

衛星回線における動的経路制御機構への
データリンク状態反映機構

慶應義塾大学 環境情報学部

熊木 美世子

kuma@sfc.wide.ad.jp

指導教員

村井 純

徳田 英幸

楠本 博之

中村 修

南 政樹

平成 16 年 1 月 15 日

概要

本研究では、衛星回線において動的経路制御に用いる新しいリンク状態監視機構の設計と実装を行った。

既存の経路制御機構におけるリンク状態監視機構は、単純な仕組みでリンクの状態が通信に使用可能か判断する。リンク状態の監視パケットを定期的を送出し、一定時間到達性がないとリンクが切れたと判断する。このため、リンク状態の誤検知、データリンク特性への未対応といった問題点がある。例えば通信に使用できない品質のリンクを経路として選択したり、経路を切替えるまでの遅延が発生する。また、データリンクは通信媒体によって様々なパラメータを保持するが、既存のリンク状態監視機構はその回線上に監視用のパケットが流れたか否かの判断しか行わない。衛星回線では、回線のアップダウンの他にも受信レベル、雑音比などのパラメータがある。回線がアップしている状態でも、信号の受信レベルが落ちている場合はエラーレートが高く、適切な経路とは言えない。

この問題点を解決するには、経路制御機構における新たなリンク状態監視機構が必要である。本研究では、データリンクの状態を正確に経路制御に反映する機構を設計、実装する。既存のリンク状態監視機構では扱えなかったデータリンクの状態を取得し、リンクが使用可能か判断する基準とする。取得するデータや判断ポリシーに従い、次の順序で経路制御機構へ反映する。まず、データリンクのいくつかの情報を、衛星モデムから取得する。データリンクの状態が通信に使用可能か、取得した情報を閾値と比較・判断する。判断した結果を経路制御機構へ反映する。本機構は、オペレーティングシステムに替わり経路制御機構へリンクの状態を反映する機構として動作する。これによって、既存の経路制御プロトコルや経路制御機構に大きな変更を加えずに、リンクの詳細な情報を用いた適切な経路選択を実現する。

本研究では、データリンクの状態を経路制御機構におけるリンク状態監視機構に組み込むことにより、衛星回線を含むネットワークにおいてより安定した経路選択を実現する。

キーワード

1. 経路制御機構, 2. データリンク, 3. 衛星回線

Abstract

In this research, the system in which monitors the link condition of dynamic routing in satellite links is designed and implemented.

Current system of monitoring link condition under routing mechanism is simple and that it determines whether the state of a link is available for connection. It sends out monitoring packet periodically and estimate that the link is disconnected when the reachability is not available for set amount of time. Because of it, some trouble occurs. Such problems are mis-detection of link condition and unsupported datalink specification. For example, unusable link is selected as a routing path and generates time delay for switching its path. Also, although datalink stores various parameters depending on communication media, Existing link monitoring system only checks whether the packets had flow through the link. For satellite link, other than availability of link, there are other parameters such as level of reception and noise ratio exists.

In order to solve this problem, new link monitoring system is needed. In this research, system that accurately reflects datalink conditions to routing policy is designed and implemented. This system captures datalink conditions that were not supported in existing system and utilize its data as a baseline for checking if the link is available. In accordance to captured data and policy, Routing policy is reflected in following order. First, capture some datalink information from satellite modem. Compare captured data with threshold and check if datalink connectivity is available. Reflect result to the routing policy. This system provides function of reflecting link condition to routing policy, instead of Operating System. As a result, without large modifications of existing routing protocol and routing system, this system achieve appropriate selection of route path using link information.

In this research, incorporation of datalink condition into link monitoring system of routing provides stabilized path selection in network including satellite link.

Keywords :

1. Routing Protocol, 2. Data Link, 3. Satellite Link

目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	序論	1
1.2	衛星回線の特徴	1
1.3	本研究の目的	2
1.4	本論文の構成	2
第 2 章	問題点	3
2.1	動的経路制御機構における既存のリンク状態監視方法	3
2.1.1	OSPF	3
2.1.2	RIP	3
2.1.3	BGP	4
2.1.4	既存のリンク状態の監視方法のまとめ	4
2.2	通信媒体特有の性質への未対応	4
2.3	リンク不安定時の問題	5
第 3 章	関連研究	7
3.1	適切な Hello Interval Time の最適化	7
3.2	OSPF における Route Flapping への対応手法	8
3.3	MANET におけるリンク状態確認方法	8
3.4	データリンク状態監視機構	9
3.5	既存の手法の適応範囲	9
第 4 章	解決手法の提案	11
4.1	データリンク状態反映機構の概要	11
4.1.1	経路制御機構との関わり	12
4.1.2	インターフェースを Down させる手法との比較	12
4.2	収集するデータリンク情報とポリシ	12
4.2.1	データリンク情報の取得手法	13
4.2.2	情報の判断ポリシ	13
4.2.3	経路制御機構への反映ポリシ	14
第 5 章	LSSA の設計	17
5.1	設計方針	17
5.1.1	取得対象となるデータ	18
5.2	LSSA の構成	18

5.3	データリンク情報収集モジュール	18
5.3.1	モジュールの構成	20
5.3.2	データ取得方法	20
5.4	情報判断モジュール	20
5.4.1	モジュールの構成	22
5.5	経路制御機構への反映モジュール	22
5.5.1	モジュールの構成	22
第 6 章	LSSA の実装	24
6.1	実装環境	24
6.2	全体の流れ	24
6.3	データリンク情報収集ポリシー	25
6.3.1	情報判断ポリシーの設定	25
6.4	データ格納のための構造体	26
6.5	情報収集モジュール	26
6.6	情報判断モジュール	26
6.6.1	判断部	26
6.7	経路制御機構への反映モジュール	27
6.7.1	サーバ	27
6.7.2	クライアント	27
6.7.3	優先度を下げる手法	28
第 7 章	評価	29
7.1	評価項目	29
7.2	評価環境	29
7.2.1	評価ネットワークの概要	29
7.2.2	評価に用いたマシン、ソフトウェアの仕様	29
7.3	動作の検証	30
7.3.1	測定方法	30
7.3.2	予想される評価結果	30
7.3.3	測定結果の考察	30
7.4	評価のまとめ	31
第 8 章	おわりに	32
8.1	結論	32
8.2	今後の課題	32
8.2.1	より詳細な評価	33
8.2.2	最も適した経路への反映方法の検証	33
8.2.3	複数の Link 状態から、経路として使うべきか否かを判別する手法	33
第 9 章	謝辞	34

目次

2.1	リンク不安定時の問題	5
3.1	ペナルティ量と時間の相関	8
3.2	MWD によるリンクの情報の視角化	9
4.1	データリンク状態反映機構の概要	11
4.2	既存の経路制御機構の概念図	12
4.3	取得した情報のゆらぎ	13
4.4	インターフェースを down する場合	15
4.5	リンクの優先度を下げた場合	16
5.1	前提とするネットワーク	17
5.2	電波	19
5.3	MWD の構成と本研究の関わり	21
5.4	LSSA と経路制御機構の関係	23
6.1	LSSA の全体の流れ	25
7.1	評価ネットワーク	30

表 目 次

3.1	Hello Interval ごとの収束時間の実験結果の例	7
5.1	MWD のデータベースの一部 : vs_test Table	20
5.2	MWD のデータベースの一部 : fs_test Table	22
6.1	LSSA の実装環境	24
7.1	評価に使用した各マシンの仕様	29

第1章 はじめに

1.1 序論

現在、インターネットは人々の生活に深く浸透し、社会生活に必要不可欠な要素になっている。社会のネットワークへの依存度はますます増し、ネットワークの安定性が快適な社会生活に不可欠になった。例えば、金融や医療などの高い信頼性を要する分野でのネットワーク利用では、サービスが稼働している間はネットワークは万全な必要がある。今後は、一般家庭においても遠隔からの介護医療や IP 電話などの信頼性を必要とするアプリケーションの普及が見込まれる。このように、ネットワークの安定性はバックボーンだけでなく、ラストワンマイルにおいても必要である。

ネットワークが不安定になる要素として、リンクの混雑、機器の故障、電器的なノイズが増加しリンクが切れるなどが挙げられる。障害に対して、経路制御機構が適切に動作しなければ、通信そのものが不可能になる。例えば経路の切替えを行わない場合には、問題の発生したリンクを通る宛先へ到達できない。動的経路制御機構は各リンクの状態を検知し、通信に使用できるか判別する。しかし、既存の動的経路制御機構のリンク状態監視機構は、定期的にルータ同士が互いの接続性を監視するためのパケットを送信し、一定時間到達性がないとリンクが切れたと判別する単純な仕組みになっている。

他方、インターネットを構成する通信媒体は、無線、ADSL、WDM、Ethernet、ATM など、急速に多様化している。現在の動的経路制御機構のリンク監視方法では、多様な通信媒体個々のリンク状態を正確に把握できない。例えば、衛星回線では、信号の受信レベルが落ちている場合はエラーレートが高く、適切な経路とはいえない。しかし、既存の経路制御機構では、リンク状態を監視パケットにより導通を確認すると、このようなリンクも使用可能な経路として選択してしまう。このため、実際のリンク状態が経路表に正しく反映されず、不安定なリンクが使用可能と判別される場合がある。また、リンクの状態が頻繁に変わった場合には経路の切替えが頻繁に発生し、ネットワーク全体を不安定な状態にする可能性がある。

