内ネットワークの車外通信を行う際の要求を満たした通信環境の実現を支援できる。

2.6 次世代インターネット自動車モデル

第4世代移動体通信環境の配備により、既存のインターネット自動車モデルでは、複数の通信メディアを用いた通信環境が構築されている。移動体としてのインターネット自動車は、電源的、空間的な余裕があり、比較的大規模な通信環境を構築することが可能であり、2.2節で整理した全ての形態の通信メディアを装備することが可能である。既存のインターネット自動車システムは、通信メディアをメディアタイプに基づいて使い分ける。例えば、広域通信メディアの通信品質は、2.2節で整理したように狭帯域かつ高遅延であると言える。このように通信メディアの使い分けは、メディアタイプを把握することで通信品質を判断することができる。

しかし、マルチホップ通信環境のように動的に通信品質を変動させる通信環境を経由した宛先への通信品質はメディアタイプによっては把握することができない。マルチホップ通信環境においては、動的にネットワーク構成の変動が生じる。そのため、宛先までの経路中継ノードの増減に伴い、パスの品質は動的に変化する。また、無線マルチホップ通信環境において、隣接ノードとの間のリンクの品質も動的に変化する。したがって、狭域通信メディアを用いたマルチホップ通信環境の構築を行った際にも、利用メディアタイプを考慮するのみではパスの品質評価を行うことができず、アプリケーションの要求を無視したデータ転送が行われる。

次世代インターネット自動車通信環境において、パスの通信品質を動的に評価することで、従来のインターネット自動車における通信メディアの使い分けと同一の手法を用いた複数リンクの使い分けを行うことが可能となる(図2.5)。つまり、宛先へのパスの品質とリンクの品質の抽象化を行い、それに基づいた通信路選択を行う汎用通信路選択環境の構築が行われる。本研究では、インターネット自動車環境において、そのような次世代インターネット自動車通信環境を構築する。

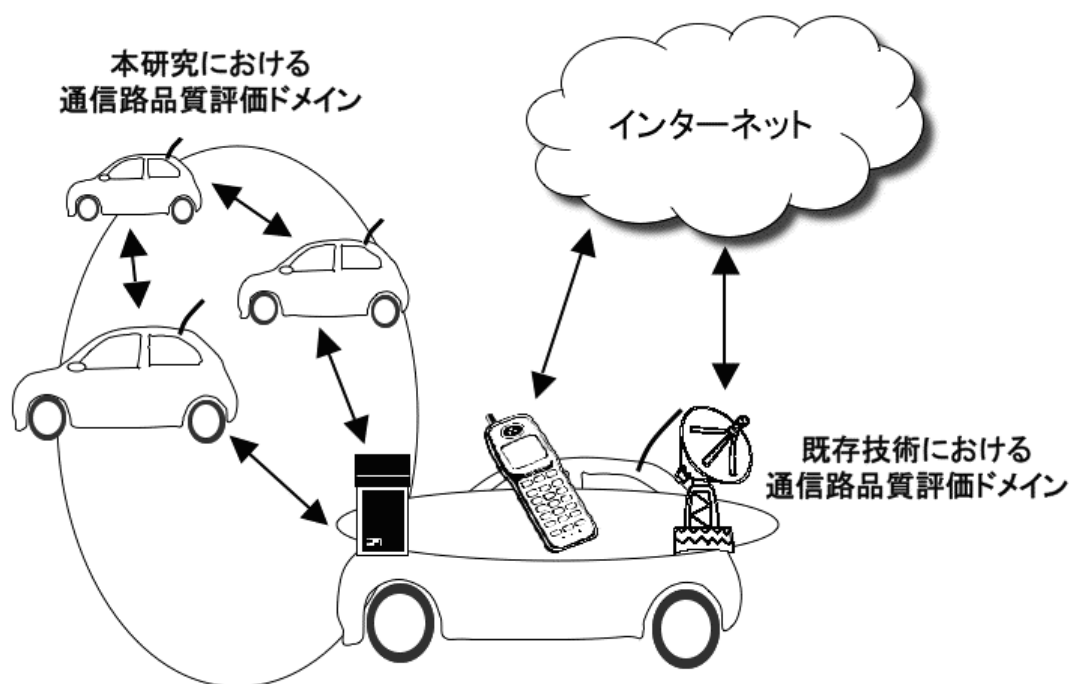


図 2.5: 既存通信路評価ドメインと本研究における通信路評価ドメイン

第3章 想定通信モデルと機能要求

本章では、想定通信モデルについて述べ、その環境を実現するための要求事項の整理を行う。

3.1 想定通信モデル

本研究では、広域通信環境と狭域マルチホップ通信環境の動的切替えを行うことで、アプリケーションの要求や通信状態に応じた通信の実現を行う。車内ネットワークの移動透過性を実現するため、車載モバイルルータを設置し、インターネットへの接続を実現する。その際、自動車の広域通信環境はNEMOのために用いる。

NEMOはトンネル経由でホームエージェントへの仮想的な1ホップでの接続環境を実現するため、複数インターフェースのサポートも行っている。NEMOで複数インターフェースを用いる際、広域通信メディアと狭域通信メディアの切替えは高いオーバーヘッドを発生させる。広域通信メディアを用いて通信を行っていた自動車が公衆アクセスポイントを発見した際、そのアクセスポイントからモバイルルータはアドレスを取得する。さらに、移動に伴い自動車が公衆アクセスポイントの通信範囲から外れた際には、広域通信メディアへとトラフィックを切替える。結果として、通信を行う際のオーバーヘッドの頻度が高くなり、通信の安定性が損なわれる。NEMOによる通信は、インターネットへの安定的な通信が実現できる携帯電話等の広域通信メディアを用いることが望ましい。

本研究では、車車間マルチホップ通信環境の実現のために、MANET経路制御プロトコルを用いる。MANET経路制御プロトコルを用いる事で、動的にネットワークの構成変化が生じる車車間マルチホップ通信環境において、その変化に対応した通信相手への通信を行うことができる。その際、本研究では、自動車に割り当てられたモバイルプレフィクスに対する経路が各自動車により、MANET網に広告されていることを前提とする。モバイルプレフィクスをMANET網に広告することでモバイルルータのみでなく、自動車内のノードも車車間マルチホップ通信網経由で互いに通信を行うことが可能となる。

自動車内のノードは他の自動車内のノードと通信する際、上述の2つの通信路を用いて通信を行うことが可能となる。NEMOによる広域通信環境を用いることでインターネットを経由し、相手自動車の広域通信環境を通じた通信相手先への到達が可能となる。また、MANET経路制御プロトコルを用いた車車間マルチホップ通信環境においても、広告されたモバイルプレフィクスに基づいて、同一のアドレスに向けて通信を

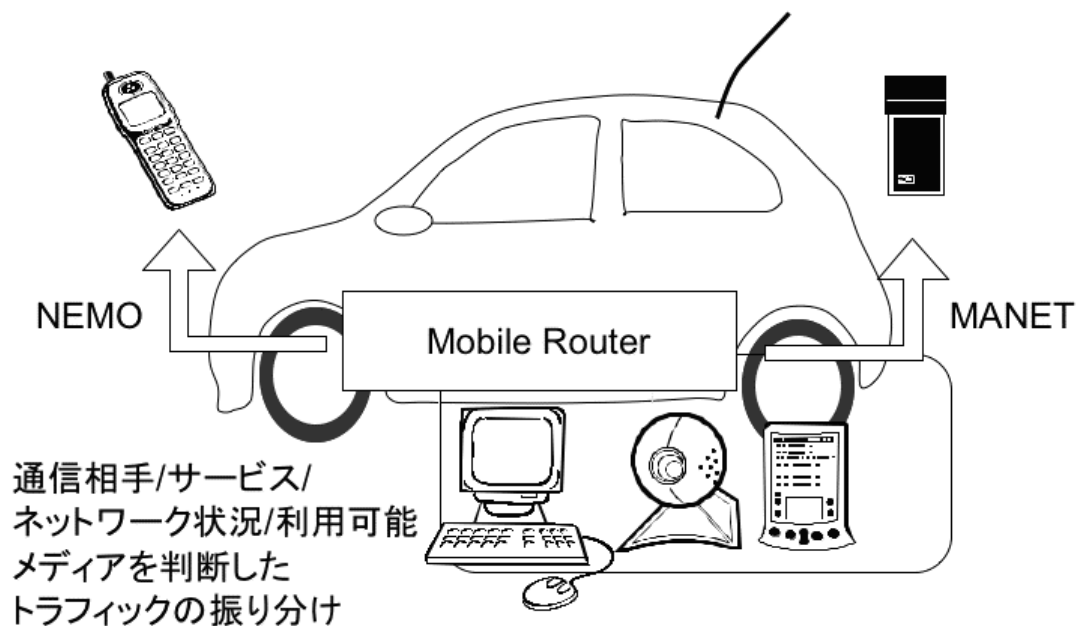


図 3.1: 想定通信モデル

行うことができる。上記の性質の異なる通信路を用いたデータ転送を行うことで、インターネット自動車システム上に性質の異なる2つの通信環境を実現できる。さらに、車車間マルチホップ通信環境では、前章で提案したパス評価を行うことで、効果的な通信路選択環境を実現する。

3.2 想定アプリケーション

自動車情報には、近隣の自動車に対して配布することで効果を発揮する情報が多様にある。例えば、近隣の自動車間で速度情報を交換し、その自動車群に参加する自動車の速度が平均的に極度に低速度になれば渋滞になったといえる。動的に検知した渋滞情報を速度収集の際よりもホップリミットを多くして配布することで広い範囲で渋滞が生じたことを配布できる。また、事故情報を周囲の自動車に対して配布することで、受信自動車は渋滞予測を行い、その道路を通過しない走行経路を選択することが可能となる。

交通情報管理アプリケーションを開発する際には、位置的に近隣の自動車に対して情報を配布する必要が生じる。その際、NEMOの通信路を用いて自動車に情報を配布する際には、まず、位置情報から通信相手先の自動車を検索し、通信相手先を決定し

た上でそれらの自動車に対して個別に情報を配布する必要がある。反面、MANET 網において、経路表内でホップカウントによる距離が短い自動車は地理位置的にも近隣に存在する自動車であるということができる。

MANET 網に自動車状態情報を配信し、アプリケーションレイヤーでの交通情報プラットフォームシステムを構築することで、自動車間における情報共有環境を実現することが可能となる。したがって、そのようなアプリケーションによる情報配信を行う際、宛先ノードへの経路が NEMO を用いた広域通信環境にあったとしても MANET 網へと配信されるべきである。インターネット自動車環境においてアプリケーションの要求にしたがった通信路選択を行う必要がある。

3.3 機能要求

以下に 3.1 項で述べた通信環境を実現するための機能要件を整理する。

3.3.1 経路管理機構

自動車通信環境で用いる MANET において、経路制御情報を管理する機構が必要となる。現在、IETF 内、MANET ワーキンググループにおいて議論されている 4 つの経路制御プロトコルのうち、特に優位となる経路制御プロトコルは存在しない。また、それぞれの経路制御プロトコルが効力を発揮するネットワーク構成は異なる。つまり、それらの経路制御プロトコルによって形成される MANET において、必ずしも単一の経路制御プロトコルによるネットワーク形成が行われるとは言えない。

自動車マルチホップ通信環境は、自動車の走行状態や道路環境に従って動的にその性質を変化させる。自動車が形成するマルチホップ通信環境においては、同一方向へ移動する自動車とのネットワーク、反対方向車線を移動する自動車とのネットワーク、信号等道路構造物とのネットワークの 3 種のネットワークに区分される。

同一方向車線の自動車は構成変更の比較的少ない車群を形成して走行する。この場合、道路の接続点における自動車の参加、離脱によるノード間の構成変更、追い抜きによる緩やかな自動車間の構成変更が行われる。したがって、プロアクティブ型の経路制御プロトコルにより、あらかじめ経路表を作成することが望ましい。(図 3.2 (1))

反対方向車線の自動車との通信を行う場合には、リアクティブ型の経路制御プロトコルを用いることが望ましい。反対方向車線の自動車との通信は相対速度が大きくなり、したがって、経路の有効期間は短く、予め取得した経路を管理する価値が低い。したがって、反対車線の自動車との通信には、必要に応じて経路探索を行うリアクティブ型の経路制御プロトコルによる経路管理が望ましい。(図 3.2 (2))

自動車と定点間の通信の性質は、自動車の走行速度に大きく影響される。通常の走行状態では、自動車と定点間の相対速度は大きくなるため、リアクティブな通信を行うのが望ましい。反面、渋滞のような自動車の位置情報が極度に緩やかに変化するような状況や、赤信号による停車状態ではプロアクティブに経路を持つことが効率的で

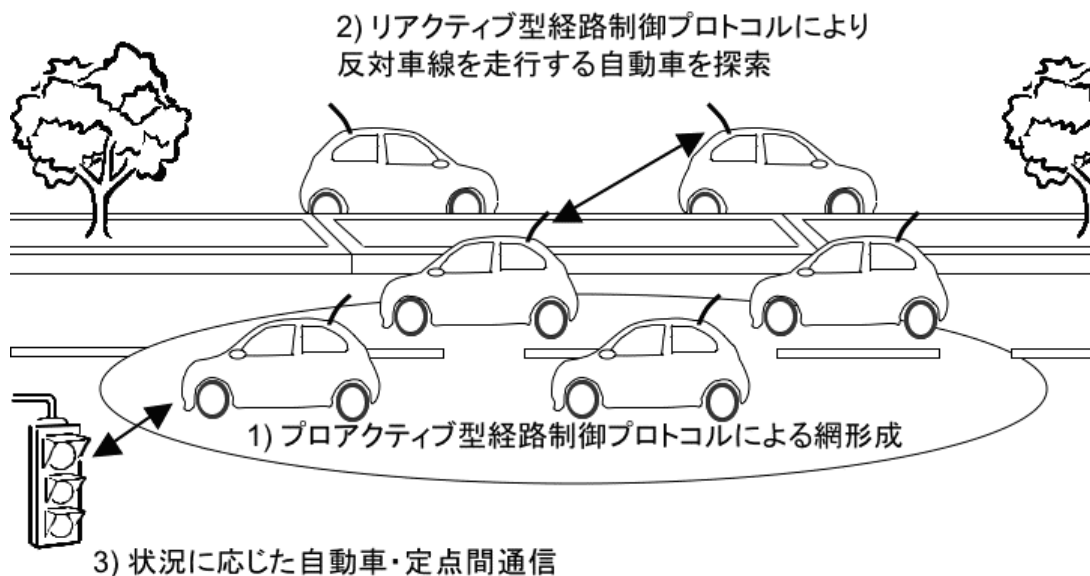


図 3.2: 複数の経路制御プロトコルを用いた自動車通信環境

ある。(図 3.2 (3))

それらの異なる通信環境を整合性をもってユーザに提供するために、経路情報を管理し、複数の経路制御プロトコル間で経路を再広告するための機構が必要となる。本論文では、そのような経路管理機構を経路管理サーバと定義する。複数経路制御プロトコルを経路管理サーバを用いて管理することで、例えば、同一方向車線を走行する自動車への経路はプロアクティブ型経路制御プロトコルにより予め取得し、反対方向車線への経路はリアクティブ型の経路制御プロトコルにより取得することができる。

自動車環境において複数経路制御プロトコルを用いることで、リアクティブ型の経路制御プロトコルを用いて反対方向車線の事故、渋滞情報を取得し、同一方向を走行する近隣の自動車に対してそれらの情報を公開することができるようになり、結果として、事故、渋滞の回避を行うことができる。