これらの問題点を解決するには、動的経路制御において様々な通信媒体の特徴に適應したリンク状態監視機構が必要である。

1.2 衛星回線の特徴

例えば、衛星回線は雨などの天候や環境に影響されやすい。このため、リンクの状態が不安定になりやすい。また、衛星回線で接続している地球局同士は距離が離れていることが多く気候も異なることが多いため、地球局によってリンク状態が異なる。

また、天候が雨や雪のときに受信レベルが落ちてエラーレートが高くなり、通信できな

い状態になっても、リンクは上がったままではある。

現在、衛星回線を含むネットワークの運用では、衛星回線に問題が発生しやすい気候、例えば降雪や太陽雑音の時にはオペレータが回線の状態を監視し、パケットロスが大量に発生する前に手動で経路を切替えている。

1.3 本研究の目的

本研究は、衛星回線における、より安定した経路制御の実現を目的とする。既存の動的経路制御機構におけるリンク状態監視方法の問題点を解決するため、データリンクの状態を経路制御に反映するような、新しいリンク状態監視機構を構築する。本研究により、衛星回線において、リンク状態を正確に反映した適切な経路選択を実現する。

1.4 本論文の構成

第2章では、既存の動的経路制御機構におけるリンク状態監視方法の概要と、その問題点を述べる。第3章では、関連研究とその適応範囲について述べる。第4章では、本研究の解決アプローチを述べる。第5章では、データリンク状態反映機構の設計を述べる。第6章では、本機構の実装について述べる。第7章では、データリンク状態反映機構の評価を述べる。第8章では、本研究のまとめと今後の課題を述べる。

第2章 問題点

既存のリンク状態監視機構は、ルータ同士が定期的に互いの接続性を監視するためのパケットを送信し、一定時間到達性がないとリンクが切れたと判別する単純な仕組みになっている。本章では、既存の経路制御機構におけるリンク状態監視方法の概要を述べ、問題点を述べる。

2.1 動的経路制御機構における既存のリンク状態監視方法

各動的経路制御機構は独自のリンク状態監視方法を持つ。本節では、インターネットで最も広く使用されている動的経路制御機構である OSPF(Open Shortest Path First)[1]、RIP(Routing Information Protocol)[2]、BGP(Border Gateway Protocol)[3] でのリンク状態監視方法について述べる。

2.1.1 OSPF

OSPF では、Hello パケットを定期的に出しリンク状態の監視を行う。Hello パケットを使用するリンク状態の監視方法は、経路情報の交換とリンク状態の監視に用いるパケットが別であるため、経路が収束した後は Hello の交換だけを行えばよい利点がある。

Hello パケットの送信間隔を Hello Interval と呼び、デフォルトでは 10 秒である。Hello パケットがある一定時間内に届かないと、隣接ルータとの接続性が失われたと判別する。

この間隔を Router Dead Interval と呼び、デフォルトでは 30 秒である。

Hello Interval を短くすると、リンク状態の変化が早く検知でき、ネットワーク構成に変化が生じた場合には経路が早く収束する利点がある。しかし、Hello パケット自身のトラフィックが多くなる。また、Hello Interval が短すぎるとネットワークの細かな変化を過剰に検知し、リンク状態を誤検出する可能性もある。

Hello Interval を長くすると、多少のリンク状態のゆらぎに影響されにくいという利点があるが、リンク状態の変化が経路表に反映されにくくなる。

2.1.2 RIP

RIP はリンク状態だけを監視する機構を持たず、通常の経路情報メッセージの交換でリンク状態を監視する。この経路情報メッセージの交換をレギュラーアップデートと呼び、一定時間ごと(デフォルトでは 30 秒)にブロードキャストで経路情報を送信する。また、経路ごとにタイマがついており、レギュラーアップデートが隣接ルータから 6 回連続、つまり 180 秒間届かないと、その経路は使用できないと判別する。

OSPF の Hello パケットによる監視方法と比較すると、RIP におけるリンク状態の監視方法の長所は、プロトコルの仕様が単純なことである。短所は、リンク状態の監視のために必要以上の帯域を消費することである。RIP では、リンク状態の監視機能監視と経路情報の伝達が組み合わさっている。レギュラーアップデートは全経路情報を含むため、短い間隔でリンク状態を監視すると帯域の消費が大きい。

2.1.3 BGP

BGP では、Keep Alive メッセージを定期的送信しピアを監視する。また、BGP では TCP セッションを確立したまま経路情報を交換する仕組みになっているので、TCP セッションが切れたときはピアとの接続が切れたと判別する。

Keep Alive メッセージを用いた監視方法と Hello パケットでの監視方法の類似点として、定期的にリンク状態の監視用のパケットを送信すること、ある一定時間内にメッセージが到達しなければリンクが切れていると判別することが挙げられる。

相違点として、BGP では Keep Alive メッセージを用いず、TCP セッションが保たれているかによってピアを監視してもよい点が挙げられる。その場合、リンク状態の監視パケットを使用しないので、そのためのトラフィックが必要ない。

2.1.4 既存のリンク状態の監視方法のまとめ

OSPF でのリンク状態の監視方法では、定期的にリンク状態の監視パケットを送出し、一定時間到達性が無いと切れたとする。また、リンク状態の監視パケットは、実トラフィックとは異なる、監視専用のパケットを使用している。

RIP でのリンク状態の監視方法では、定期的に経路情報を交換すると同時にリンク状態を監視する。このリンク状態の監視パケットが一定時間到達性が無いと、リンクは切れたとする。

BGP でのリンク状態の監視方法では、定期的にリンク状態の監視パケットを送出し、ピアを監視する。リンク状態の監視パケットが一つでも到達しなければ、ピアが切れたとする。

このように、多くの動的経路制御機構が定期的にリンク状態の監視パケットを送出し、一定時間到達性が無いと隣接ルータへの接続性が失われたと判断する。また、リンク状態の監視パケットは、実トラフィックとは別のパケットである。このため、実トラフィックの大部分がパケットロスする状態でも、リンク状態の監視パケットが一定時間内に一回でも到達すれば経路制御機構はそのリンクを使用可能と判断する問題がある。この問題は、2.3 節で詳しく述べる。

2.2 通信媒体特有の性質への未対応

既存の動的経路制御機構におけるリンク状態の監視機構では、通信媒体の特徴に合わせた状態監視ができず、通信に利用可能なリンクを正確に把握できない。

データリンクが保持しているパラメータは、UP/DOWN だけではない。例えば衛星回線ではノイズ、信号レベル、エラーレートなどがある。これらのパラメータが悪化してもリ

リンク状態の監視パケットが一定時間内に一つでも届けば、そのリンクは使用できると判断する。しかし、これらの症状が起きているリンクを含む経路は選択するべきではない。例えば、エラーレートの高いリンクが経路として利用されると、実トラフィックにパケットロスが発生する可能性がある。

例えば、衛星回線は雨などの天候や環境に影響されやすい。このため、リンクの状態が不安定になりやすい。また、衛星回線で接続している地球局同士は距離が離れていることが多く気候も異なることが多いため、地球局によってリンク状態が異なる。

また、天候が雨や雪のときに受信レベルが落ちてエラーレートが高くなり、通信できない状態になっても、リンクは上がったままではある場合がある。データリンクがUPしている状態でも信号の受信レベルが落ちている場合は、エラーレートが高く適切な経路とはいえない。このように、実際のリンク状態が経路表に正しく反映されず、使用不可能な経路が使用可能な経路とされることがある。また、不安定なリンクが一時的に使用可能と判別されると、経路の切り替えが頻繁に発生し、ネットワーク全体を不安定にする。

現在、衛星回線を含むネットワークの運用では、衛星回線に問題が発生しやすい気候、例えば降雪や太陽雑音の時にはオペレータが回線の状態を監視し、パケットロスが大量に発生する前に手動で経路を切替えている。

2.3 リンク不安定時の問題

あるリンクにおいて、パケットロスが非常に高い場合を想定する。パケットロスの影響で実際には通信に利用できないリンク状態であっても、図 2.1 のように、あるタイミングでリンク状態の監視パケットが届いていれば、そのリンクは使用可能と判断される。

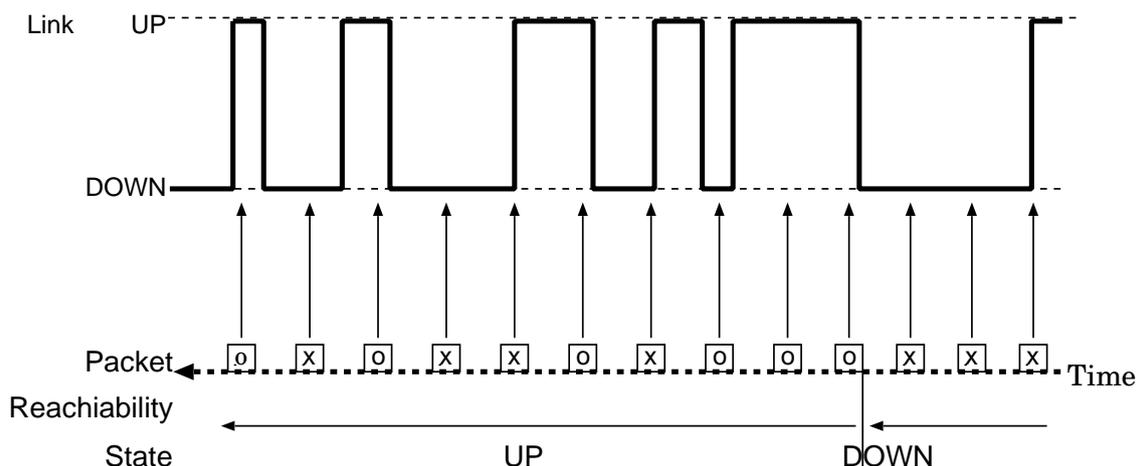


図 2.1: リンク不安定時の問題

このように悪状況のリンクが使用可能と判断されると、冗長経路がある場合も別経路に切り替わらない。そのため、このリンクを含む経路が使用された場合、実トラフィックにパケットロスが生じ、ユーザがその経路を通る宛先と通信できない可能性がある。また、リンク状態の監視パケットだけが通過できず、それ以外の実トラフィックは通過できるとい

た、上記とは逆の現象が発生する可能性もある。

第3章 関連研究

本章では、関連研究について述べる。

3.1 適切な Hello Interval Time の最適化

OSPF の Hello Interval はデフォルトでは 10 秒である。Hello Interval の値によって、ネットワークに変化が起きた際に経路が収束するまでの時間が変化する。Hello Interval の値を大きくすると、一瞬の変化を検知しないため、短時間の輻輳やリンクダウンによって隣接ルータとの接続性が失われたと判断する可能性が低くなる。しかし、逆にリンク状態の変化があった場合、それを検出するのが遅くなる。Hello Interval の値を小さくすると、経路の変化を早く発見できるようになり、経路の収束は早くなる。

ネットワークに定期的に変化が生じるシミュレーション環境において、Hello Interval によって経路の収束時間がどのように変化するか報告されている [4]。6000 秒毎にネットワークの変化が生じる環境での実験では、Hello Interval の値を小さくすることによって、経路の伝搬時間は表 3.1 のように変化する。

表 3.1: Hello Interval ごとの収束時間の実験結果の例

Hello Interval	収束時間
10sec(default)	33sec
500msec	2sec
250msec	1sec

また、Hello Interval の値が小さすぎると、Route Flap が発生する。ネットワークの細かな変化を過剰に検知し、Route Flap が発生してしまう。Route Flap とは、ある到達先への経路が頻繁に切り替わることを言う。経路が早く収束しても、Route Flap が発生すると、パケットロスが生じたり、パケットの順番が入れ替わったりする。Hello Interval の値を、200 ~ 500msec に設定した実験では、Hello Interval は 275msec の場合が経路の伝搬時間、Route Flap の発生数共に最適とされている。

しかし、実際のネットワークでは、Hello Interval の最適な値はルータの性能、回線の帯域、許容する代替経路の切り替わりまでに許容するダウンタイムなどによって異なる。運用上、Hello Interval の最適値を求める事は困難であり、既存のネットワークでは、デフォルト値である 10 秒に設定している場合が多い。

3.2 OSPF における Route Flapping への対応手法

BGP では、Route Flap が発生した際には、BGP Route Flap Damping[5] を用いて対応する。Route Flap とは、ある到達先への経路が頻繁に切り替わることを言う。Route Flap が発生すると、パケットロスが生じたり、パケットの順番が入れ替わったりする。BGP Route Flap Damping では、Flap した経路が安定するまで経路を使用しないようにするアルゴリズムである。図 3.1 のように Flap している経路の状態が変わればペナルティを加算し、ある閾値 (Suppress Limit) 以上になればその経路を使用しない。Flap しなくなり、状態が変わらなければペナルティは時間が経つごとに減少する。そしてペナルティがある閾値 (Reuse Limit) 以下になれば、その経路を再び使用する。

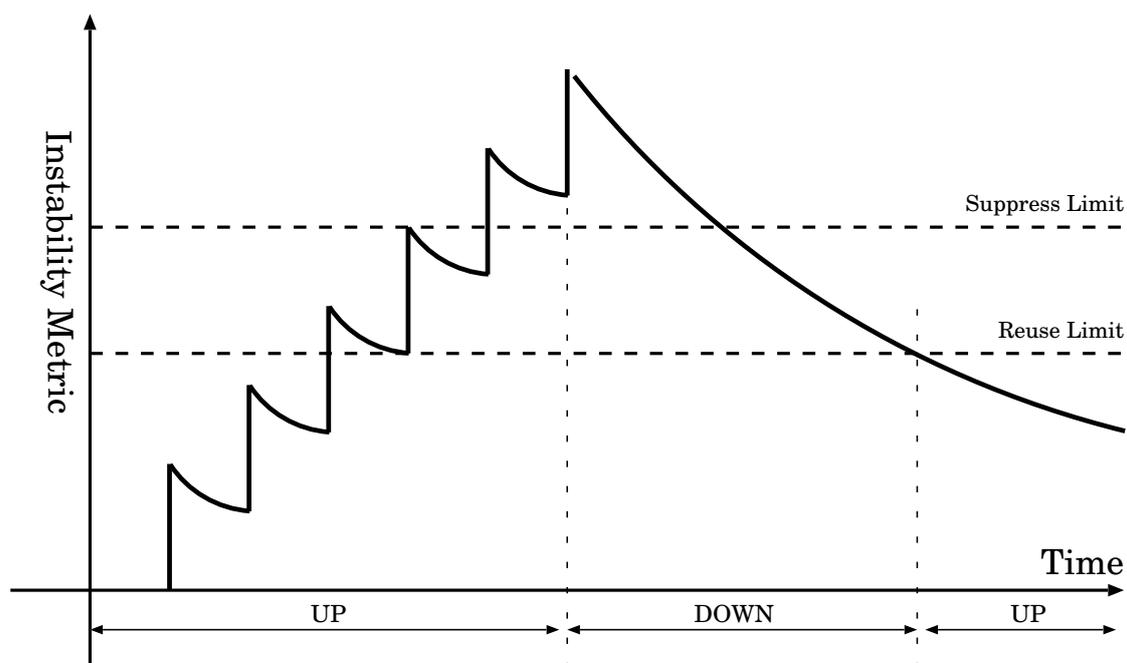


図 3.1: ペナルティ量と時間の相関

また、OSPF において Route Flap が発生した際に、BGP Route Flap Damping と同様の手法で OSPF を拡張する研究が行われている。[6]

この手法では、ペナルティが Suppress Limit に達すると LSA を作らないことで、Flap した経路を使用しない。

3.3 MANET におけるリンク状態確認方法

無線を用いたネットワークでは、外的要因により回線品質が変動しやすい。また、ノード間距離が大きな広範囲のネットワークである。そのため、回線品質の変化をリアルタイムに測定し、経路へ反映させる必要がある。このような、無線のみで構成された環境におけるネットワークの構成方式が、IETF MANET WG などで議論されている [7]。現在、

MANET で議論されている経路制御機構では Hello パケットを用いる。しかし、あるノードの間のリンクの品質を評価する指標に、ビット誤り率とパケットの到達性を組み合わせる手法も提案されている [8]。

この手法では、送信ノードは全送信パケットのリンク層ヘッダに送出シーケンス番号を付加する。受信ノードでは、各送信ノード毎に、最初に受信したパケットの送信シーケンス番号を記録する。以後パケットが受信されるたびに、受信できたパケット数と最後に受信したパケットのシーケンス番号を記録する。シーケンス番号の変化分、つまり計測期間中に送信されたパケットの数と受信できたパケットの数を比較し、回線品質を算出する。

3.4 データリンク状態監視機構

衛星回線は、天候の影響を受けやすくリンク状態が変化しやすい。

衛星回線の物理的な状態を監視するツールとして、MWD(Modem Watch Dog) [9] がある。MWD では、衛星回線の状態を遠隔から取得しデータベースに蓄積する。また、変化する各パラメータをグラフ化する。MWD で取得している情報を以下に挙げる。

- SYNC : 信号が同調しているか否か
- AGC : Automatic Gain Control(自動利得制御)
- C/N : 搬送波電力対雑音電力比
- Eb/N0 : 1 ビット当たりの信号対雑音電力比
- TxFreq,RxFreq : 送信周波数、受信周波数

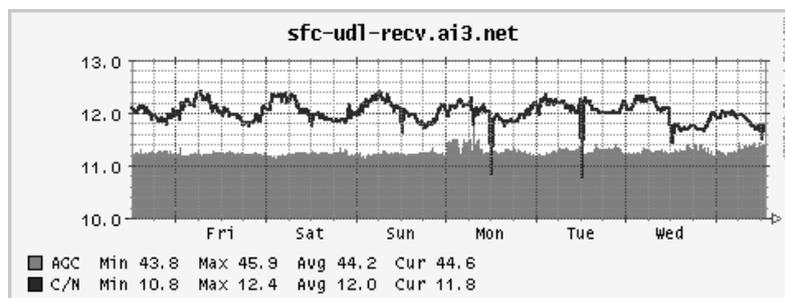


図 3.2: MWD によるリンクの情報の視角化

現在は、経路制御機構が把握できない各通信媒体の状態を、こうしたツールによって管理者が監視する必要がある。

3.5 既存の手法の適応範囲

3.1 節の手法は、OSPF においてリンク状態の検知速度を早める手法を述べている。しかし、実際のネットワークでは、環境ごとに最適な Hello Interval が異なる。また、Hello