3.3.2 MANET 内ノードインターネット接続性

MANET はその性質上、一時的に仮のネットワークを作成するための技術であり、従来のインターネット環境に接続することを考慮していない。MANET をインターネットに接続するためには、モバイルルータのグローバルアドレスの取得、そしてモー

パイルネットワークへのインターネット上に存在するコンピュータからの接続性を確保する必要がある。双方の問題点を解決するためには、MANETとインターネットの境界にルータに拡張を行う必要がある。本研究では、この境界ルータのことをインターネットゲートウェイと定義する。

MANET内のノードに、インターネットへの接続性を提供するための技術としてMANET広域接続 [15] がある。MANET広域接続では、MANET内のノードは、インターネットゲートウェイからグローバルIPv6アドレスを取得し、インターネットゲートウェイを経由した、ホームエージェント、コレスポンデントノードとの通信を行う。

MANET広域接続におけるアドレス取得に際して、ノードはMANET内でのみ有効な仮アドレスを用いてインターネットゲートウェイと通信を行う。その後、インターネットゲートウェイから広域スコープのIPv6アドレスを取得し、仮アドレスを削除し、その後は取得した広域スコープアドレスを用いた通信を行う。その際、通常のMIPv6、NEMOのアドレス登録作業が行われる。

アドレス取得手法には、経路制御プロトコルの拡張とNDP(Neighbor Discovery Protocol)[16]の拡張の2つのアプローチが存在する。経路制御プロトコルを拡張するアプローチでは、ノードはインターネットゲートウェイマルチキャストアドレスに対して経路要求メッセージを送信する。インターネットゲートウェイマルチキャストアドレスに宛てた経路要求メッセージを受け取ったインターネットゲートウェイは、広域スコープのネットワークプレフィクスと自身のIPv6アドレスを要求元ノードに対してユニキャストで送信する。以上の処理で、ノードは、広域スコープIPv6アドレスとインターネットゲートウェイへの経路を取得することができる。

NDPを拡張するアプローチでは、ルータ広告メッセージとルータ解決メッセージの拡張が行われる。NDPは本来リンクローカルスコープでの通信のみを支援する。MANETはマルチホップ通信環境であるため、MANET広域接続で提案される手法では、ルータ広告メッセージ、ルータ解決メッセージをリンクローカルネットワークを越えて転送することを許可する。MANETに参加するノードは、MANETルータ解決メッセージを、インターネットゲートウェイマルチキャストアドレスへと送信する。その際、Expanding Ring Search手法を用いたルータ解決が行われ、ノードはルータ広告を受け取るまでホップリミットを加算してメッセージを送信する。ルータ解決メッセージを受け取ったインターネットゲートウェイは、広域スコープネットワークプレフィクスと自身のIPv6アドレスを送信元ノードへと送信する。

本研究では、MANET内ノードがインターネット接続性を確保するための技術として、本項で述べたMANET広域接続の技術を用いることを前提とする。

3.3.3 ポリシ経路制御

インターネット自動車における対外接続環境はアプリケーションの要求に従って使い分けられるべきである。インターネット自動車環境の対外接続性は、広域通信環境と狭域通信環境という2つの性質の異なる通信環境から構成される。広域通信環境は、

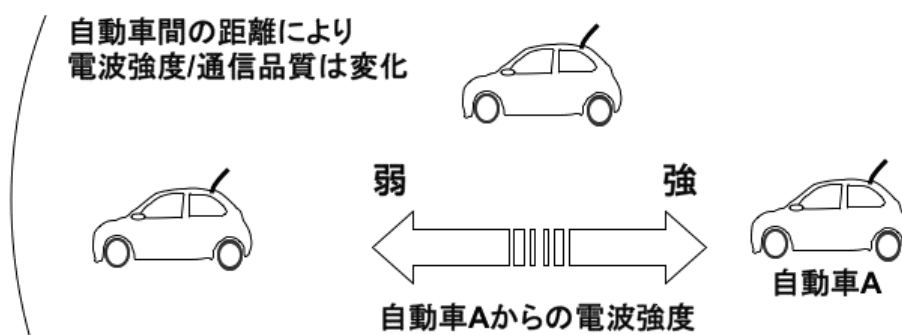
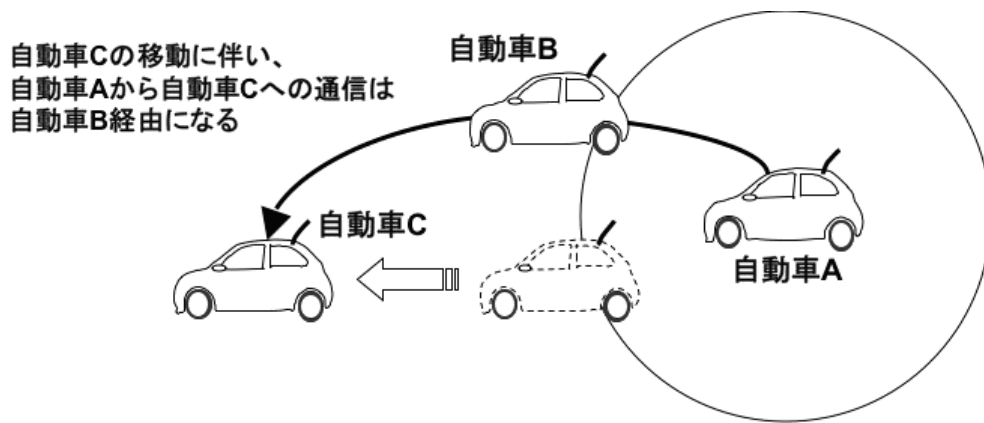


図 3.3: MANET 通信路の動的品質変化

狭帯域、高遅延であるがネットワークの安定性は高く、結果として、高い通信安定性を提供する。狭域通信環境は、広帯域、低遅延であるが、動的に切り替わるネットワーク構成によりネットワークの安定性は低い。アプリケーションの要求に応じてパケットの送出ネットワークを動的に変更することで、ネットワーク資源の有効活用を図ることができる。

携帯電話などの広域通信を用いた通信の品質は遅延、実効帯域等という観点から一定である。一方、MANETを用いた自動車による狭域マルチホップ通信環境の通信路品質は、各自動車の地理的移動に伴い動的に変化する。物理層の問題として、無線リンクの受信電波強度は距離と相関を持ち、遅延、実効帯域といった通信品質は動的に変動する。また、ネットワーク層の問題として経由する中間ノードの変動、中間ノード数の増減が発生し、宛先へのパスの品質の変動を引き起こす(図 3.3)。動的に通信品質を変動させる MANET による狭域通信環境の通信路評価を行った上で、アプリケーションの要求に従い一定の通信品質を保持する広域通信環境との経路選択を行える機構が必要となる。

複数のリンクを使い分ける際、アプリケーションが持つ要求の項目としては、実効帯域、遅延、リンクの安定性の3つをあげることができる。ビデオチャットのようなアプリケーションを用いる際には、実効帯域を広くとることが望ましい。また、事故情報等の緊急情報配布アプリケーションを用いる際には後続の自動車に対して情報を素

早く配布する必要が生じる。したがって、低遅延な通信環境を選択することが必要となる。また、リンクの安定性はパケットロスとも大きく関係する事項である。先にあげたビデオチャットアプリケーションを用いる際、安定的な会話を継続するためには、リンクが安定していることが望ましい。

ポリシー経路制御を行う際の通信路評価に用いることができる項目を以下に整理する。

- ホップカウント

MANET はネットワーク内のノードが時間の経過とともに移動し、ネットワークの構成変更を引き起こすため、宛先へのホップカウントが多い場合にはその宛先への経路の信頼性が低下する。そのため、ホップカウントを制限したトラフィックの振り分けを行うことで、宛先への通信の信頼性を向上させることができる。

- 自動車間の距離

無線リンクの品質と各ノード間の距離には相関関係が認められる。各ノード間の距離が遠くなれば、受信電波強度、受信電波品質の低下が認められ、結果として、実効帯域の低下、パケットロス率の向上を引き起こす。GPS 情報等を基にした各自動車間の距離を計測することで、無線リンク状態の予測を立てることができる。

- リンク接続ノード数

無線リンクは複数ノードによる帯域共有型リンクである。したがって、リンクの実行帯域は、リンク共有ノード数に依存して変動する。リンク接続ノード数を基に、リンク評価の際の指標を作成することが可能である。

- 実効帯域

無線リンクは共有型リンクであり、有線リンクと比較して狭帯域であるといえる。したがって、実効帯域の測定は計測用トラフィックを用いたアクティブ型計測よりもトラフィックパターンの観測に基づいたパッシブ型計測を行うことでネットワークへの負荷を軽減することが望ましい。このような帯域計測手法に関して、本論文では議論の対象外とする。

- 遅延

遅延を考慮したリンク選択を行うためには、各宛先への RTT(Round Trip Time) を予め計測しておく必要がある。RTT の計測は ICMP メッセージの交換によって行うことができ、ポリシー経路制御機構によって周期的に行われる。

- 無線リンク情報

無線リンク情報には多様な要素が含まれる。あるノードの無線デバイスがどの無線規格に沿ったものかを知ること、規格上の最大帯域や規格の特性等を得ることができ、帯域に基づいたリンク選択を行う際の指標とすることができる。また、電波強度、電波品質を得ることで、その無線リンクの安定性の情報を取得することが可能となる。

第4章 設計

本章では、本研究で提案するシステムの設計について述べる。

4.1 システム概要

本研究で提案するシステム概要を図 4.1に示す。

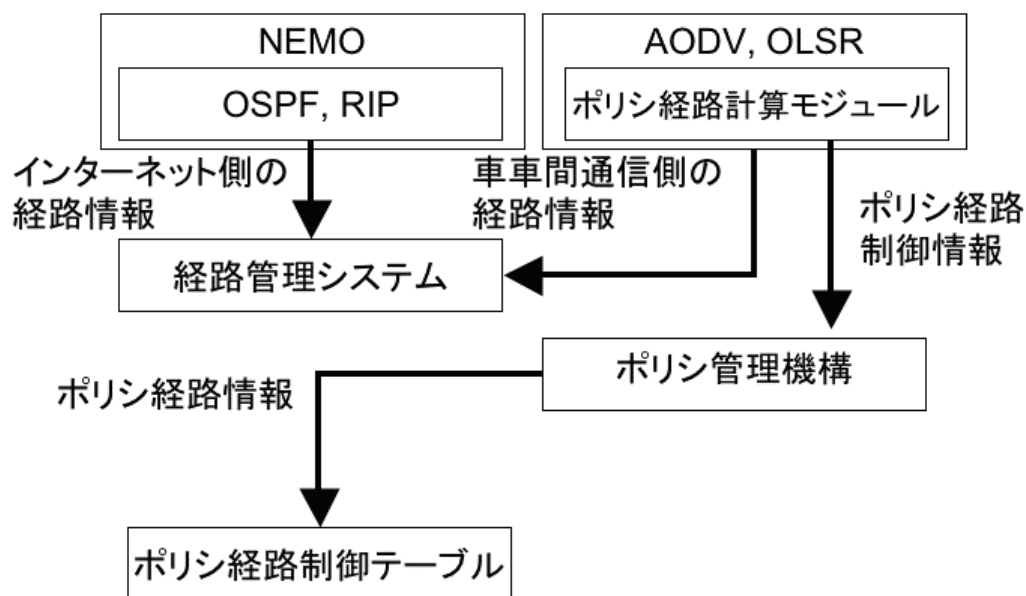


図 4.1: システム概要

本システムでは、NEMO 上で動作する経路制御機構から得られる経路制御情報と MANET 経路制御プロトコルから得られる経路制御情報の整合性を確保し、各経路制御機構間での協調動作を実現するために経路管理機構を用いる。経路管理機構を導入することで、インターネットに直接つながった接続環境からの経路情報と車車間通信からえた経路情報を基に経路選択を行うための基盤環境の構築を行える。

本研究では、経路情報と同時に 3.3.3項で述べた項目中の自動車位置情報を MANET 経路制御プロトコルを用いてネットワーク内に配布する。MANET 経路制御デーモンは、得られた情報を基にリンクのメトリックを決定し、各経路情報とメトリック情報をポリシー管理機構に与える。ポリシー管理機構は得られたメトリック情報を基にトラフィック毎の通信路選択を行い、ポリシー実現機構にトラフィック毎のルールを設定する。

4.2 経路管理機構

本研究では、NEMO から得られる経路情報と MANET から得られる経路情報を取得し、複数の経路から最適な経路選択を行う。したがって、複数の経路制御プロトコルから得られる情報を管理するための経路管理機構が必要となる。

4.2.1 経路管理機構への機能要件

経路管理機構が満たすべき機能要件は以下の通りである。

- カーネル経路情報インターフェース

経路管理機構は、複数の経路制御デーモンからの情報を受信し、要求に基づいてカーネル内に存在する経路表の情報を更新する必要がある。さらに、他の機構によって追加、削除された経路情報、あるいはネットワークインターフェースのアドレス更新、状態変化等の情報をカーネルから取得し、それぞれの経路制御デーモンへと引き渡す必要がある。

- 経路再広告

複数の経路制御デーモンからの経路情報をそれぞれのデーモン間で交換を行うために、経路管理機構は経路の再広告を行う必要がある。経路の再広告を行うことで、例えば、OLSR デーモンからの経路情報を AODV デーモンで用いることができる。また、インターネットゲートウェイ上で OSPF から OLSR への経路再広告を行うことでインターネットの経路情報を OLSR 網に配布することも可能である。

- 経路制御プロトコル開発ライブラリ

複数の経路制御デーモンが協調動作する環境では、それらのデーモンは同一の手法で経路情報の更新を行う必要がある。そのため経路管理機構は、ルーティングパッケージの一部として提供され、またそのルーティングパッケージは経路制御プロトコル開発ライブラリを保持することが望ましい。

本研究では、経路管理機構として GNU Zebra を用いる。

4.2.2 GNU Zebra

GNU Zebra は、GPL(GNU Public Licence) に基づいたオープンソース経路制御パッケージであり、BGP4、RIPv1、RIPv2、OSPFv2 をサポートする。また、動作環境として、Linux、FreeBSD、NetBSD、OpenBSD といった複数の UNIX プラットフォームをあげることができる。さらに、Gnu Zebra は、経路制御デーモン開発用ライブラリを提供しており、汎用経路制御プロトコル開発環境の実現により、公式サポートされている 4 つのプロトコル以外の経路制御プロトコルの開発が行われている。

Zebra 上で動作する経路制御プロトコルはそれぞれ独自の経路制御デーモンとして動作し、Zebra デーモンがカーネルに対するインターフェースとして動作する (図 4.2)。