Interval の値を変えるだけでは 2 章で述べた問題点は解決できない。

3.2 節の手法では、Flap が発生した経路を対象としており、リンクの状態に関しては対応していない。そのため、既存の経路制御機構と同様に使用不可能なリンクを使い続けてしまう場合がある。

3.3 節の手法は、リンクの状態、品質の検知し、2.3 節の問題を解決する。しかし、この機構を導入するにはすべてのノードから送信されるパケットにシーケンスを設定し、それを記録する必要があるためルータに負荷がかかる。

3.4 節の手法は、データリンクの監視のみを対象としており、経路制御機構とは連動しない。また、既存の経路制御機構ではデータリンクの情報は取得できない。しかし、データリンクの監視結果を見ることにより、詳細なデータリンクの情報を取得できる。本論文では、MWD の一部を利用し、衛星回線の状態を取得する。取得した状態を経路制御機構へ反映し、リンク状態の誤検知を防ぐ。

第4章 解決手法の提案

本章では、問題点の解決アプローチとして、既存の経路制御機構におけるリンク監視機構に替わり、リンク状態の情報を詳細に取得し経路制御機構へ反映させる機構を提案する。

4.1 データリンク状態反映機構の概要

本機構は、データリンクの情報を取得し、その情報を経路制御に反映する。既存の経路制御機構におけるリンク監視機構において、あるリンクが実際には使えない状態でも経路に使用するといった、誤った情報を経路に反映することを防ぐ。その結果、安定した経路制御を実現する。

本機構を LSSA(Link State Sense Agent) と呼ぶ。LSSA は各ルータ上で動作し、経路制御機構にリンクの状態を伝えるインターフェースを持つ。この概要を図 4.1 に示す。

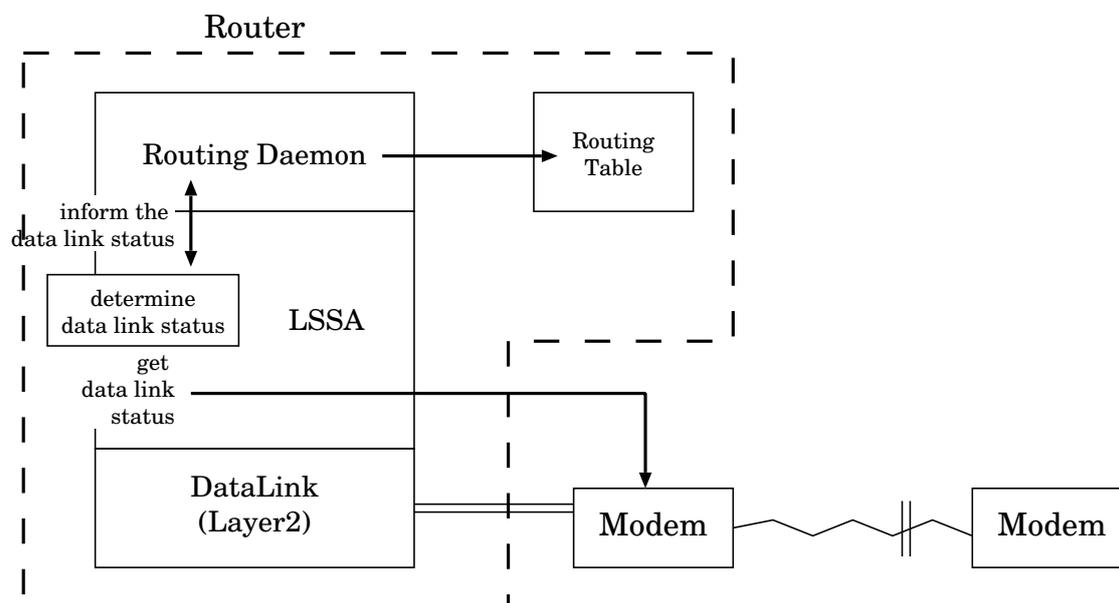


図 4.1: データリンク状態反映機構の概要

4.1.1 経路制御機構との関わり

本機構と経路制御機構との関係を述べる。本機構は、経路制御機構の一部を改変し導入する。既存の経路制御機構では、インターフェースの状態を図 4.2 のように直接オペレーティングシステムから情報を取得する。本機構を経路制御機構へ導入すると、本機構が経路制御機構とオペレーティングシステムの間に入り、インターフェースの状態を伝える。

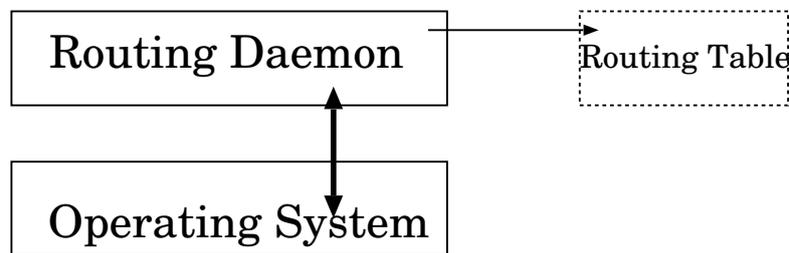


図 4.2: 既存の経路制御機構の概念図

4.1.2 インターフェースを Down させる手法との比較

ここで、データリンクでインターフェースを Down させる手法と本機構を比較する。

データリンクでの制御は、データリンクの悪化を検知すると、リンクを切断する。このため、冗長回線のない場合にはそのリンクを使用する通信が不可能となる。また、リンクを切断するため、対向の制御も不可能となる。

本機構は、データリンクの悪化を検知すると、経路制御機構におけるインターフェースを Down する。もしくは、そのリンクを使用する優先度を下げる。このため、冗長回線が存在しない場合にも、このリンクを使用した通信、対向の制御が可能である。

4.2 収集するデータリンク情報とポリシー

以下に衛星回線の状態を示すパラメータとその判断基準を述べる。これらの情報を LSSA が取得し、経路制御機構に適切に反映させる。そして経路表の作成へ反映させ、誤った経路選択を抑止する。

- 取得可能な情報
 - 送受信レベル
 - 雑音レベル
 - 電波の同期
 - 送受信周波数
 - 以上のほかに様々な情報が取得可能であるが、衛星モデムの種類によって異なる
- データリンク状態の判断基準

- 情報の種類ごとに閾値を設け、その値に達すればリンクは使用不可能と判断

4.2.1 データリンク情報の取得手法

本節では、本研究に適したデータリンク状態の取得手法について議論する。経路制御機構では、データリンクの情報を取得できない。本機構は、データリンクの状態を経路制御へ反映する。そのため、本手法ではデータリンクのパラメータを取得する必要がある。

SNMPを使用する手法では、衛星回線に接続しているルータからは取得可能な場合がある。しかし衛星モデムでは、SNMPなどのアプリケーションを使用して情報が取得できるものは少ない。よって、本機構ではこの手法を使用しない。

実際に流れるトラフィックに新たにヘッダを付加する手法では、実トラフィックによる正確なリンク状態が取得できる。しかし、この手法では、データリンクの状態、つまり送受信電力やノイズなどの物理的な回線の状態は取得できない。そのため、本機構ではこの手法を使用しない。

本機構では、モデムとシリアル回線で接続し、コマンドを送信して状態を取得する。この手法であれば、衛星回線の物理的なデータリンクの状態を取得できる。

4.2.2 情報の判断ポリシー

取得した情報が誤検出や瞬間的な状態であった場合、この情報は経路制御へ反映すべきではない。また、取得した情報が、図 4.3 のようにあらかじめ設けてある閾値に近い数値を上下している場合にも、経路制御には反映すべきではない。ここで閾値とは、データリンクの状態が up とする最低限の値を指す。取得した情報が閾値より低ければ、リンクの状態は悪い。そのため、取得した情報が閾値に近い数値を上下している時は、リンクが Up/Down を繰り返している状態となる。

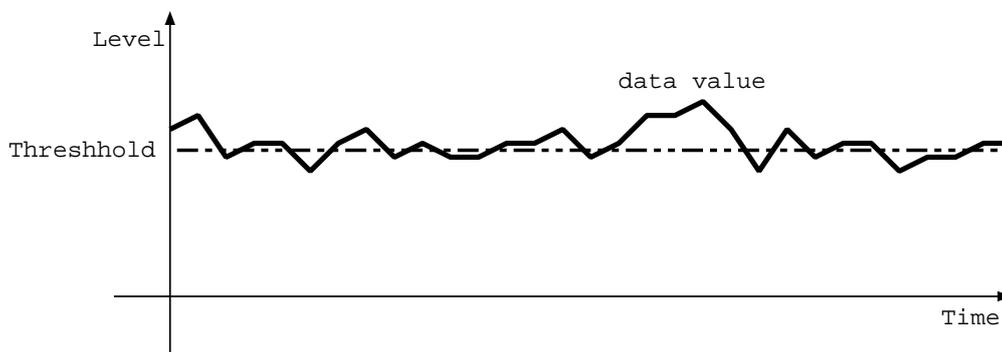


図 4.3: 取得した情報のゆらぎ

本機構は、取得した情報の誤判断を防ぐ。判断方法として、以下の方法が考えられる。

1. 数回の値の平均値で判断
2. 前後の値との差が激しい数値を無視

3. 値が落ち着くまでは使用不可能と判断

1つ目の方法では、数回分のデータの保存が必要である。また、外れ値が存在した場合や急に状態が変化した場合に対応できない。

2つ目の方法では、1つ目の方法と同様に数回分のデータの保存が必要である。また、状態が急激に変化した場合に対応できない。

3つ目の方法では、Flap Damping Algorithm を利用すると、過去一つの数値だけ保存しておけばよい。本機構では、この方法を利用する。

4.2.3 経路制御機構への反映ポリシー

反映させる内容として、以下の方法が考えられる。

- インターフェースを up/down する
- 経路制御プロトコルのコストやメトリックを変更する

インターフェースを up/down する方法では、衛星回線の状態が悪くなった場合に、経路制御機構における衛星側のインターフェースを DOWN させる。この方法では、図 4.4 のように、利点として、同一ネットワーク内の複数の経路制御機構に同時に対応できることが挙げられる。また欠点として、冗長回線が存在しない場合には、このリンクを通過する必然性のあるネットワークへは到達不可能となることが挙げられる。

経路制御プロトコルのコストやメトリックを変更する方法では、衛星回線の状態が悪くなった場合に、リンクは使用可能のまま優先度を下げる。この手法を用いると、図 4.5 のように冗長回線がある場合には、冗長回線を使用する。存在しない場合には、そのリンクを使用し続けるといった制御ができる。しかし、OSPF のコストを同一ネットワーク内の複数のルータが変化させた場合、トラフィックのバランスがとれなくなる危険性がある。

また、経路制御機構への反映方法として、

- コマンドライン操作
- 経路制御機構の改変

という2つの方法がある。これらの方法について、以下に論ずる。

コマンドライン操作による方法を考察する。この方法は、経路制御機構への改変を施さないため、実装が簡単である。しかし、経路制御機構がオペレーティングシステムから取得したインターフェースの状態と、LSSA がから伝わった正確なリンクの状態が異なる場合がある。この時、LSSA が情報を反映した直後に経路制御機構がオペレーティングシステムから情報を取得すると、LSSA が与えたリンクの状態が無効となり、オペレーティングシステムから取得した情報が使用される。このため、コマンドを送信する方法は適さない。

経路制御機構に変更を加える方法を考察する。この方法では、経路制御機構におけるインターフェースの状態取得部を、本機構から取得するように変更する。そのため、実際のリンクの状態と経路制御機構が保持するリンク状態が同期する。しかしこの手法では、経路制御機構ごとに変更を加える必要がある。本研究では、経路制御機構を改変する方法を採用する。