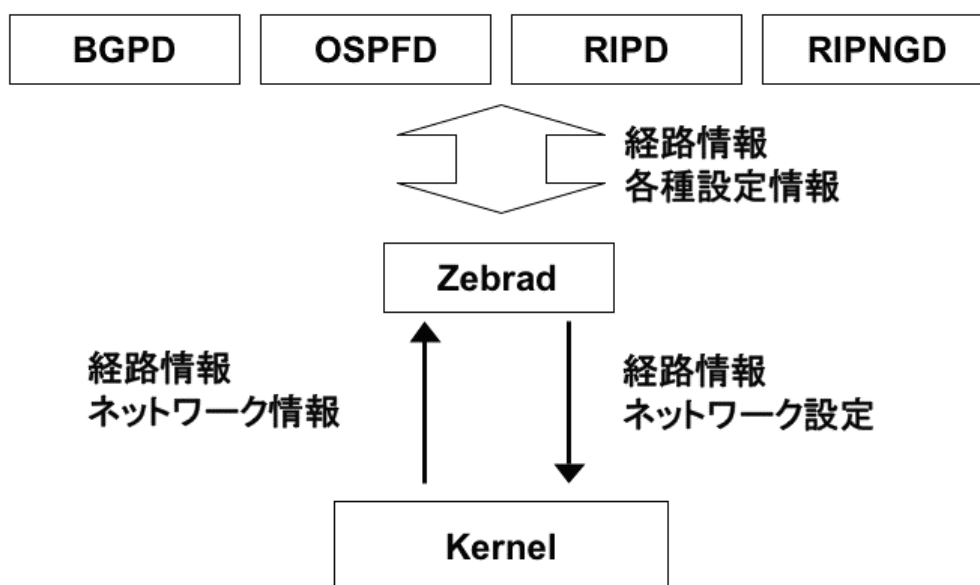


図 4.2: Zebra の動作概念図

各経路制御デーモンは、それぞれの仕様に基づいて経路情報を作成し、Zebra デーモンに経路情報を引き渡す。それらの情報を基に Zebra デーモンはカーネルに対して経路情報の更新要求を発行する。一方、Zebra デーモンはカーネルから経路情報、ネットワークインターフェース情報を取得し、経路情報に関する更新情報を各経路制御デーモンに提供する。また、複数経路制御デーモン間での経路情報の交換を実現し、ある経路制御デーモンからの経路更新要求に基づいて、他の経路制御デーモンに経路情報の再広告を行うことを可能としている。

Zebra 経路制御デーモン開発用ライブラリ中には、telnet を用いたユーザ設定イン

ターフェースライブラリが用意されている。このユーザインターフェースはルータベンダであるシスコシステムズ社が開発したIOS(Internetwork Operating System)のユーザインターフェースに似せたものであり、ネットワーク管理者にとって標準的といえるネットワーク機器設定インターフェースを実現している。

4.3 ポリシ管理機構

本節では、本研究で用いるポリシ管理機構について述べる。

4.3.1 ポリシ項目

本研究では、以下の3項目ポリシ経路制御を行う際のパラメータとする。

- 帯域

本研究では、ノード間リンクの実効帯域予測をノード間の距離と無線リンクの接続ノード数を基に行う。時間の経過とともに生じるMANET内のネットワーク構成変化にしたがってリンクの品質、リンク接続ノード数もまた変化するため、無線リンクの周期的な評価とそれに基づくポリシリンク選択が必要となる。将来的に有効な無線リンクのパッシブ型実効帯域評価手法の確立が行われれば、帯域測定にはその手法を用いることが望ましい。

- RTT

RTTの計測はポリシ管理機構によって、MANET経路制御プロトコルを用いて取得したすべての宛先ホストに対して行われる。低遅延優先型のトラフィックは周期的に計測されるRTTが定数的に扱うことができるNEMOによる広域通信路の遅延より大きくなると、広域通信路を用いて転送されるようになる。

- ホップカウント

MANETにおいて、ホップカウントが増加すると経路としての信頼性が低下するため、一定以上のホップカウントを経ることになる宛先ノードへのトラフィックは広域通信路を用いて転送されることになる。

MANET経路制御デーモンは定期的にポリシ管理機構に対して宛先経路情報、ホップカウント、帯域予測パラメータを送信する。それらの情報を受け取ったポリシ管理機構は動的にポリシルールを再計算し、ポリシ制御機構のルール記述を更新する。

4.3.2 ポリシの記述

ポリシ管理機構はポリシ設定ファイルに記述されたポリシを起動時に読み込む。ポリシ設定ファイルの設定事項を図4.3に示す。

宛先アドレス [/プレフィクス長], プロトコル, 宛先ポート番号, 帯域優先 [0,1], 遅延優先 [0,1], ホップカウント無視 [0,1], 基本優先ネットワーク [nemo,manet]

図 4.3: ポリシ設定ファイルの記述

ポリシルールはファイルに CSV(Comma Separate Value) で記述される。宛先アドレスが指定されていない、あるいは「::」と記述されているときは、宛先アドレスフィールドは無視され、後ろで記述されるルールと一致する全てのトラフィックにルールが適用される。プレフィクス長で、宛先アドレスのプレフィクス長を指定する。ホスト宛のルールの場合にはプレフィクス長は省略可能である。プロトコルの指定はそのトラフィックが ICMP、TCP、UDP のいずれであるかを示す。指定が無い場合は全プロトコルに対してルールが適用される。ポート番号は宛先サーバのポート番号を示し、指定が無い場合は、アドレスで指定される全てのトラフィックに対してルールが適用される。アドレス、ポート番号ともに指定が無いルールは無効なルールとして扱われる。帯域優先、遅延優先、ホップカウント無視の項目については、1 の場合その項目が適用され、項目に基づいたトラフィック転送が行われるようになる。基本優先ネットワークを指定することで、複数のポリシ項目が指定されていた際の競合を防ぐことができる。基本優先ネットワークの指定が無いルールは無効なルールとして扱われる。

読み込んだポリシは、ポリシ管理リストである、`pbr_rule_list[P_dst_addr, P_proto, P_dst_port, P_src_port, P_policy_flag, P_pref_net]` に格納される。`P_dst_addr` は、宛先へのアドレスを格納する。`P_proto` によってポリシ経路制御を適用するプロトコルを指定する。指定可能変数は、`P_PROTO_ICMP(1)`、`P_PROTO_TCP(2)`、`P_PROTO_UDP(3)` である。`P_proto` の指定が無い場合、宛先への全てのトラフィックにルールが適用される。`P_dst_port`、`P_src_port` によってそれぞれ宛先ポート番号、送信元ポート番号が指定される。これらは、`P_Proto` が `P_PROTO_ICMP` の場合は無視される。`P_policy_flag` によってトラフィックの優先項目を示す。フラグとして指定可能なものは、`P_THROUGHPUT(1)`、`P_RTT(2)`、`P_NOHOPCOUNT(4)` である。`P_pref_net` によって基本優先ネットワークを示す。`P_pref_net` として指定可能なものは `P_NEMO_LINK(1)`、`P_MANET_LINK(2)` である。

ポリシの動的変更は、telnet インターフェースを用いて変更される。変更されたルールはポリシ記述ファイルに保存され、次回起動時に参照される。

4.3.3 ポリシ送受信

ポリシ管理機構は、車載モバイルルータ上で単独のデーモンとして動作し、MANET 経路制御デーモンからポリシ変数を受け取る。以下では、ポリシ変数配布メッセージを `PBR_RULE` メッセージと呼ぶ。ポリシ管理機構の待ち受けポート番号は、8877 である。MANET 経路制御デーモンは、プロトコルの仕様で定められた `REFRESH_INTERVAL`

に従った構造リストの再構成に伴い、PBR_RULE メッセージをポリシー管理デーモンへと送信する。その他、動的に構造再構成を検知した場合には、それに伴ったメッセージ送信を行う。ポリシー変数配布メッセージのメッセージヘッダフォーマットを図 4.4 に示す。

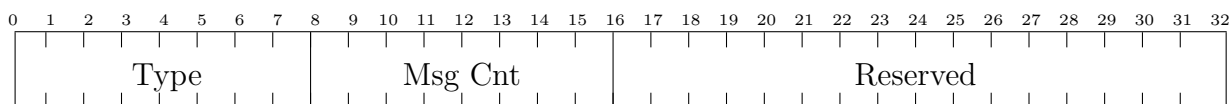


図 4.4: PBR_RULE メッセージヘッダフォーマット

Type フィールドは、メッセージの種類を示す。メッセージの種類は、PBR_RULE_ADD(1)、PBR_RULE_DELETE(2) である。REFRESH_INTERVAL に従った定期的なメッセージ交換時には、PBR_RULE_ADD が Type として指定される。Cnt フィールドは、パケットに含まれるメッセージ数を示す。その後、2 バイトの Reserved フィールドが続く。

図 4.5 に、PBR_RULE メッセージのボディフォーマットを示す。

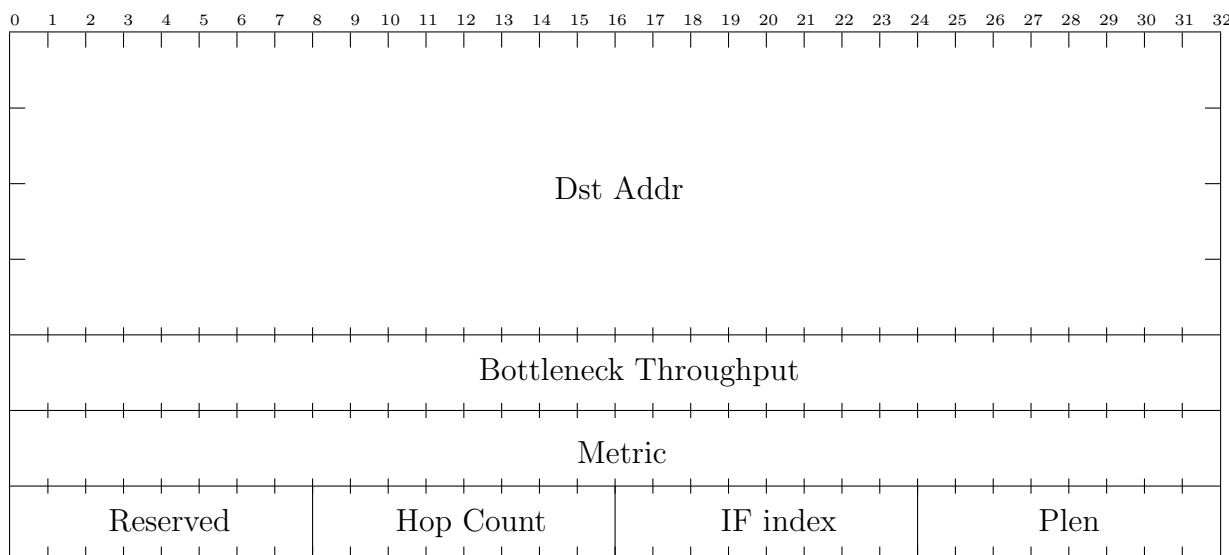


図 4.5: PBR_RULE メッセージボディフォーマット

Dst Addr フィールドによって、宛先アドレスを得る。ポリシー管理機構は、予め設定されたポリシールールの宛先アドレスとメッセージ中の宛先アドレスを比較し、ポリシールール内に宛先アドレスに関するポリシーの記述が無い場合そのメッセージを無視する。Bottleneck Throughput フィールドにより、宛先へのパス中のボトルネックリンクにおける帯域を示す。ポリシー管理機構は、NEMO が動作するインターフェースの帯域とボトルネックリンクの帯域を比較し、NEMO が動作するインターフェースの方が帯域的に有利、かつルールに帯域優先フラグが指定されている場合には NEMO 側に該当トラフィックをポリシー経路制御する。

メトリック計算は、MANET 経路制御デーモンによりリンク接続ノード数とホップカウントを基に計算される。メトリック $m(h)$ は、リンク接続ノード数 n が 2 以上であ

り、 $m(0)$ は 0 とする時、 $m(h) = m(h - 1) + 0.2 * (n - 1)$ により求められる (h は 1 以上のホップカウント数)。メトリック値が一定以上である場合には、該当宛先へのトラフィックは、ホップカウント無視フラグが指定されているトラフィックを除いてすべて NEMO 側のインターフェースへとポリシ経路制御される。

Hop Count フィールドは、宛先までのホップカウント数を示す。ホップカウント値が一定以上の宛先へのトラフィックは、ホップカウント無視フラグが指定されているトラフィックを除いてすべて NEMO 側のインターフェースへとポリシ経路制御される。メトリック、ホップカウントとも限界値はノードの移動パターンに従って設定されるべきである。それぞれの変数における限界値のデフォルト値は 5 である。ホップカウントによる制限は、P_NOHOPCOUNT が指定されたトラフィック以外の、全ての該当する宛先までのトラフィックに対して適用される。

IF index フィールドによって、経路表における宛先への送出ネットワークインターフェースのインデックス番号を示す。Plen フィールドによって宛先アドレスへのネットワークプレフィクス長を示す。ホスト宛ての経路の場合は、Plen フィールドに 128 を指定する。

ポリシ管理機構はメッセージ受信時に、宛先への RTT を動的に計測する。RTT の計測は、初期設定では、0.01 秒間隔で 5 回 ICMP echo request を送出することで行われ、その平均値を宛先への RTT として扱う。P_flag に、P_RTT が指定されたトラフィックは、算出された RTT 平均値と NEMO が動作する通信メディアの RTT と比較し、RTT の値が小さいリンクに対してポリシ経路制御される。

ポリシ実現機構へと渡されるポリシルールは、上述の計算を用いて決定された上で、送信元アドレスをモバイルプレフィクスとモバイルルータに設定されたグローバルスコープアドレスとしたルールを生成したものである。以上の設定を行うことで、モバイルネットワーク内のノードの要求に従った動的なポリシ経路制御ルール変更が実現される。

4.4 ポリシ実現機構

本研究では、ネットワーク層、トランスポート層の情報を基にしたポリシ経路制御を実現するための機構が必要となる。その際、ネットワーク層の情報として 4.3.2 項で述べた項目に追加して、送信元アドレスを指定できる必要がある。本研究では、車内ネットワーク接続ノード、あるいはモバイルルータがパケットを送出する際の出力ネットワーク選択を行うための機構であり、送信元アドレス未指定のポリシ経路制御のルールを設定することで、トラフィックの転送ループを発生させる可能性がある。

FreeBSD, NetBSD では、IPF(IP Filtering)、Linux では IPTABLES といったポリシ実現機構が存在する。本研究では、それらの既存のポリシ実現機構を用いて、自動車における動的複数通信路の選択を行う。

4.5 MANET 経路制御プロトコル

本節では、本研究で用いる MANET 経路制御プロトコルの特徴と、OLSR を MANET 経路制御プロトコルとして選択した根拠を示す。

4.5.1 経路制御プロトコルを用いた通信路評価

本研究では、MANET 経路制御プロトコルを用いて MANET 通信路の通信品質評価を行った上で動的なポリシー経路制御ルールの変更を行う。まず、各ノードは隣接ノード検知メッセージを発行する際に、ノード自体の現時点での位置情報をメッセージに埋め込む。MANET 内においてノードは常に移動しているため、メッセージ交換は周期的に行う必要がある。メッセージ受信時にはメッセージ発信ノードと自身の位置情報を比較し、ノード間の距離を算出した上で、隣接ノードの距離情報をリンク情報とともに保管する。

経路情報をネットワーク内に配布する際には、それぞれのノード情報とともに自身から各ノードへの位置情報を付加する。メッセージ受信時に各ノードは距離情報を基にリンクのメトリックを計算し、経路計算を行う際に宛先への経路計算とともにメトリック計算を行う。メッセージにメトリックを含める手法はノード独自のパラメータに基づいたメトリック計算の可能性を制限するため望ましくない。計算された経路情報とメトリックはポリシー管理機構へと渡され、ポリシー経路制御ルールの作成が動的に行われる。