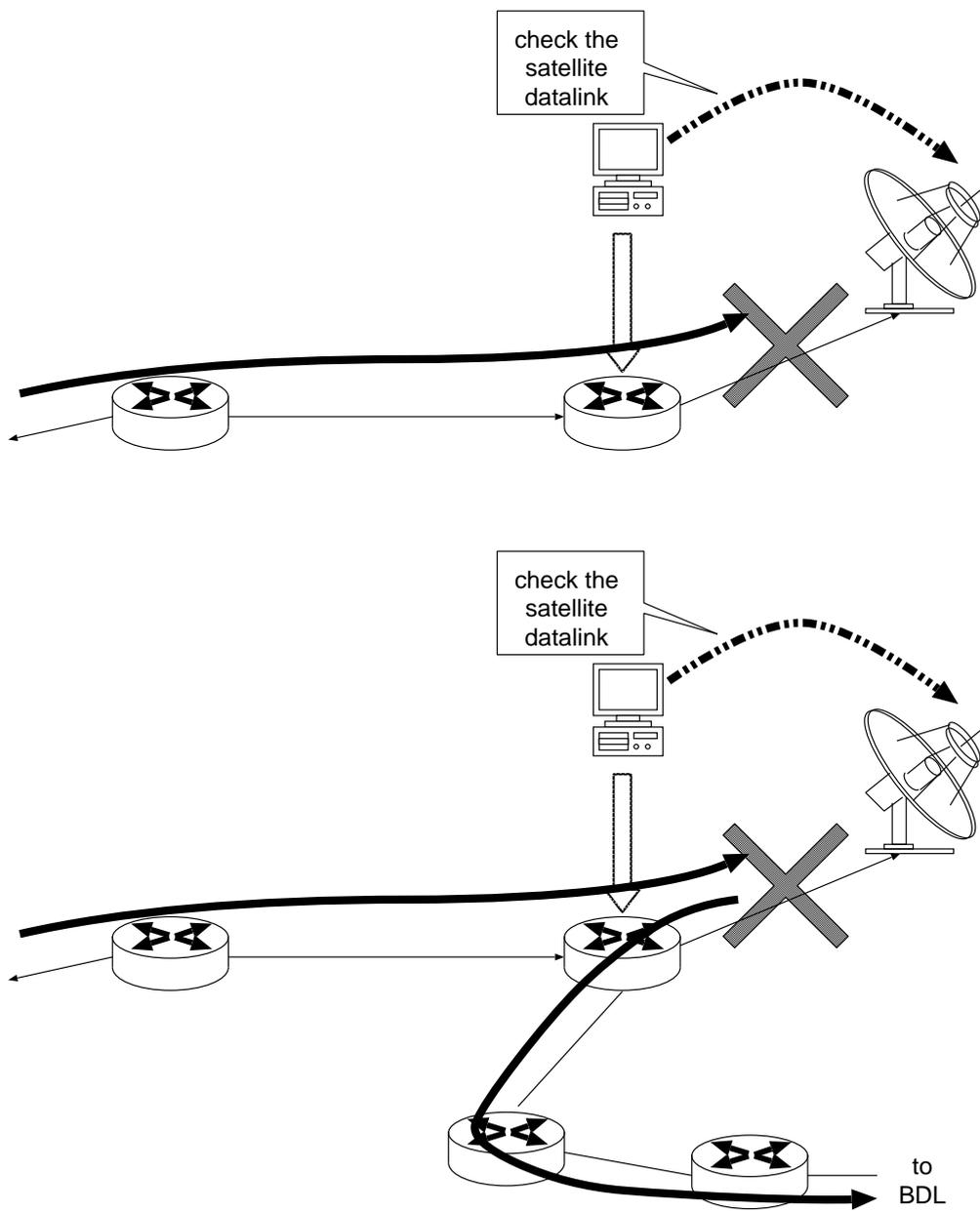


図 4.4: インターフェースを down する場合

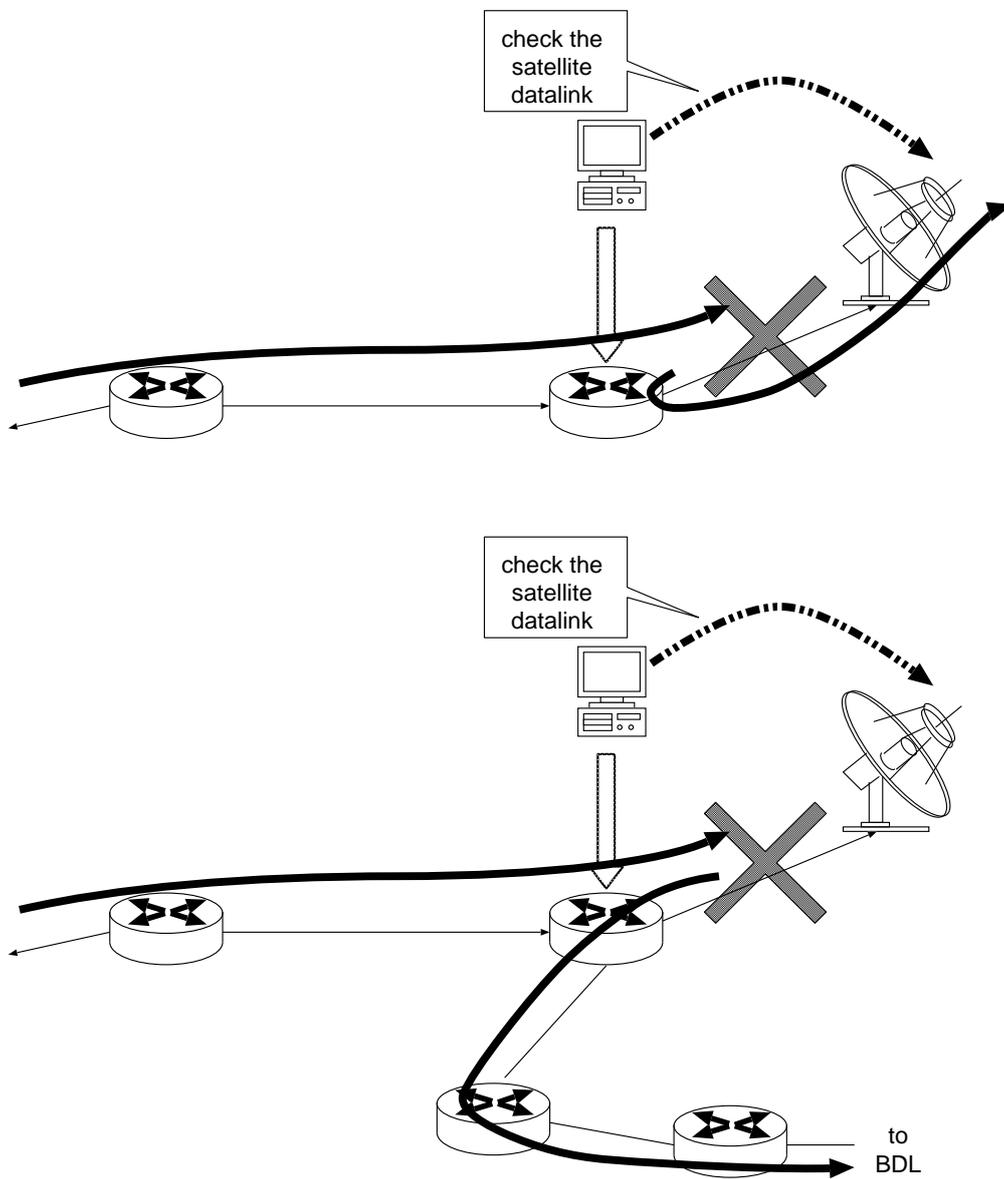


図 4.5: リンクの優先度を下げた場合

第5章 LSSA の設計

本章では、第4章で提案した LSSA(Link State Sense Agent) の設計を述べる。

5.1 設計方針

以下の方針に基づき、第4章で提案した LSSA を設計する。

本機構は、図 5.1 のように衛星回線を含むネットワークを前提とする。

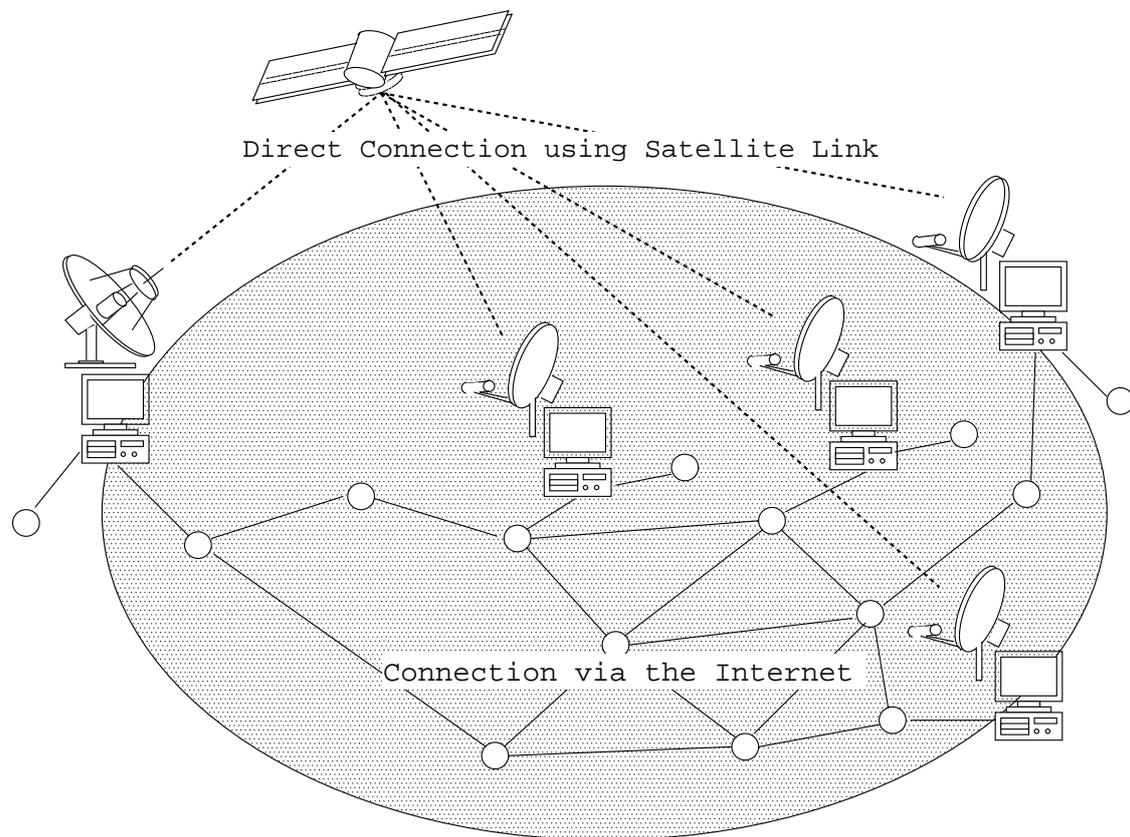


図 5.1: 前提とするネットワーク

5.1.1 取得対象となるデータ

衛星回線では回線品質を示す様々な情報が取得できるが、本機構では以下のデータを回線品質の目安として使用する。

- AGC : Automatic Gain Control
 - 自動利得制御
 - 物理的な電波の修正度合を示す。デジタル信号を修正するものではない
 - この値が上昇すると、物理的な電波の状態が悪くなっていることを示す
- C/N : Carrier to Noise Ratio
 - 搬送波電力対雑音電力比
 - 搬送波と雑音の比を示す
 - この値が大きいく、リンクの状態が良好である
- RSL : Receive Signal Level
 - 受信している電波強度を示す
 - この値が大きいく、リンクの状態が良好である
- E_b/N_0 : Ratio of Energy per Bit to the Spectral Noise Density
 - 1ビット当たりの信号対雑音電力比を示す
 - この値が大きいく、リンクの状態が良好である

5.2 LSSA の構成

LSSA は、以下に示すモジュール群によって構成される。

- データリンク情報収集モジュール
- 情報判断モジュール
- 経路制御機構への反映モジュール

各モジュールの詳細は、後述する。

本機構は、取得したリンクの情報を既存の経路制御機構に提供するインターフェースを持つ。また、取得したリンク情報を元に、適切な情報を経路制御機構に伝える。

5.3 データリンク情報収集モジュール

本モジュールでは、データリンクの状態を取得し、後述する情報判断モジュールへとデータを渡す。

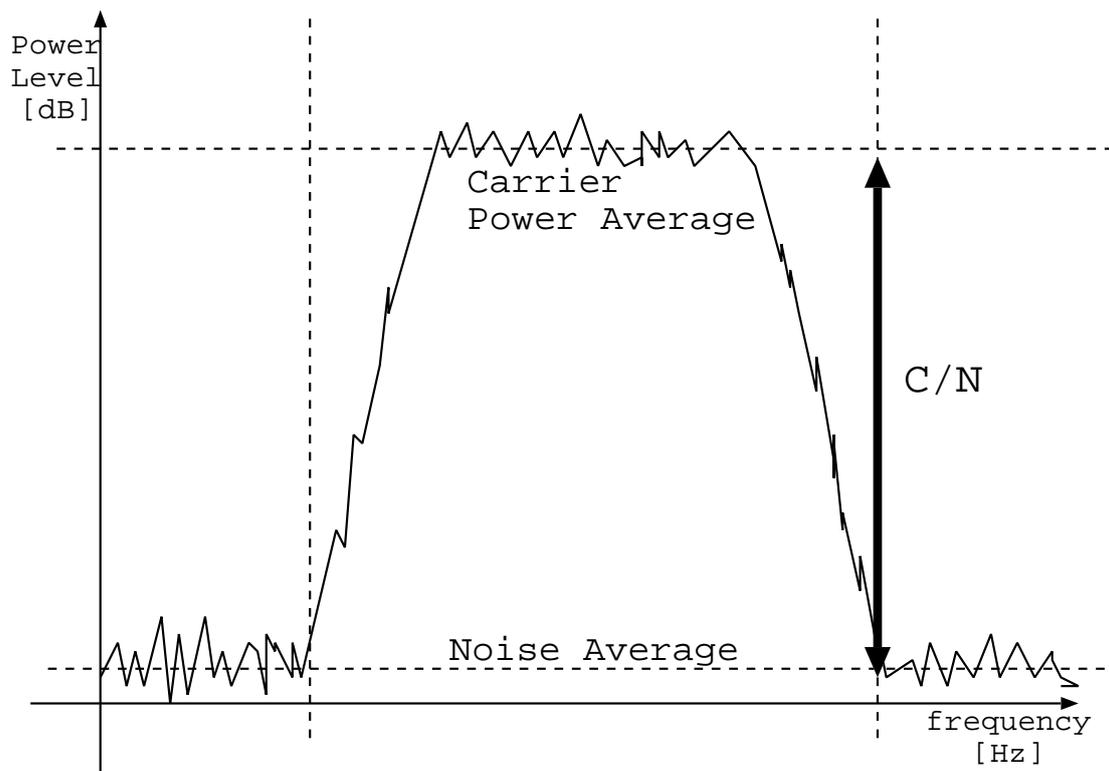


図 5.2: 電波

5.3.1 モジュールの構成

本機構では、衛星モデムからのデータ取得に 3.4 節で述べた MWD を利用する。MWD は、衛星モデムにシリアル回線を接続し、コマンドを送信することによってデータを取得する。取得したデータは、データベースに保管される。MWD の構造については後述する。LSSA は、MWD のデータベースから 30 秒毎にデータを取得する。

5.3.2 データ取得方法

本モジュールは、MWD の一部であるデータ取得部 (Data Collect Module: 以下、DCM と記述) を利用する。

DCM は、以下の機能を持つ。また、図 5.3 に MWD と本機構の関わりを示す。

1. 衛星モデムへシリアル回線経由でコマンドを送信し、以下の情報を取得する。
 - 送信電波の設定 (周波数、種類、帯域)
 - 受信電波の設定 (周波数、種類、帯域)
 - 送信電力
 - 受信電力
 - Sync (Carrier Detection)
 - Eb/N0
 - Automatic Gain Control
2. 取得した情報は、データベースへ保存する。表 5.1、5.2 にデータベースの一部を示す。データベースには、衛星モデムから取得した上記のデータが保存されている。

表 5.1: MWD のデータベースの一部 : vs_test Table

ts	dsync	rsl	ebno	agc
1072373597	OK	-36.2000	15.5000	NULL
1072373566	OK	-36.2000	15.6000	NULL
1072373525	OK	-36.6000	15.5000	NULL
1072373484	OK	-36.2000	15.5000	NULL
1072373442	OK	-36.4000	15.6000	NULL

DCM は、30 秒毎に衛星回線の状態を取得する。本機構のデータリンク情報取得モジュールでも 30 秒毎に、データベースから SYNC, RSL, Eb/N0 を取得する。

5.4 情報判断モジュール

本モジュールでは、データリンク情報収集モジュールが取得した情報を判断し、後述する経路制御機構への反映モジュールへ結果を渡す。

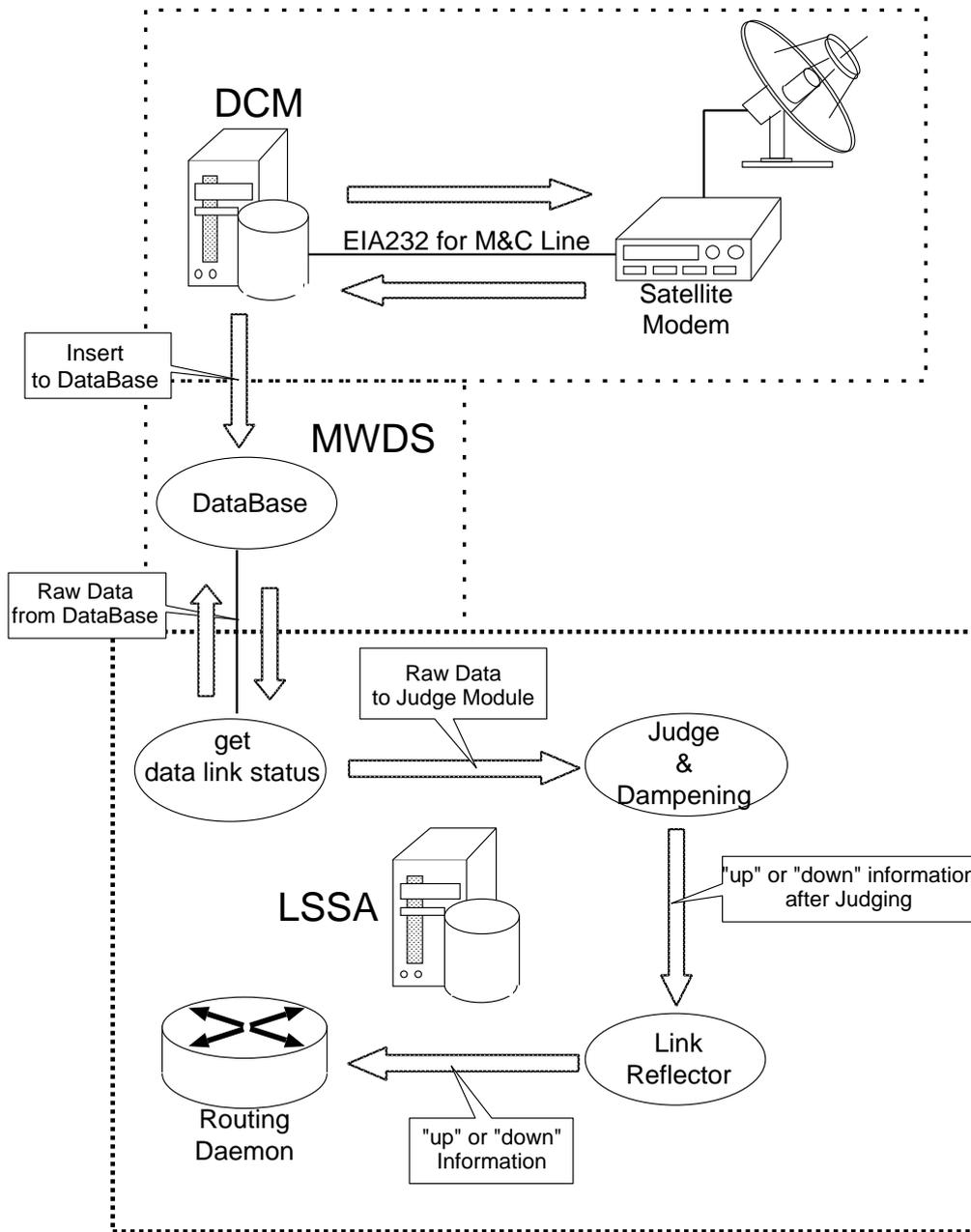


図 5.3: MWDS の構成と本研究の関わり

表 5.2: MWD のデータベースの一部 : fs_test Table

ts	mfreq	mtype	mrates	mpower	dfreq	dtype	drates
1052164176	65.2500	8P23	1536.0000	-13.5000	66.0000	8P23	512.0000
1052164211	65.2500	8P23	1536.0000	-13.5000	66.0000	8P23	512.0000
1052164247	65.2500	8P23	1536.0000	-13.5000	66.0000	8P23	512.0000
1052164282	65.2500	8P23	1536.0000	-13.5000	66.0000	8P23	512.0000
1052164318	65.2500	8P23	1536.0000	-13.5000	66.0000	8P23	512.0000

5.4.1 モジュールの構成

本モジュールでは、データリンク情報収集モジュールが取得した情報を使用する。DCM はデータベースに入力し保管する。本モジュールでは、取得モジュールがデータベースから取得した情報を元に、リンクが使用可能か判断する。

まず、本モジュールでは取得したデータの種類ごとに閾値を設け、取得したデータリンクの状態が閾値より低ければ、そのリンクは DOWN していると判断する。閾値は、衛星モデムのメーカー、種類によって異なるため、取扱説明書に掲載されている仕様に準ずる。

5.5 経路制御機構への反映モジュール

データリンク情報収集モジュールで衛星回線の状態を取得し、情報判断モジュールでリンクが使用可能か判断した。

本モジュールでは、情報判断モジュールで判断されたリンクの状態を経路制御機構へ反映する。

5.5.1 モジュールの構成

経路制御機構へ反映させる方法として、以下の手法を挙げる。

- 経路制御機構におけるインターフェースを up/down する
- OSPF のコストや RIP のメトリックなどを変更し、優先度を変更する

経路制御機構におけるインターフェースを up/down する手法

本手法では、経路制御機構を改変する。既存の経路制御機構ではオペレーティングシステムからインターフェースの状態を取得していたが、本機構の導入により、図 5.4 のように経路制御機構は状態として情報判断モジュールの結果 ("up" or "down") を LSSA から取得する。

LSSA は、データリンクの詳細な情報を元に、そのリンクが経路として利用できると判断した場合は "up" を伝える。経路として利用できないと判断した場合は、"down" を伝える。

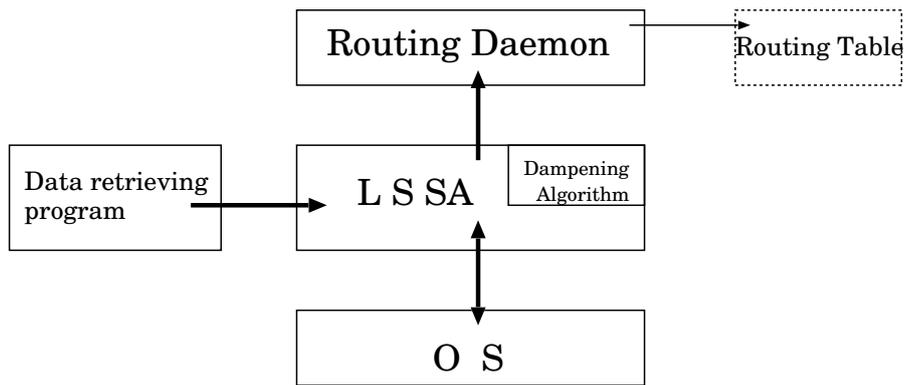


図 5.4: LSSA と経路制御機構の関係

OSPF のコストを変更し、優先度を変更する手法

本手法では、コマンドを送信して設定を変更することにより、状態の悪化したリンクの優先度を変更する。

第6章 LSSAの実装

本章では、5章で述べた機構の実装について述べる。

6.1 実装環境

LSSAの実装環境を表6.1に示す。

表 6.1: LSSAの実装環境

Operating System	FreeBSD 4.8-RELEASE
CPU	Pentium III 1.3GHz
Memory	512MByte
Hard Disk	40GByte
gcc version	2.95.4
DataBase	mysql 4.0.15(client)[10] mysql 4.0.12(server)
MWD	0.4.3
Routing Daemon	zebra 0.93a[11]