4.5.2 MANET 経路制御プロトコルへの要求

本研究で想定する車車間マルチホップ通信環境の実現のために MANET 経路制御プロトコルに必要な機能は以下の通りである。

- IPv6 による通信

世界の自動車台数は7億台を数え、車内ネットワークの配備が進むことで自動車に関わるノード数は数十億、数百億を数える事になる。したがって、自動車環境を支える通信技術は広大な識別子空間を持つことが必要である。そして、車内ネットワークを TCP/IP のプロトコルスタックを用いて配備することで、サービスに依存することがない汎用的な車内通信インフラストラクチャを配備することが可能となる。広大なアドレス空間を保持する汎用データ転送技術である IPv6 による通信は自動車環境においては必須である。

- ポリシ経路制御情報の配布

本研究では、位置情報をポリシー経路選択を行う際のパラメータとして用いる。経路制御プロトコルの拡張を行うことにより、リンクの距離を算出し、経路計算の際にメトリックとして扱うことができる機構が必要となる。さらに、動的に通信

環境の変化が起こる MANET 環境に適応するために周期的にポリシ経路制御情報を交換するためのメッセージングが必要となる。機能の拡張を最小限とするためにプロアクティブな経路制御プロトコルのメッセージ拡張を行うことで、ポリシ経路制御情報をネットワーク内に配布することが望ましい。

- 車内ネットワークのサポート

自動車内には多種多様なセンサや搭乗者用端末、カーナビゲーションシステムなどのデバイスが存在しており、それらのデバイスへ接続性を提供するためには車内をネットワークとして扱った上で、モバイルルータによる経路制御を行う必要がある。車内の NEMO プレフィクスを MANET 内に広告するために、MANET 経路制御プロトコルはネットワークプレフィクスによる経路制御を行える必要がある。

- ノードの重み付け

自動車通信環境においては、ノード毎にネットワーク内における重要度が異なる。例えば、信号機に設置されるノードはインターネットへの直接の通信経路を持ち、かつ常に移動する他の自動車を経由するよりも安定した通信環境を実現することができる。そのような定点に設置されるノードとして、路肩の店舗に設置されるアクセスポイントや通信サービス事業社が自社との契約者へサービスを提供するためのアクセスポイント、さらに標識に設置される行政による公共アクセスポイントをあげることができる。

また、車種により通信装備を維持するための空間的、設備的前提が異なるためネットワーク内における貢献度は自動車毎に大きく異なる。例えば、1 ボックスタイプの自動車はスポーツタイプの自動車よりも空間的な余裕が大きいためモバイルルータの容量も大きなものを設置可能であり、したがって、より転送性能の高いルータを設置可能である。さらに、通信設備も規模的に大きなものを複数装備できる可能性がある。

さらに、救急車や消防車等の緊急車両はその車両の性質上、転送による利用可能資源の減少が好ましくない。緊急車両走行情報を周囲の自動車に配布するために、緊急車両は MANET 網に参加する必要はあるが、自身の計算機資源、ネットワーク資源の効率的利用のためにもネットワーク内における重みは低く設定されるべきである。

以上のように、自動車毎に要求、前提環境は大きく異なるため、自動車の用途、前提環境に応じたネットワーク内における重み付けを行うための機構が必要となる。

4.5.3 各経路制御プロトコルの比較

前項での MANET 経路制御プロトコルへの要求に基づいた各プロトコルの比較を表 4.1 に示す。

表 4.1: 各 MANET 経路制御プロトコルの比較

	DSR	AODV	OLSR	TBRPF
プロトコルタイプ	リアクティブ型	リアクティブ型	プロアクティブ型	プロアクティブ型
ネットワーク経路	×			
ノード重み付け機能	×	×	MPR Selection	×

DSR, AODV はリアクティブ型の経路制御プロトコルであるため、本研究の用途にそぐわない。プロアクティブ型のプロトコルである OLSR, TBRPF の 2 プロトコルはネットワーク経路を MANET 内に配布するための機能を持つ。OLSR は MPR 選択を行うため Willingness パラメータの設定によりノードに重み付けを行うことができる。MPR はメッセージフラッディングの際の中継ノードとして動作し、また経路情報の作成、ネットワーク内への配布を行うため、トラフィックの中継ノードとして選択される機会が増える。

以上の比較から本研究では MPR 選択によるノードの重み付けを実現できる OLSR を MANET 経路制御プロトコルとして選択し、実装する。しかし、反対車線を考慮したインターネット自動車マルチホップ通信環境を実現するためには、AODV のようなリアクティブな経路制御プロトコルを用いる事が有用である。本研究で提案するポリシー管理システムは、単一の経路制御プロトコルに依存しない設計であるため、次節で述べる OLSR の改良を AODV に施すことによって、パス評価に基づいたポリシー経路制御を実現できる。

4.6 OLSR の改良

本節では、4.5.2項で述べた要求を満たすための OLSR の改良点を示す。

4.6.1 OLSR の IPv6 対応化

OLSR を IPv6 化するために必要な項目は、メッセージ交換用のマルチキャストアドレスの選択と HNA(Host and Network Association) メッセージの 2 点である。OLSR においてメッセージフラッディングはアプリケーション層で動作する OLSR デーモンの判断に従った中継によって行われる。したがって、ネットワーク層によるメッセージフラッディング手法は必要無く、マルチキャストアドレスの範囲はリンクローカルスコープを対象としたもので良い。本研究における OLSR 実装では、リンクローカルオールノードマルチキャストアドレスを OLSR のメッセージ交換用マルチキャストアドレスと定義し、使用する。

HNA メッセージとは、OLSR 網に参加していないネットワークインターフェースからの経路情報を OLSR 網に配布するためのメッセージであり、ノードがインターネッ

トにも接続している場合には、インターネットからの経路情報を HNA メッセージを用いて OLSR 網に配布することも可能である。本研究では、HNA メッセージを用いて、自動車内の NEMO プレフィクス経路を OLSR 網に配布する。既存の HNA メッセージは IPv4 を対象として作成されたものであり、その構造はネットワークアドレスとネットワークマスクから構成される。

HNA メッセージを用いて IPv6 プレフィクスの経路を OLSR 網に配布するために、本研究では、ネットワークプレフィクスとプレフィクス長を経路として OLSR 網に配布できる構造に HNA メッセージを再定義する。図 4.6 に本研究で用いる HNA メッセージの構造を示す。

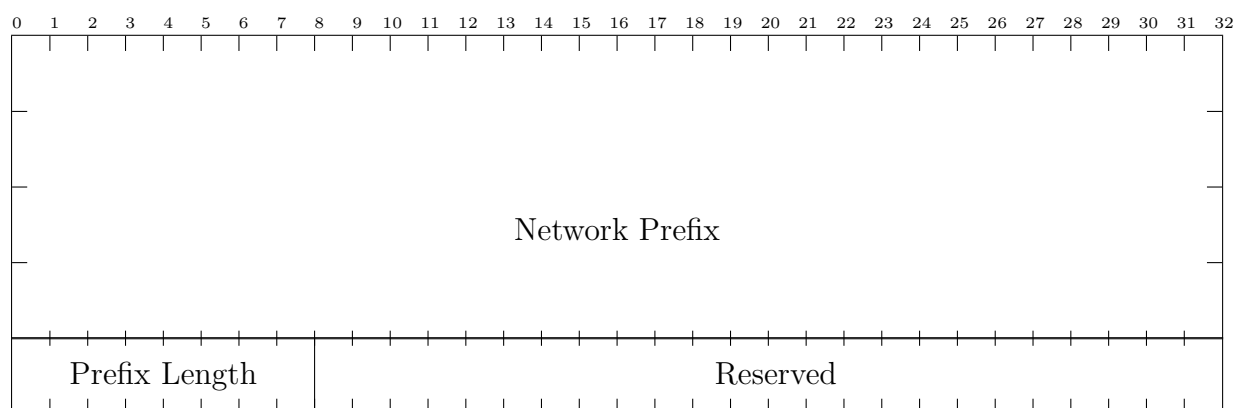


図 4.6: IPv6 プレフィクス対応 HNA メッセージフォーマット

HNA メッセージを用いて IPv6 の経路情報を配布するために、4 バイトの Network Address フィールドを、IPv6 アドレスを格納できる 16 バイトの Network Prefix フィールドとして拡張した。その後プレフィクス長を格納する 1 バイトの Prefix Length フィールドを付加する。さらに拡張性を維持するために 3 バイトの Reserved フィールドを付加する。メッセージ数は OLSR メッセージヘッダの Message Size フィールドを参照して計算される。

本項で述べた拡張を OLSR に施すことにより IPv6 対応の OLSR を実現できる。

4.6.2 OLSR を用いたポリシー変数配布

本項では、本研究で新たに定義する OLSR メッセージである PBR_HELLO メッセージと、PBR_TC メッセージについて述べる。

PBR_HELLO メッセージの定義

本研究では、ポリシー情報として各ノード間の距離を基にリンク、パスのメトリックを計算し、ポリシー判断を行う。そのためには、ノードは各隣接ノードへの距離を把握する必要があるため、自身の位置情報と隣接ノードの位置情報を取得する必要がある。本研究では、各隣接ノードが互いに自身の位置情報を交換するために、PBR_HELLO(Policy

Based Routing HELLO) メッセージヘッダを新たに定義した。PBR_HELLO メッセージのメッセージタイプ番号は6を割り当てる。図4.7にPBR_HELLOメッセージのヘッダフォーマットを示す。

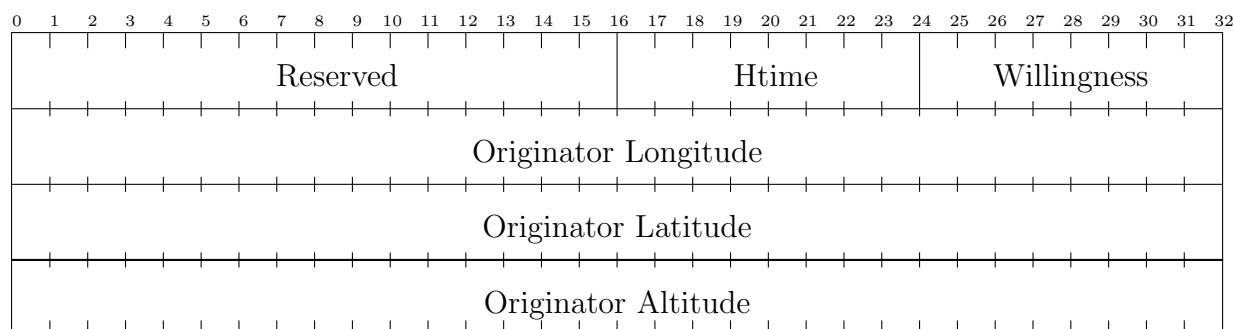


図 4.7: PBR_HELLO メッセージヘッダフォーマット

メッセージ送信者は、HELLO_INTERVAL で定義される間隔毎に自身の位置情報をGPS 機器等を用いて測定し、PBR_HELLO ヘッダに追加する。位置情報として、緯度、経度、高度を用いる。メッセージ受信者は、受信したPBR_HELLOメッセージのヘッダとOLSRメッセージヘッダのOriginator フィールドを参照し、Originator アドレスをメインアドレスとする隣接ノードの位置情報を更新し、自身との距離を算出、経路計算、PBR_TCメッセージ送信時に参照する。

PBR_TC メッセージの定義

PBR_HELLO メッセージを基に算出されたリンクの距離、リンク接続ノード数をOLSR 網に配布するために、本研究ではPBR_TC(Policy Based Routing Topology Control) メッセージを定義した。PBR_TCメッセージのメッセージタイプ番号は7を割り当てる。図4.8にPBR_TCメッセージのフォーマットを示す。

PBR_TCメッセージは、TCメッセージのReserved フィールド2バイトのうち、前半1バイトを用いてメッセージ作成者の隣接ノード数を格納する。この隣接ノード数を基にメッセージ受信者はリンク共有者の数を評価し、リンクのメトリックを加算する。さらに、PBR_TCメッセージは、TCメッセージのAdvertised Neighbor Main Address フィールドの後に、対応するノードのMPRからの距離情報を付加する。この距離情報を基にパスのボトルネックリンクにおける帯域を計算する。また、リンク接続ノード数を基にメトリック計算を行い、帯域、メトリック双方を考慮した通信路選択を行う。

4.7 インターネット接続環境で動作する経路制御デーモンとの連動

本節では、本研究で提案するシステムをインターネット自動車環境に導入するにあたって、ホームネットワークで必要となる運用手法について述べる。本研究で提案す

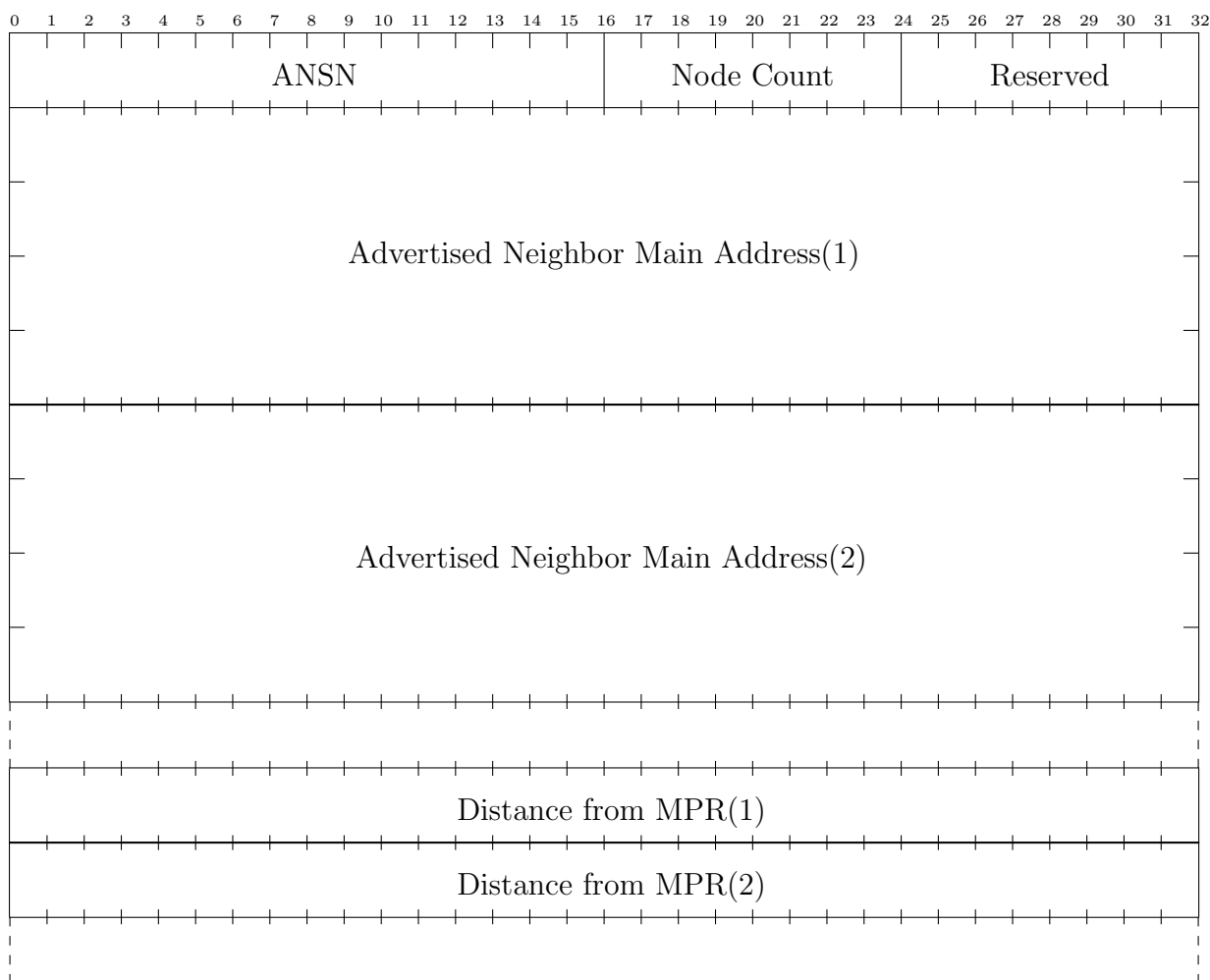


図 4.8: PBR_TC メッセージフォーマット

るモデルでは、モバイルルータとホームエージェント間のトンネル上で経路制御プロトコルが動作することを許容する。その際、MANET 経路制御プロトコルから得た経路情報を、OSPF 等のトンネルインターフェース上で動作する経路制御プロトコルに再広告している場合には、ポリシーによってモバイルルータからトンネルインターフェースへと転送された他の自動車に対するデータが、ホームエージェントとモバイルルータ間で転送ループを引き起こす可能性がある (図 4.9)。

ホームネットワークにおける転送ループを避けるために、ホームエージェントとホームネットワークの外部接続ゲートウェイでポリシー経路制御を行う必要がある。ホームエージェントでは、トンネルインターフェースから転送されてきたパケットの宛先が検証され、現在ホームエージェントに接続されているモバイルネットワークに宛てたパケットの場合、該当するインターフェースにパケットが転送されるようにポリシーの記述を行う。もし、ホームエージェントが管理するどのトンネルインターフェースにも宛先ネットワークが接続されていない場合には、ホームエージェントは外部接続ゲートウェイへと当該パケットを転送しなければならない。外部接続ゲートウェイは、

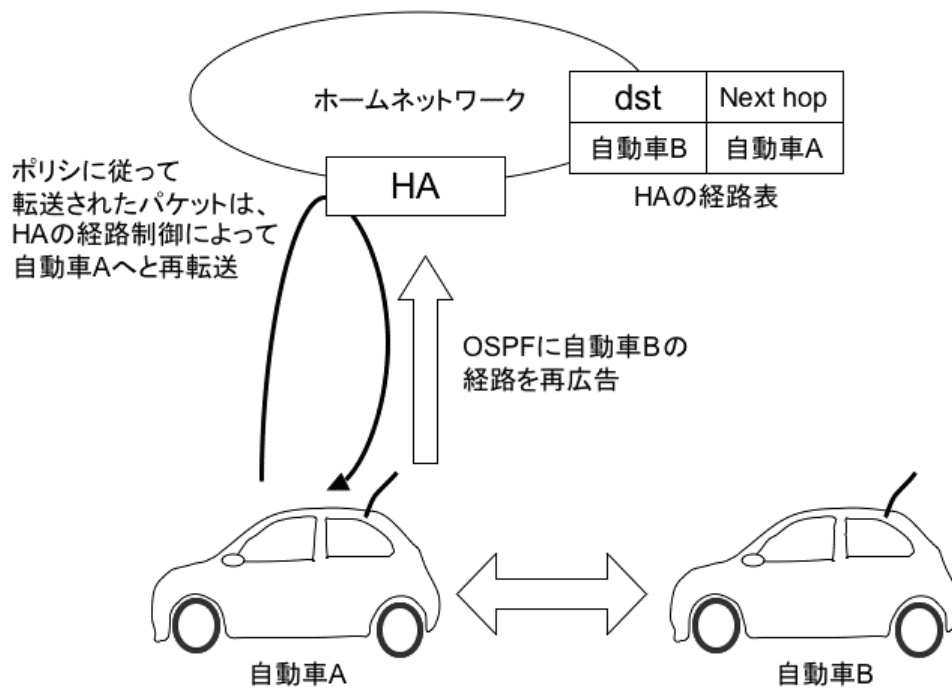


図 4.9: ホームエージェントとモバイルルータ間でループ

ホームネットワーク内から受け取ったパケットのうち、自身に宛てたパケット以外はインターネット側へと転送しなければならない。

以上のポリシー記述をホームエージェント、ホームネットワーク外部接続ゲートウェイ上に記述することで、転送ループを回避することができる。本論文では、ホームネットワーク外部接続ゲートウェイ、ホームエージェント上のポリシー記述方式、ポリシー経路制御実現機構を規定しない。

第5章 実装

本章では、OLSRの実装、OLSRの改良、ポリシー管理サーバの実装について述べる。

5.1 OLSRの実装

本節では、本論文で提案するシステムを構成するOLSRのIPv6実装について述べる。以下では、本実装のことをolsr6dと呼ぶ。

5.1.1 実装環境

表 5.1にolsr6dの実装環境を示す。

表 5.1: 実装環境

使用 OS	Freebsd-5.3-Release, FreeBSD-5.2.1-Release, FreeBSD-4.9-Release, Netbsd-1.6.1-Release
使用言語	C 言語
経路制御パッケージ	zebra 0.95-pre2

本実装は、RFC3626に準拠して実装されている。また、経路制御パッケージとしてzebra 0.95-pre2を用い、複数OSを用いた相互運用試験を行いながら実装を行った。

5.1.2 olsr6dの概要

図 5.1にolsr6dのモジュール概要を述べる。

olsr6dのモジュール概要を図 5.1に示す。olsr6dは、デーモン構成部、隣接ノード管理部、トポロジ管理部、経路表管理部、インターフェース管理部、パケット送受信部に区分される。以下にそれらの詳細について述べる。

デーモン構成部

デーモン構成部は、olsr6dモジュール、olsr_zebraモジュール、olsr_mainモジュールから構成される。olsr6dモジュールは、olsr6dのユーザインターフェース管理モジュール

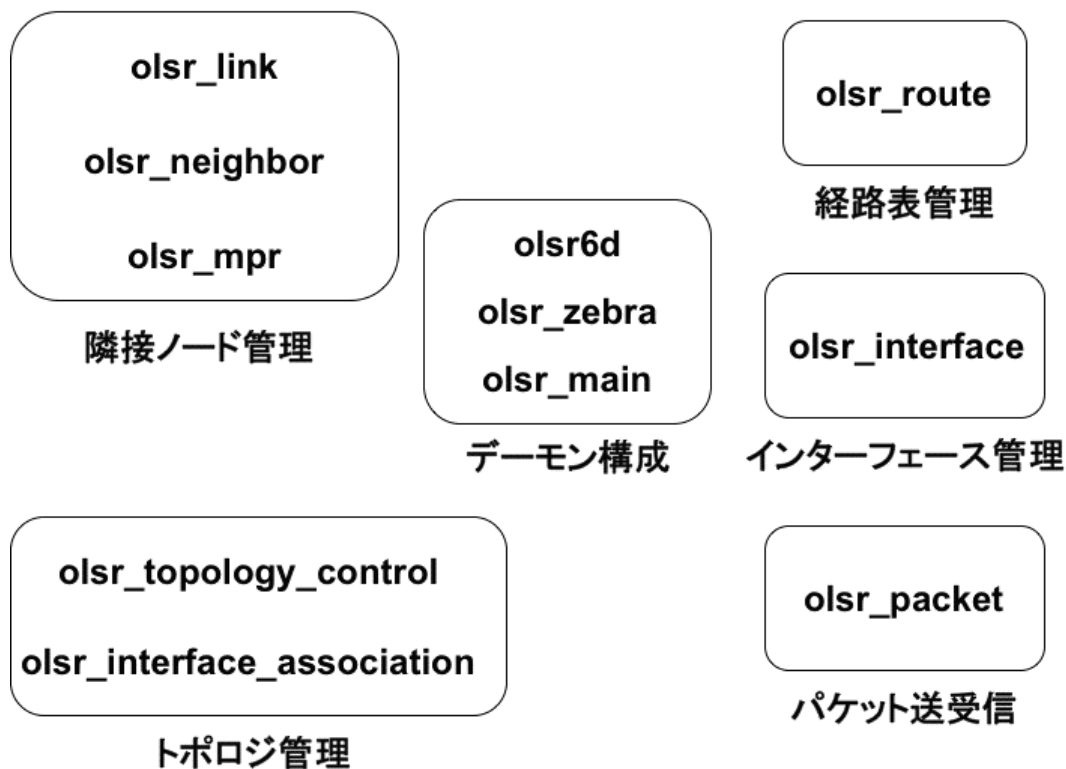


図 5.1: olsr6d のモジュール構造

ルである。olsr6d は、ユーザインターフェースとして zebra ライブラリを用いた telnet インターフェースを備える。ポート番号は、初期値として 2607 番を用いる。olsr6d モジュールは、各種コマンドの olsr6d へのインストールと汎用コマンドの記述を行う。olsr_zebra モジュールは、olsr6d と Zebra デーモン間の入出力を管理するモジュールである。olsr6d は、Zebra デーモンと通信することで、ネットワークインターフェース情報、カーネル経路表更新情報を取得し、経路更新情報を提供する。olsr_main モジュールは、コマンドライン引数の処理、各種設定の初期化、スレッドの初期化を行う。

olsr6d では、設定情報管理は、図 5.2 に示す OLSR 構造体を用いて行う。

OLSR 構造体に格納される情報は、olsr6d で広域に用いられるリストの先頭アドレス、各メッセージ送信インターバル設定、リスト更新インターバル、メインアドレス、Willingness 変数である。各リストは、Zebra ライブラリのリスト型汎用データ構造である list 構造体で保持され、Zebra ライブラリにより提供されるリスト管理用関数群を用いて管理される。

隣接ノード管理部

隣接ノード管理部は、olsr_link モジュール、olsr_neighbor モジュール、olsr_mpr モジュールで構成される。olsr_neighbor モジュールは、HELLO メッセージの送受信を

```

struct olsr {
    struct list    *iface_assoc_set;
    struct list    *interface_set;
    struct list    *link_set;
    struct list    *neighbor_set;
    struct list    *two_neighbor_set;
    struct list    *mpr_selector_set;
    struct list    *topology_set;
    struct list    *duplicate_set;
    struct list    *routing_table;

    struct in6_addr main_addr;
    int    willingness;
    int    hello_interval;
    int    tc_interval;
    int    mid_interval;
    int    hna_interval;
    int    refresh_interval;
};

```

図 5.2: OLSR 構造体

行うことで、隣接ノード管理、2 ホップ隣接ノード管理、リンク管理を行うためのモジュールである。隣接ノードとの無線リンク状態を管理することから、olsr_neighbor モジュールは、olsr_link モジュールと非常に強い相関関係を持つ。olsr_link モジュールは、olsr_neighbor モジュールの要求にしたがった隣接ノードへのリンクの追加、タイマーによるリンク状態変化情報の olsr_neighbor モジュールへの受渡しを行う。olsr_neighbor モジュールは喪失リンクが隣接ノードへの最後のリンクだった際、隣接ノードリストから該当隣接ノードを削除する。

olsr_neighbor モジュールは、OLSR 構造体に保持された hello_interval メンバの値を参照し、HELLO メッセージを作成、送信する。隣接ノードから送信された HELLO メッセージ中にノードのインターフェースアドレスが含まれていた際、隣接ノードリストに該当隣接ノードのエントリが存在しなければ作成する。また、隣接ノードが送信する HELLO メッセージ中に含まれるインターフェースアドレスを 2 ホップ隣接ノードアドレスとして扱い、2 ホップ隣接ノードリストを更新する。

olsr_mpr モジュールは、隣接ノードリスト、2 ホップ隣接ノードリストを基に各インターフェース毎に MPR 計算を行う。MPR 計算は、隣接ノードの Willingness 変数、2

ホップ隣接ノードへの到達可能隣接ノード数、隣接ノードの2ホップ隣接ノードへの到達数、隣接ノードの保持リンク数を基に計算される。ノードは、HELLOメッセージを用いて自身がMPRとして選択したノードのアドレスリストを発信し、受信ノードは自身がMPRとして選択されていた際、送信元ノードをMPR Selectorとして管理する。

トポロジ管理部

トポロジ管理部は、`olsr_topology_control` モジュールと `olsr_interface_association` モジュールで構成される。`olsr_topology_control` 部は、MPR Selectorのメインアドレスと自身の間のリンクをネットワーク全体にフラッディングするためのTC(Topology Control)メッセージ作成、およびメッセージの PACKET 送受信部への受渡しを行う。メッセージ受信時には、トポロジリストを更新する。

`olsr_interface_association` モジュールは、ノードのメインアドレスとインターフェースアドレスの対応付けを行うためのMID(Multiple Interface Declaration)メッセージの作成を行う。単一インターフェースのみでOLSR網に参加しているノードは、参加インターフェースとメインアドレスが同一となるため、MIDメッセージの作成を行わない。メッセージ受信時には、インターフェースアソシエーションリストを更新する。

PACKET 送受信部

PACKET 送受信部は、`olsr_packet` モジュールにより構成される。`olsr_packet` モジュールは、メッセージの転送、PACKETの送信、PACKETの受信、PACKET受信時の各メッセージ処理メソッド呼出を行う。ノードはPACKET受信時にPACKETを展開し、メッセージを取り出す。取り出したメッセージの送信元アドレスが、ノードのMPR Selectorであった場合、ノードは全てのインターフェースでPACKETを送信する。その際、メッセージの重複処理を防ぐため、メッセージの送信元ノードのメインアドレス、メッセージのシーケンス番号の対を保存する。

経路表管理部

経路表管理部は、隣接ノード管理部、トポロジ管理部が得た情報を基に経路情報の作成を行い、`olsr_zebra` モジュールへと経路更新情報を受け渡す。経路計算はdijkstra最短経路探索アルゴリズムを改良し、実装した。経路計算は、まず、隣接ノードを経路リストに追加することから始まる。次に、隣接ノードを介した2ホップ隣接ノードを経路リストに追加する。すでに、経路リストに追加されているノードを無視することで、経路情報の不整合を回避できる。その後、トポロジリスト中のエントリのうち、経路リスト中に存在する2ホップ隣接ノードが広告した経路情報を参照し、3ホップ先のノードを追加する。4ホップ以降も同一の動作を続け、経路リストに追加するノード数が0になった時点で処理を終了する。

インターフェース管理部

インターフェース管理部は、`olsr_interface` モジュールにより構成される。`olsr_interface` モジュールは、`olsr6d` 起動時に Zebra デーモンからインターフェース情報の取得、インターフェース状態変化の受信、状態変化に伴うインターフェースリストの更新を行う。状態変化とは、インターフェースのアップ/ダウンの状態変化、アドレスの追加、削除のことである。グローバルアドレスの削除が行われ、グローバルアドレスが割り振られなくなったインターフェースは OLSR 網から削除する。反対にグローバルアドレスが追加され、かつ OLSR 網に参加する設定がなされているインターフェースは、アドレスが割り振られた時点で OLSR 網に参加する。

5.1.3 `olsr6d` の使用方法

本項では、`olsr6d` の使用方法を示す。

コマンドラインオプション

`olsr6d` のコマンドラインオプションを図 5.3 に述べる。

```
# olsr6d [-d] [-f 設定ファイル] [-p ポート番号] [-i インターフェース名]
```

図 5.3: `olsr6d` のコマンドラインオプション

`olsr6d` をデーモンモードで起動させるには、`-d` オプションを指定する。また、初期値で与えられる設定ファイル以外のファイルを用いる際には、`-f` オプションを用いてファイルを指定する。設定ファイルの初期値は、`/usr/local/etc/olsr6d.conf` である。`-p` オプションを指定することで、`olsr6d` の telnet インターフェースのための待ち受け TCP ポート番号を指定可能である。初期値のポート番号は 2607 である。また、`-i` オプションを指定することで、コマンドラインから OLSR 網に参加するネットワークインターフェースを指定する。コマンドラインからの指定、設定ファイルによる指定が無い場合は全てのグローバルスコープアドレスが割り振られているネットワークインターフェースが OLSR 網に参加する。

5.2 ポリシ経路制御 OLSR

本節では、ポリシ変数をネットワーク上に配布するための OLSR 実装の拡張について述べる。以下では、本実装のことを `pbr_olsr6d` と呼ぶ。本研究で提案するシステムでは、距離、リンク接続ノード数をポリシ変数として OLSR を用いてネットワーク上に配

布する。各ノード間の距離はGPSによる位置情報を基に計算される。隣接ノード管理部では、位置情報を PBR_HELLO メッセージを用いて交換し、各隣接ノードへのリンクを経由した隣接ノードの位置情報を記録する。トポロジ管理部では、MPR Selector のメインアドレスと共に、隣接ノード管理部で取得した隣接ノードまでの位置情報を基にリンク間距離情報を計算し、それを PBR_TC メッセージに埋め込んでネットワークに配布する。経路表管理部では、得られたリンク間距離を基に、宛先へのボトルネックリンクの帯域が計算され、リンク接続ノード数を基にメトリック計算が行われる。また、変更が加えられた隣接ノード管理部、トポロジ管理部、経路表管理部では、通常の経路制御に必要な計算も同時に行われ、経路表の作成が行われる。

5.2.1 位置情報取得手法

本実装では、位置情報取得手法として HAKONIWA を用いる。HAKONIWA は、自動車アプリケーション開発支援環境である。HAKONIWA 上では、ID で識別される複数台のインターネット接続性を持った自動車環境がエミュレートされ、モジュール化したアプリケーションを HAKONIWA に組み込むことにより、実車環境に即したアプリケーションの検証を行うことができる。HAKONIWA は、交通流シミュレータ、通信環境シミュレータ、簡易気象シミュレータといった複数のシミュレータから得られる情報を基に、HAKONIWA 環境で動作する各自動車の情報を動的に更新する。それらのシミュレータは、実際に存在する地図情報とその地点における交通情報、気象情報の統計を基に自動車環境を再現する。また、HAKONIWA 上で動作する各自動車の情報はリレーショナルデータベースに登録され、XML 形式に整形されたものを外部ホストから取得可能である (図 5.4)。本実装では、HAKONIWA から得られる位置情報を基に、自動車通信環境を再現する。

pbr_olsr6d は、起動時に自身の自動車識別番号を読み込む。その識別番号を基に HELLO メッセージ送信時、リンク距離計算時に HAKONIWA サーバへと接続し、車両情報 XML を取得する。HAKONIWA サーバのポート番号は 1982 番である。図 5.4 で示した車両情報中、位置情報を示す position 属性から、緯度、経度、高度情報を取得する。また、HAKONIWA サーバのアドレスとポート番号を保持するため、olsr 構造体にそれぞれ hakoniwa_server メンバと hakoniwa_port メンバを追加した。

5.2.2 ポリシ経路制御隣接ノード管理部

ポリシ経路制御隣接ノード管理部では、PBR_HELLO メッセージの交換により、通常の OLSR による隣接ノード管理に加えて隣接ノードの位置情報取得が行われる。PBR_HELLO メッセージ送信時には、HAKONIWA サーバから自身の位置情報を取得し、PBR_HELLO メッセージに埋め込む。メッセージ受信時には、隣接ノードの送信元アドレスと自身の受信インターフェースを接続するリンク情報が存在しなければ、新たにリンクノードリストに追加する。新リンク追加後、あるいはリンクノードリス

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8" standalone="yes" ?>
<hakoniwaTsInfo xmlns="http://hakoniwa-ts.icar.wide.ad.jp/
hakoniwa-ts/getinfo.cgi">
  <time>2004-12-25T15:50:22+00:00    </time>
  <position>
    <lng>E0.0</lng>
    <lat>N0.0</lat>
    <alt>0.0</alt>
  </position>
  <direction>0</direction>
  <speed>0</speed>
  <type>Type-HAKONIWA</type>
</hakoniwaTsInfo>

```

図 5.4: 車両情報 XML の例

ト中に該当リンクが存在した際には、PBR_HELLO メッセージから位置情報を取り出し、該当リンク情報中の位置情報を更新する。緯度、経度、高度情報の格納のため、olsr_link_tuple 構造体中に、L_lng メンバ、L_lat メンバ、L_alt メンバを追加した (図 5.5)。

```

struct olsr_link_tuple {
    struct in6_addr L_local_iface_addr;
    struct in6_addr L_neighbor_iface_addr;
    double L_lng;
    double L_lat;
    double L_alt;
    time_t L_SYM_time;
    time_t L_ASYM_time;
    time_t L_time;
};

```

図 5.5: olsr_link_tuple 構造体の改変

5.2.3 トポロジ管理部と経路表管理部の改変

ポリシ経路制御トポロジ管理部では、PBR_TC メッセージの交換により、リンク間の距離を含んだリンクステータデータベースを構築する。リンク間の距離は、ポリシ経路制御隣接ノード管理部において得られた情報を基に計算される。PBR_TC メッセージ送信時には、MPR Selector リストを検索し、MPR Selector リスト中にノードが存在しなければ、PBR_TC メッセージの送信を行わない。MPR Selector が存在した場合、ノードは隣接ノード数を PBR_TC メッセージヘッダ中の `node_count` フィールドへと追加する。PBR_TC メッセージ中に MPR Selector のメインアドレスを含めた後で、`olsr_pbr_get_location` 関数の呼び出しによりノードは自身の現在の位置情報を得る。追加したメインアドレスに対応するリンク情報を検索し、自身の位置情報との差分を計算した上で、PBR_TC メッセージの `Distance` フィールドに距離情報を追加する。

```
struct olsr_topology_tuple {
    struct in6_addr T_dest_addr;
    struct in6_addr T_last_addr;
    u_short        T_seq;
    int            T_dist;
    int            T_node_count;
    time_t        T_time;
};

struct olsr_routing_entry {
    struct in6_addr R_dest_addr;
    struct in6_addr R_next_addr;
    double R_bottle_neck;
    float R_metric;
    int R_dist;
    struct in6_addr R_iface_addr;
};
```

図 5.6: `olsr_topology_tuple` 構造体と `olsr_routing_entry` 構造体の改変

PBR_TC メッセージ受信時には、通常の TC メッセージ受信時と同様にトポロジリストの構築が行われる。位置情報を格納するために、`olsr_topology_tuple` 中に `T_dist` メンバを、リンク接続ノード数を格納するために `T_node_count` メンバをそれぞれ追加した(図 5.6)。PBR_TC メッセージの受信に伴い、通常の TC メッセージの処理に加え、距離情報の取得、格納が行われる。

`olsr_pbr_routing_set_update` 関数では、拡張された `olsr_topology_tuple` によるトポロ

ジリストを基にパスの帯域評価が行われ、ポリシー管理サーバへ送信する PBR_RULE メッセージの作成が行われる。経路計算に用いられる `olsr_routing_entry` 構造体を図 5.6 に示す。`olsr_pbr_routing_set_update` 関数は、通常の OLSR における経路計算に加え、ボトルネックリンクの帯域計算とメトリック計算が行われる。全てのリンクに対してその計算を行う必要があるため、2 ホップ隣接ノードリストを用いない計算が行われる。ボトルネックリンクの帯域計算は、リンク間の距離を帯域に置き換える計算に基づいて行われる。その後、`dijkstra` 計算を行う過程で、中継ノードまでのボトルネックリンク帯域と、中継ノードから宛先ノードまでのリンク間の帯域を比較し、小さい値がボトルネックリンク帯域として保存される。メトリック計算は、4.3.3 項に示された計算式によって求められる。

以上のようにして作成された `olsr_routing_entry` によるポリシー経路リストのエントリそれぞれについて PBR_RULE メッセージを作成し、ローカルホスト上で動作するデーモンであるポリシー管理サーバへと送信する。

5.3 ポリシー管理サーバの実装

本実装では、ポリシー実現手法として BSD で用いられる IPF (IP Filter) を用いる。ポリシー管理サーバは、起動時に設定ファイルを読み込み、それをポリシールールリストに格納される。ポリシールールリストはリスト構造を用いて管理される。ポリシールールリストの構造を図 5.7 に示す。

```
struct pbr {
    struct in6_addr P_dst_addr;
    char           P_proto[PROTOLLEN];
    int            P_dst_port;
    int            P_src_port;
    u_char         P_flag;
    u_char         P_pref_net;
};
```

図 5.7: pbr 構造体

ポリシー管理サーバは、経路制御デーモンから PBR_RULE メッセージを受け取ると、メッセージタイプを確認する。メッセージタイプが、`PBR_RULE_DELETE` だった場合、該当するルールを、`pbr_delete_rule` 関数により IPF のルールから削除する。メッセージタイプが、`PBR_RULE_ADD` であった場合には、`pbr_flush_pbr_table` 関数により ipf テーブルのフラッシュを行う。その上で、受け取ったメッセージの宛先アドレスフィールドと、ポリシールールリストの `P_dst_addr` メンバを比較し、一致するエントリ

がポリシールールリスト中に存在しなければそのルールを無視する。エントリが存在した場合、`pbr_link_eval_RTT` 関数によって宛先までの RTT を計測した上で、`P_flag` に設定されたフラグを基に NEMO リンクと MANET リンクの品質を比較する。NEMO リンクの RTT と帯域は定数で定義され、RTT は 100ms、帯域は 0.7Mbps とする。比較した結果、フラグで指定された結果が NEMO リンクの方が有利であれば NEMO リンクへと転送する IPF ルールを `pbr_install_rule` 関数により設定する。

第6章 評価

本章では、本研究で実装した MANET 通信環境の性能評価、および本論文で提案するシステムの評価について述べる。

6.1 車車間マルチホップ通信路における距離と帯域の相関

本研究では、MANET による車車間マルチホップ通信路と NEMO による広域通信環境の特性の違いに応じた通進路選択を行う。本実験では、MANET 通信網が広域通信網に比較して広帯域な通信環境を実現可能であることを示すためのものである。加えて、各自動車の車間距離を 100 ~ 150m 付近に調整した実験と、車間距離を 10 ~ 20m に調整した実験の 2 つの実験を行い、実車環境における車間距離と実効帯域の相関関係を評価する。

6.1.1 実験自動車環境と測定手法

実験自動車環境を図 6.1 に示す。MANET 網の形成のために、3 台の自動車にそれぞれ無線デバイスを装備した計算機を設置し、それぞれの計算機の上で `olsr6d` を動作させた。それぞれの自動車は、送信元自動車、中継自動車、受信自動車と区分することができる。送信元自動車と受信自動車は計算機、無線デバイス等すべて同一の構成で実験環境を構築した。帯域の測定には、`Netperf` を用いて UDP データグラムを送信することで行った。また、`Netperf` による計測は 8 秒毎に行われ、受信自動車、送信元自動車双方の搭載計算機の受信バッファ、送信バッファはそれぞれ 64K バイト時と、48K バイト時のものを測定した

受信自動車上の無線デバイスにはアドレス `2001:2::2` を割り当て、`Netperf` のサーバアプリケーションである `netserver` を動作させる。送信元自動車は、受信自動車の `netserver` に向けて、`netperf` アプリケーションを用い、UDP データグラムを送信する。その際、UDP データグラムのサイズは 1280 バイトで送信した。中継自動車に搭載した計算機には 2 枚の無線デバイスが装備されている。受信自動車側の無線デバイスは、計算機内蔵の無線デバイスであり、`2001:2::1` のアドレスが割り当てられている。送信元自動車側の無線デバイスは PCMCIA タイプのカード型無線デバイスであり、`2001:1::1` のアドレスが割り当てられている。

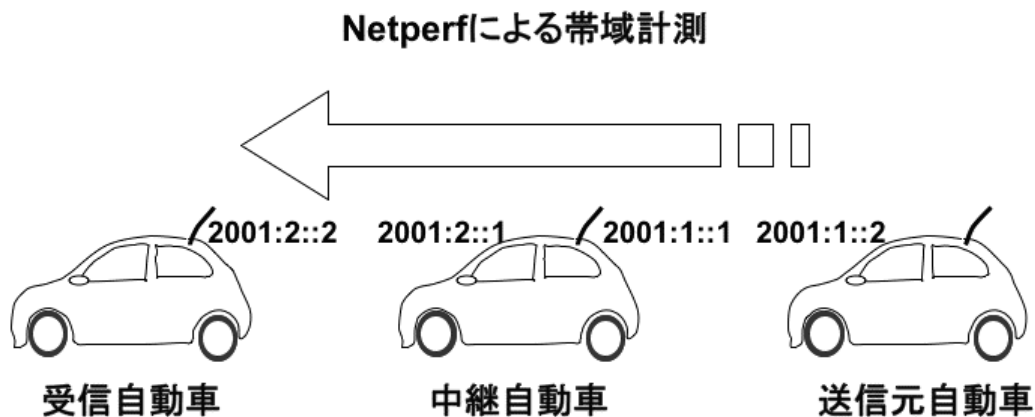


図 6.1: 実験自動車環境

6.1.2 使用機材

本実験で使用した機材を表 6.1にまとめる。

表 6.1: 実験機材

CPU	メモリ	使用無線デバイス
Intel PentiumM 1.40Ghz	256MB	Melco inc WLI-PCM-L11GP
Intel PentiumM 1.40Ghz	256MB	Melco inc WLI-PCM-L11GP
Intel Mobile Pentium III 1.06	640MB	内蔵無線 (Intersim Prism 2.5) Melco inc WLI-PCM-L11

また、全ての PC の OS は FreeBSD 4.10-Release に kame-20041213-freebsd410-snap パッチをあてた構成になっている。

6.1.3 走行コース

本実験は慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス内、メビウスリングで行った。

走行中開始地点から総延長の約 1/4 地点において、大学院棟が存在し第 1 カーブにさしかかる。そこから下りの直線が続く、総延長約 1/2 地点において交差点が存在する。交差点から直線が続いたあと、緩やかなカーブにさしかかり高等部前に到着する。カーブの内側には林が存在しており見通しがとれない状態である。



図 6.2: 走行コース (メビウスリング)

6.1.4 測定結果

測定は、速度 20km/h、速度 30km/h、速度 40km/h のそれぞれの速度において、車間距離を 100m 付近と接近距離の 2 つの状況において測定した。実験開始時には、送信元自動車、中継自動車、受信自動車への経路を olsr6d を用いて取得したことを確認し停車した。各実験では、停車状態から走行状態に移行する際に測定を開始した。

車間距離 100 - 150m

本実験は、車間距離 100 - 150m を維持したまま 3 台の自動車が行くことで行った。実験開始地点の設定は、中継自動車を高等部入口前に停車させ、そこから前後 100m 程度の地点に送信元自動車と受信自動車を設置することで行った。開始地点から走行コースを 1 周し、データ計測を行った。

車間距離 10 - 20m

本実験は、車間距離 10 - 20m を維持したまま 3 台の自動車が行くことで行った。実験開始地点の設定は、全ての自動車が高等部駐車場前付近に停車することで行った。開始地点から 1 周走行し、データ計測を行った。

6.1.5 考察

図 6.3、6.4、6.5 を観察すると、いずれの速度であっても通信途絶の頻度は、いずれの実験においても高い。これは、実験に用いた IEEE 802.11b デバイスの自動車走行環境における通信限界範囲が 150m 付近であったことが要因と考えられる。

全ての実験において、総走行距離中 1/3 地点と終点近傍において、通信の途絶、あるいは通信帯域の低下が観測される。1/3 地点は、大学院棟前のカーブ地点である。当該地点における、通信品質の悪化は大学院棟設置の構内アクセスポイントとの干渉が

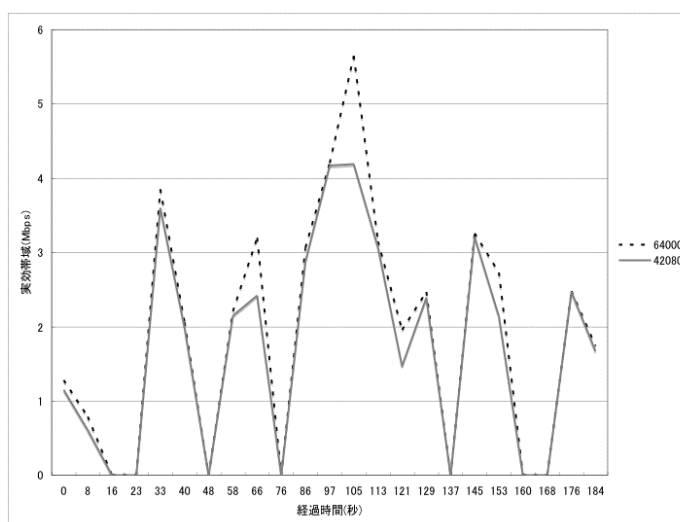


図 6.3: 20km/h 走行時の実効帯域 (車間距離 100 - 150m)

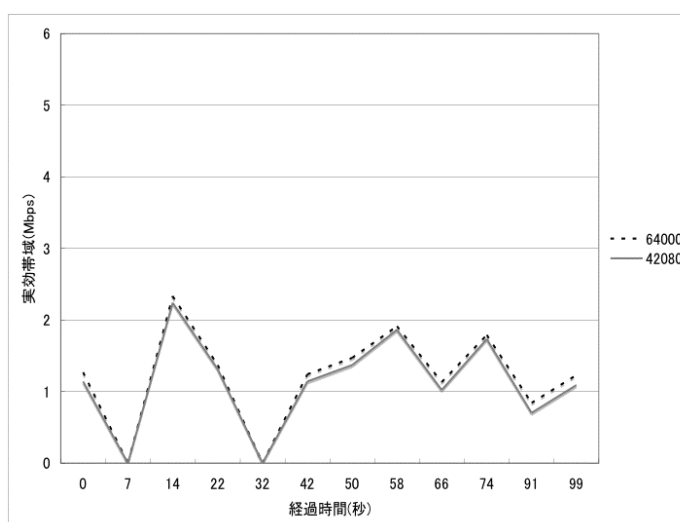


図 6.4: 30km/h 走行時の実効帯域 (車間距離 100 - 150m)

原因であることが考えられる。終点近傍における通信品質の悪化は、終点近傍におけるカーブ内側に存在する林による見通しの損失が原因であることが考えられる。

6.1.4と6.1.4の結果を比較すると、通信の安定性、実効帯域の平均値はいずれにおいても、車間距離 10～20m における実験結果が勝っていることが確認できる。車間距離 10～20m におけるいずれの計測においても実効帯域の平均値は、2.0Mbps から 3.0Mbps であり、各実験の計測値を総合した平均実効帯域は 2.35Mbps となる。それに対し車間距離 100～150m の計測における実効帯域の平均値は、1.13Mbps から 1.97Mbps であり、各実験の計測値を総合した平均実効帯域は 1.41Mbps である。以上のことから、無線通信において距離と実効帯域の間には相関が存在すると言える。

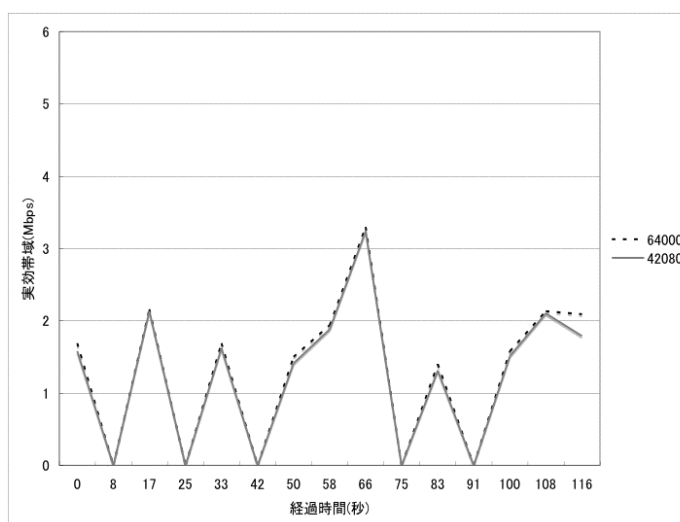


図 6.5: 40km/h 走行時の実効帯域 (車間距離 100 - 150m)

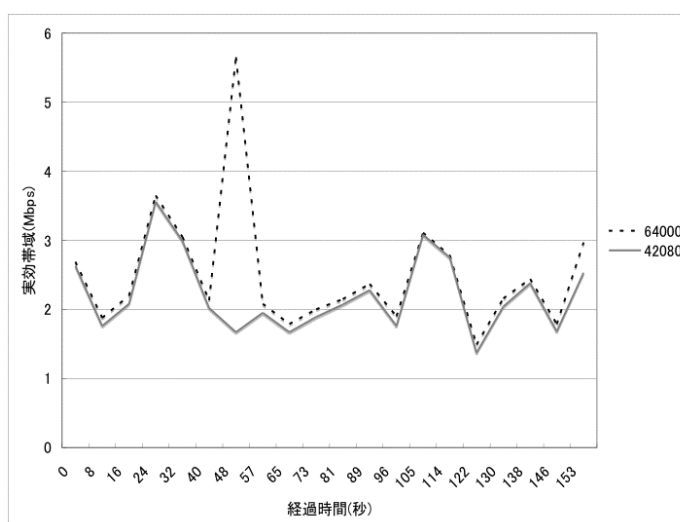


図 6.6: 20km/h 走行時の実効帯域 (車間距離 10 - 20m)

6.2 仮想自動車移動環境におけるポリシ経路制御システムの性能評価

本節では、本論文で提案するインターネット自動車におけるポリシ経路制御システムの評価について述べる。本評価では、本システムを導入することで無線リンクの通信品質評価を行った上で、通信品質評価に基づいた通信路選択を行えることを示す。

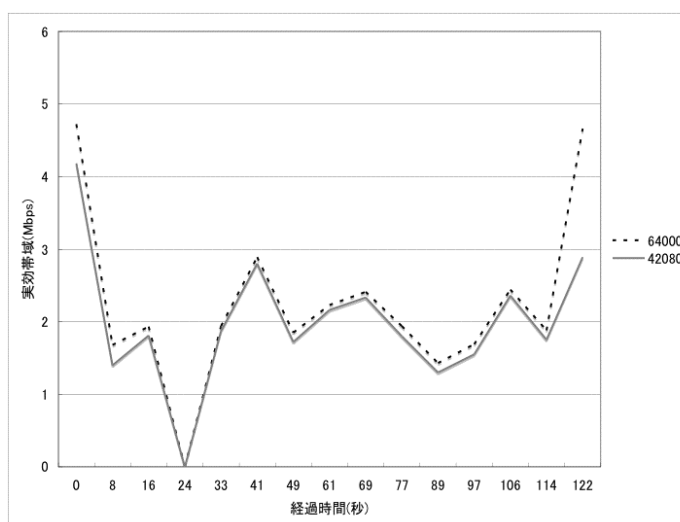


図 6.7: 30km/h 走行時の実効帯域 (車間距離 10 - 20m)

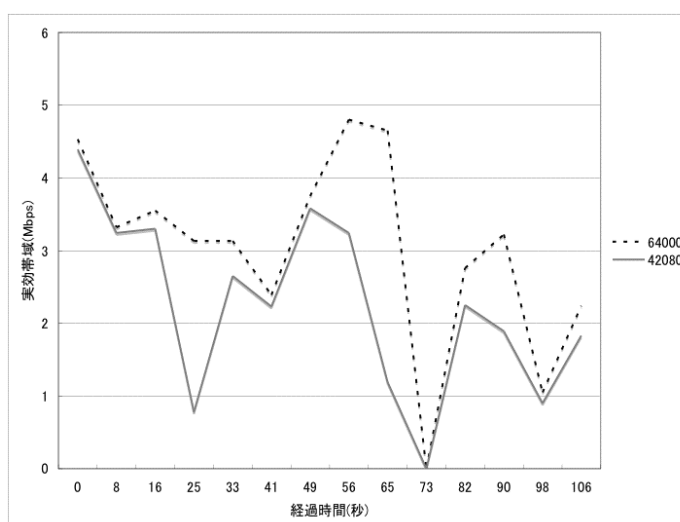


図 6.8: 40km/h 走行時の実効帯域 (車間距離 10 - 20m)

6.2.1 実験概要

図 6.9に、本実験の実験環境を示す。

本実験では、インターネット接続網と MANET 網という 2 つのネットワーク接続性を IPv6 により移動ノードに提供する。インターネット接続網では、IPv6 over IPv4 トンネルを各移動ノードとデフォルトゲートウェイ間で設定することにより、デフォルトゲートウェイを介した自動車間通信が行われる。MANET 網では、olsr6d を動作させることにより、MANET を介した自動車間通信環境が実現される。また、IPv4 によるインターネット接続網では、デフォルトゲートウェイに NAT を設定することで、実

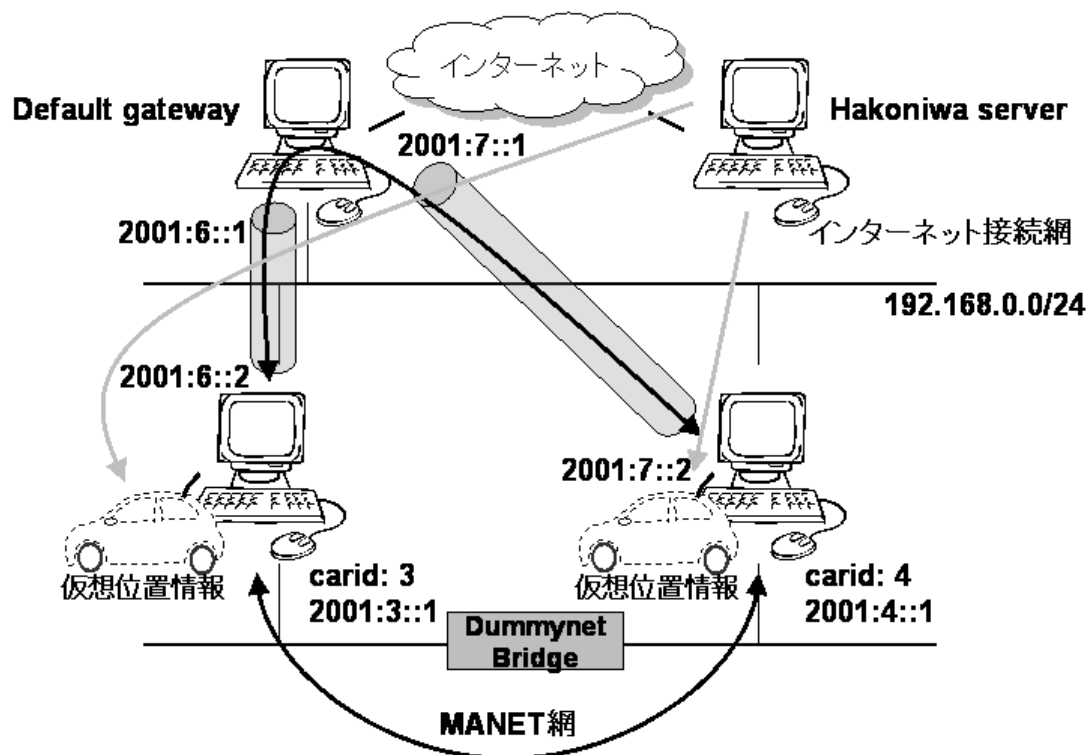


図 6.9: 評価ネットワーク環境

験ネットワーク外に存在する HAKONIWA サーバへ各移動ノードが接続することを可能としている。

本実験では、移動ノードとして2台のノードを設置した。その際、デフォルトゲートウェイ上に、各移動ノードの MANET 網側インターフェースへの経路として、対応するトンネルインターフェースに設定されたアドレスを次ホップとする経路を設定する。この設定により、2台の移動ノード間で通信を行う際、宛先移動ノードの MANET に接続するネットワークインターフェースに設定されたアドレスへの通信を行うことで、一意のアドレスを用いた通信を行うことが可能となる。

本実験ネットワークを構成するインターネット接続網、MANET 網は 10BaseTx による配備を行った。また、本実験では、両接続網の環境をエミュレーションするために、帯域制限を行っている。インターネット接続網の帯域制限は、帯域制限機能を備えたレイヤ 2 スイッチを用いて、CDMA 1X EVDO を想定し、実行帯域を 700kbps に制限した。また、MANET 網における実行帯域は、2台の移動ノードの距離に基づき、Dummynet によって動的に実行帯域を変動させた。

本実験では、各移動ノードは位置情報を外部ネットワークに存在する HAKONIWA サーバから取得する。5.2.1項に示したように、HAKONIWA 上では、複数台の自動車の走行環境がエミュレートされ、位置情報の他にも速度、方位等の自動車情報を取得することが可能である。本実験では、位置情報を HAKONIWA から取得することで、


```
2001:3::1,udp,0,0,1,0,0,nemo
```

図 6.10: ポリシ管理サーバ設定ファイル

実自動車環境をエミュレートし、本研究で設計、実装を行ったシステムの評価を行う。その際、車両走行地図として名古屋市を選択し、地図上を 100 台の自動車が走行する環境をエミュレートした。本実験で用いる 2 台の移動ノードは、そのうちから選択された 2 台の自動車である。

また、本実験で想定する無線デバイスは中域通信メディアである。これは、本実験でエミュレートする車車間マルチホップ通信配備初期段階においては、車車間において中域通信メディアを用いる際にも、リンク接続ノード数が少なくネットワーク資源も豊富な通信環境を実現できると考えられる。また、そのような環境では、中域通信メディアを用いることで、マルチホップ通信環境の特性を活かした中継ノードによるデータ転送を行うことで、有効な車車間マルチホップ通信環境を実現できる。車車間通信マルチホップの普及に伴い、本研究で想定する狭域通信メディアを用いたマルチホップ通信環境の構築が促進されるものと予想される。本実験では、実効無線通信可能範囲を 3000m とした通信メディアを想定する。

本実験では、複数の通信路を用いる際に、MANET 網側で olsr6d のみを動作させた場合、拡張 olsr6d によるポリシ経路制御を行った際、のそれぞれについて実効帯域、2 台の自動車におけるリンク間の距離を計測する。実効帯域は Netperf を用いて自動車 ID4 の自動車から自動車 ID3 の自動車に対して UDP データグラムを送信することで計測する。その際の、自動車 ID4 の自動車におけるポリシ管理サーバの設定ファイルを図 6.10 に示す。

この設定ファイルにより、2001:3::1 への UDP トラフィックは、帯域優先フラグが設定され、帯域的に有利と判断された通信路へとデータ転送が行われる。

使用機材

本実験の使用機材と割り当てた自動車 ID の対応を表 6.2 に示す。

表 6.2: 実験機材

CPU	メモリ	自動車 ID/機能
Intel PentiumM 1.40Ghz	256MB	3
Intel Pentium 3 Mobile 1.20Ghz	1024MB	4
Interl Pentium 4 Mobile 2.00Ghz	512MB	デフォルトゲートウェイ
Interl Xeon 3.06Ghz x 4	6.23GB	HAKONIWA サーバ

全ての移動ノードの OS は NetBSD 1.6.2-Release を使い、IP Filter をトンネルイン

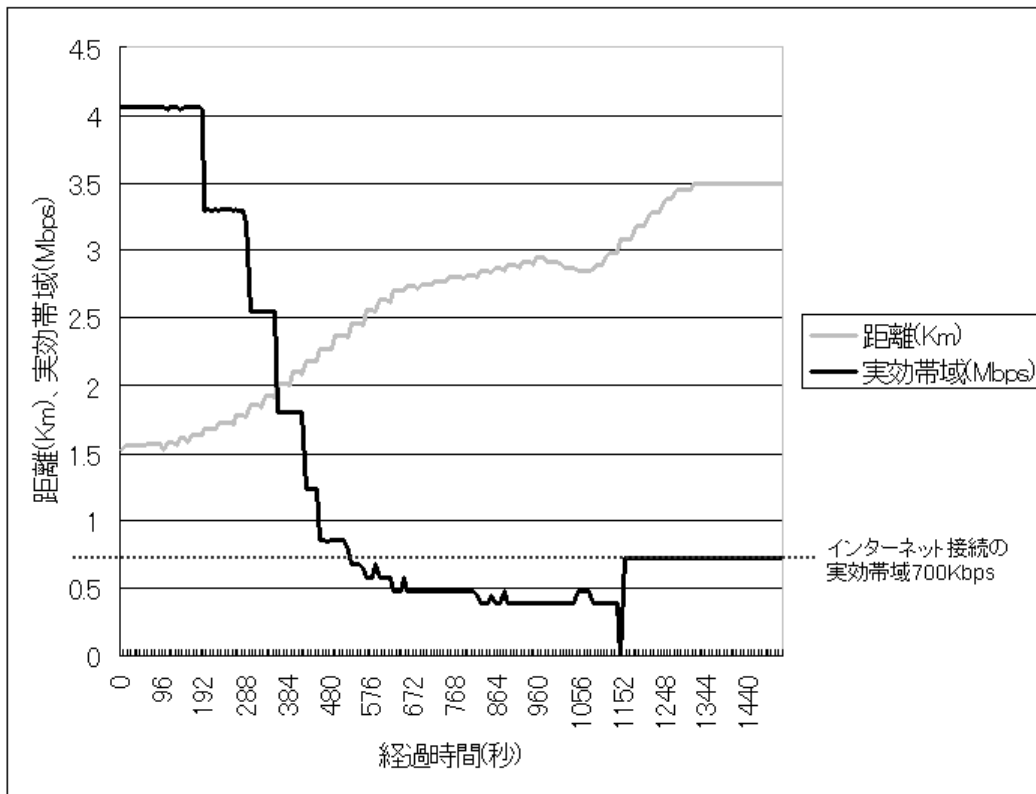


図 6.11: MANET 経路制御プロトコルのみの動作

ターフェースである gif インターフェースに対応させたカーネルを用いる。デフォルトゲートウェイには、FreeBSD-5.3-Release を用い、HAKONIWA サーバには、Fedra Core release 2 を用いる。

6.2.2 測定結果

本実験において、olsr6d のみを動作させた際の測定結果を図 6.11 に、拡張 olsr6d によるポリシー経路制御を用いた際の測定結果を図 6.12 に示す。

olsr6d のみを動作させた際の実験開始地点における両自動車間の距離は 1559m であり、通信開始時は MANET 接続網を通信路として使用している。実験開始地点から両自動車間の距離は離れ始める。実験開始から 528 秒地点において、実効帯域という観点から MANET 通信網とインターネット接続網の通信品質が逆転した後も olsr6d のみを動作させた状態では通信品質の逆転を検知することができず、実験開始から 1144 秒が経過した時点において、MANET 側の経路が失われ通信が途絶して始めてインターネット接続網を通信路として用いている。olsr6d のみを動作させた際には、実効帯域において有利な通信路の選択を行うことができずアプリケーションの要求を無視した通信路の選択が行われた。

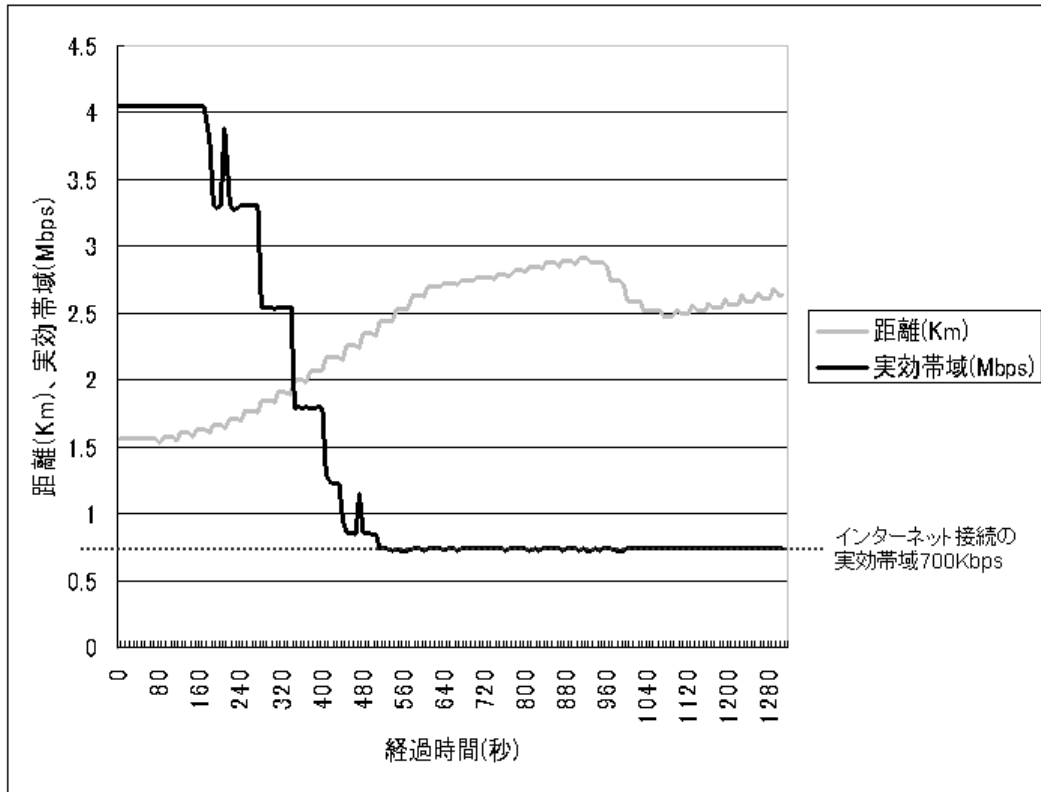


図 6.12: ポリシ経路制御導入時の動作

拡張 olsr6d によるポリシ経路制御を動作させた際の実験開始地点における両自動車間の距離は 1555m であり、通信開始時は MANET 接続網を通信路として使用している。実験開始後、512 秒地点において、MANET 網とインターネット接続網の実効帯域が逆転したことを動的に検知し、以後インターネット接続網を用いた通信を行うことで、インターネット接続網の実効帯域である 700kbps を最低限とした通信を継続することが可能となっている。拡張 olsr6d によるポリシ経路制御を行うことで、アプリケーションの要求を満たした通信路選択が行えた。

6.2.3 考察

本実験では、名古屋市における自動車通信環境をエミュレートした。本実験では、実験総時間 1520 秒中、504 秒間 2 車間での MANET 網を用いた通信を継続できている。実験車両 100 台中 2 台に本システムを配備する、という MANET 配備初期環境においても、通信範囲 3000m 程度の通信メディアを用いることで、326.45 平方キロメートルの面積である名古屋市におけるマルチホップでの通信環境の継続は可能であると判断できる。

また、本実験では、MANET 経路制御プロトコルのみを動作させた場合、ポリシ経

路制御を導入した場合、の2つの状況における仮想自動車環境における実効帯域の計測を行い、ポリシー経路制御を導入することで、アプリケーションの要求に従った通信路選択を行えることを示した。

6.3 実験のまとめと考察

本研究では、OLSR実装の実車環境での評価とインターネット自動車環境におけるポリシー経路制御システムの評価をHAKONIWA上のエミュレーション環境において評価実験を行った。

OLSR実装を実自動車環境において行うことで、インターネット自動車通信環境における車車間マルチホップ通信環境の有用性を示すことができた。実験に用いたIEEE 802.11bは、規格で定義される最大帯域が11Mbpsであるが、実自動車環境におけるマルチホップ通信環境においても2Mbpsの実効帯域を得ることが可能であることが本実験で示された。自動車の通信環境に適した通信メディアの利用を行うことで、より広帯域な通信環境の実現が期待できる。さらに、車間距離を変化させて評価を行うことで、無線デバイスを用いたマルチホップ通信環境において、各ノード間の距離が実効帯域に影響することを示した。

ポリシー経路制御システムをインターネット自動車通信環境において用いることで、アプリケーションの要求に応じた通信路選択を行うことができる。本研究で行った実験により、MANET経路制御のメッセージングを用いた位置情報の交換とリンク間距離計算を行うことができ、リンク間距離に基づいたリンク帯域予測の実現が可能であることを示した。また、ポリシー管理サーバが、リンク品質を管理することで、複数通信路からアプリケーションの要求に応じた通信路を選択できることを示した。

第7章 結論

本章では、本論文のまとめと今後の課題を示す。

7.1 まとめ

本研究では、インターネット自動車の車車間通信環境の効率化を図るため、ポリシー経路制御技術を用いた広域通信路と狭域マルチホップ通信路の使い分けを行うためのシステムを設計、実装した。本研究では、動的に変動する MANET 通信環境の通信路評価を行うため、OLSR をインターネット自動車上で車車間マルチホップ通信環境を実現する経路制御技術として選択し、IPv6 対応 OLSR を Zebra 上に実装した上で、ポリシー経路制御を行うためのパラメータ配布機構をインターネット自動車システム上に導入した。さらに提案したシステムの有用性を示すために、本研究で実装した IPv6 対応 OLSR の性能評価を実車環境で行った上で、HAKONIWA 上で提案システムの評価実験を行った。

本研究により、アプリケーションの要求を考慮した複数無線環境選択技術がインターネット自動車上に導入された。

7.2 今後の課題

本研究では、位置情報とリンク接続ノード数をメトリックとしてポリシー経路制御を行うシステムの設計、実装を行った。しかし、自動車走行環境においては道路脇の建造物による無線リンクの遮蔽や走行自動車数の増加による無線リンクへのノイズの発生などの問題点が発生する。つまり、自車の走行方向と比較し、同一方向に延びた道路を走行中の自動車と垂直方向に延びた道路を走行中の自動車間とのリンクの質は、同一の距離のリンクであっても大きく性質が異なる。また、渋滞の発生していない高速道路を走行中の状態と渋滞に巻き込まれた状態では、同一の距離の自動車に対する通信であったとしても無線リンクへのノイズが異なる可能性がある。したがって、自動車特有のパラメータを整理し、それらのパラメータを考慮したポリシー経路制御を行う必要がある。

また、本論文で提案したシステムは、ポリシー設定インターフェースに関する議論を行っていない。ユーザにとって抽象度の高いポリシー記述を行うためのユーザインターフェースの実現を行う必要がある。例えば、ビデオストリーミングを自動車内で受信する際、「ビデオストリーミング」というキーワードから要求帯域、要求遅延等のアプ

リケーションの要求値を翻訳し、より要求を満たせると判断される通信路を選択できるポリシーの記述を生成するシステムの開発が必要である。

謝辞

本論文の執筆にあたり御指導頂きました慶應義塾大学環境情報学部教授 村井純博士、同学部助教授 中村修博士、奈良先端科学技術大学院大学教授 砂原秀樹博士に感謝致します。

絶えず御指導と御助言を頂きました慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科特別研究専任講師 植原啓介博士、慶應義塾大学SFC研究所の渡辺恭人博士、慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科特別研究助手 湧川隆次博士、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科特別研究助手 佐藤雅明氏、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科博士課程の小原泰弘氏に感謝致します。

MANETにおけるポリシ経路制御技術においてご助言を頂きました Ecole Polytechnique の Thomas Heide Clausen 博士に感謝致します。

また、本論文題目に関して、重大な示唆を頂きました東京大学情報基盤センター助手 関谷勇司氏に感謝致します。

本論文執筆に関して、多大な御協力を頂いた慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科博士課程の三屋光史朗氏、同大学大学院修士課程の廣瀬峻氏、久松剛氏、同大学環境情報学部の遠山祥広氏、塚田学氏、中村友一氏に感謝致します。

最後に、常に様々な助言と激励を頂きました、慶應義塾大学徳田・村井・楠本・中村・南研究会の諸氏に最大の敬意と感謝を示します。

参考文献

- [1] インターネット自動車プロジェクトホームページ.
<http://www.sfc.wide.ad.jp/InternetCAR/> (最終確認 2005年1月13日).
- [2] Wideプロジェクトホームページ. <http://www.wide.ad.jp/> (最終確認 2005年1月13日).
- [3] T. Clausen, P. Jacquet. Optimized Link State Routing Protocol. *RFC3626*, Oct 2003.
- [4] Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High-speed Physical Layer Extension in the 5 Ghz Band. *IEEE Std 802.11a-1999*, Jun 2003.
- [5] Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High-speed Physical Layer Extension in the 2.4 Ghz Band. *IEEE Std 802.11b-1999*, Jun 2003.
- [6] Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Amendment4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 Ghz Band. *IEEE Std 802.11g-2003*, Jun 2003.
- [7] Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. *IEEE Std 802.16-2001*, Apr 2002.
- [8] Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems: Amendment 2: Medium Access Control Modifications and Additional Physical Layer Specifications for 2-11 GHz. *IEEE Std 802.16a-2003*, Apr 2003.
- [9] Inmarsat ホームページ. <http://www.inmarsat.com/> (最終確認 2005年1月13日).
- [10] R. Draves. Default Address Selection for Internet Protocol version 6 (IPv6). *RFC3484*, Feb 2003.
- [11] R. Stewart, Q. Xie, K. Morneault, C. Sharp, H. Schwarzbauer, T. Taylor, I. Rytina, M. Kalla, L. Zhang, V. Paxson. Stream Control Transmission Protocol. *RFC2960*, Oct 2000.

- [12] R. Ogier, F. Templin, M. Lewis. Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF). *RFC3684*, Feb 2004.
- [13] David B. Johnson, David A. Maltz, Yih-Chun Hu. The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR). *Internet Draft (work in progress, draft-ietf-manet-dsr-10.txt)*, Jul 2004.
- [14] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. *RFC3561*, Jul 2003.
- [15] R. Wakikawa, J. T. Malinen and C. E. Perkins. Global connectivity for IPv6 Mobile Ad Hoc Networks. *Internet Draft (work in progress, draft-wakikawa-manet-globalv6-02.txt)*, Oct 2003.
- [16] T. Narten, E. Nordmark, W. Simpson. Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6). *RFC2461*, Dec 1998.