6.2 全体の流れ

LSSAを実装したルータにおける、データリンク状態反映の処理の流れを述べる。
図6.1に概念図を示す。

1. データベースよりデータ取得、構造体に格納
2. データを閾値と比較
3. LSSAサーバから経路制御機構へリンク状態を渡す
4. インターフェースへ状態変更
OSPFのcost変更

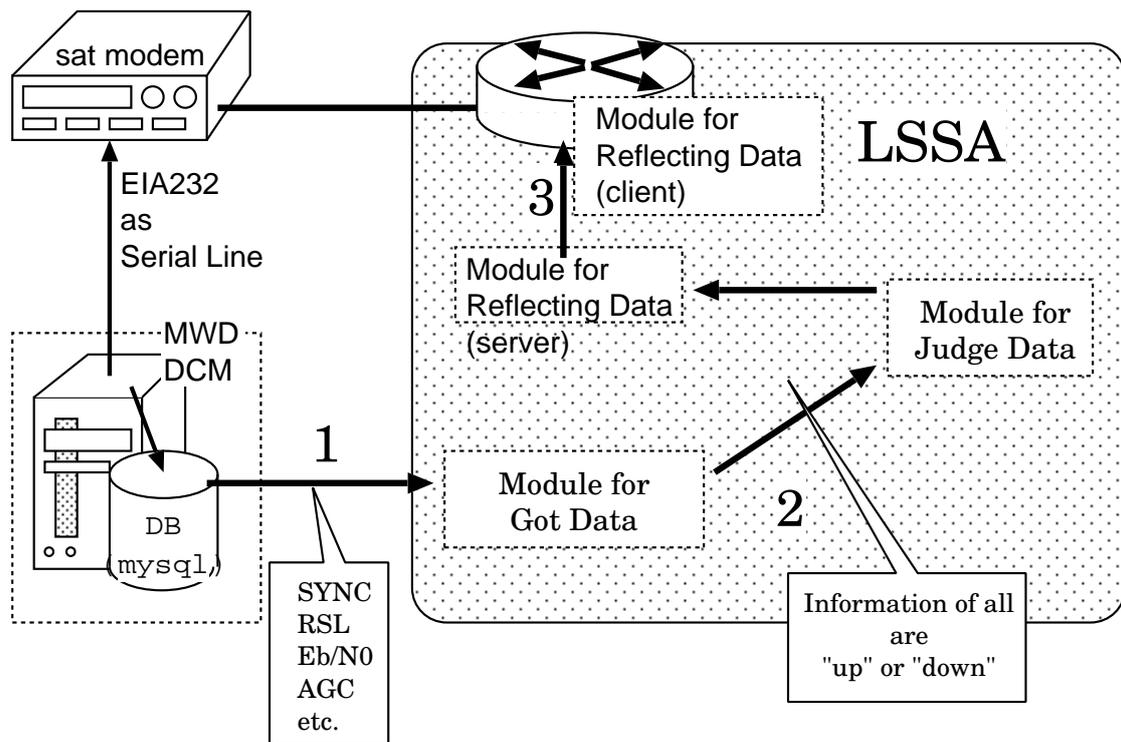


図 6.1: LSSA の全体の流れ

6.3 データリンク情報収集ポリシー

data_fs_test, data_ts_test 構造体は、データベースに保存されている Table ごとの最新の情報を格納する。LSSA は、30 秒ごとにデータベースへ情報を取得しに行き、これらの構造体に情報を格納する。これらの構造体は情報取得モジュール、情報判断モジュールで共有される。情報取得モジュールでは、データベースから取得したデータをこれらの構造体に格納する。情報判断モジュールでは、構造体に格納されているデータと閾値を比較、判断する。

6.3.1 情報判断ポリシーの設定

情報判断ポリシーの設定には、各データリンク情報の閾値を指定する。

データリンク情報の閾値

```
#define DSYNC OK
#define RSL -45.0000
#define EBN0 12.0000
```

6.4 データ格納のための構造体

`data_fs_test` 構造体には、周波数や電波の種類などの衛星モデムで設定されている情報が格納される。

`data_vs_test` 構造体には、RSL や Eb/N0 などのその時の衛星回線の状態を示す、可変な値が格納される。

`data_fs_test` 構造体

```
struct data_fs_test {
    int ts; /* time stamp */
    unsigned double mfreq; /* modulator freq */
    char mtype[8]; /* modulator type */
    unsigned double mrate; /* modulator 送信 rate */
    unsigned double mpower; /* modulator power */
    unsigned double dfreq; /* demodulator freq. */
    char dtype[8]; /* demodulator type */
    unsigned double drate; /* demodulator 受信 rate */
}
```

`data_vs_test` 構造体

```
struct data_vs_test {
    int ts; /* time stamp */
    char dsync[5]; /* OK or NULL */
    double rsl; /* Receive Signal Level */
    double ebno; /* BitEnergy to NoiseRatio */
    double agc; /* Auto Gain Control */
};
```

6.5 情報収集モジュール

`mysql library` を使用し、データベースから最新の情報を取得する。30 秒毎に取得する。取得した各データは、`data_fs_test` 構造体、`data_vs_test` 構造体に格納する。

6.6 情報判断モジュール

6.6.1 判断部

データリンク情報収集モジュールによって各構造体に格納したデータを判断する。構造体に格納されている各データとそれぞれの種類の閾値を比較する。その結果、各データごとに閾値以上であれば、状態”up”とする。

判断した結果は、経路制御機構への反映モジュールである LSSA サーバへ渡す。

6.7 経路制御機構への反映モジュール

本モジュールでは、経路制御機構におけるインターフェースを up/down する手法と優先度を変更する手法 2 つの手法を実装した。

経路制御機構におけるインターフェースを up/down する方法では、LSSA がリンク状態を保持するサーバとし、情報を取得するクライアントとして経路制御機構の一部を改変した。

6.7.1 サーバ

現在のリンク状態を保持する。経路制御機構への反映モジュールのクライアントである LSSA クライアントから要求があれば、保持している値を渡す。

6.7.2 クライアント

LSSA サーバへ要求を出し、現在のリンク状態を取得する。

本プログラムは、zebra 内の zebra/ioctl.c を改変した。このファイル内の if_get_flags 関数を変更した他、LSSA から状態を取得するクライアントを加えた。lssa_client 関数は、LSSA から取得した状態を返す。そして、取得した情報の通りにインターフェースの状態を変更する。改変した ioctl.c 内の if_get_flags 関数を以下に示す。

```
/* get interface flags */
/* already edited for LSSA client */
void
if_get_flags (struct interface *ifp)
{
    int ret;
    int flag;
    struct ifreq ifreq;

    ifreq_set_name (&ifreq, ifp);

/* get the information from LSSA client */
//ret = if_ioctl (SIOCGIFFLAGS, (caddr_t) &ifreq);
flag = lssa_client();

    if (flag)
        ret = if_set_flags (ifp, IFF_UP | IFF_RUNNING);
    else
        ret = if_unset_flags (ifp, IFF_UP);
/*****/

    if (ret < 0)
    {
        perror ("ioctl");
        return;
    }
}
```

```
    ifp->flags = ifreq.ifr_flags & 0x0000ffff;
}
```

6.7.3 優先度を下げる手法

OSPF cost を変更する方法

第7章 評価

本章では、LSSA を評価用ネットワークで動作させた際の評価について述べる。

7.1 評価項目

評価として、以下の動作の検証を行った。

- データベースからの情報収集
- 取得した情報の判断
- 判断した結果の経路制御機構への反映
- 全体

7.2 評価環境

7.2.1 評価ネットワークの概要

LSSA の評価を行うために、以下の図 7.1 に示すネットワークを構築した。Router-A、Router-B は 2 つのインターフェースを持ち、この 2 つをそれぞれ衛星回線、冗長回線として接続する。また、各々はルータであり、経路制御機構である zebra を動作させる。本トポロジでは、Router-A が LSSA、MWD を兼ね、動作させる。

7.2.2 評価に用いたマシン、ソフトウェアの仕様

評価に用いたマシン、ソフトウェアの仕様を表 7.1 に示す。

表 7.1: 評価に使用した各マシンの仕様

	Operation System	CPU	Memory
Router A	FreeBSD 5.1-RELEASE	Pentium III 1GHz	512MByte
Router B	FreeBSD 4.8-RELEASE	Pentium III 1GHz	512MByte

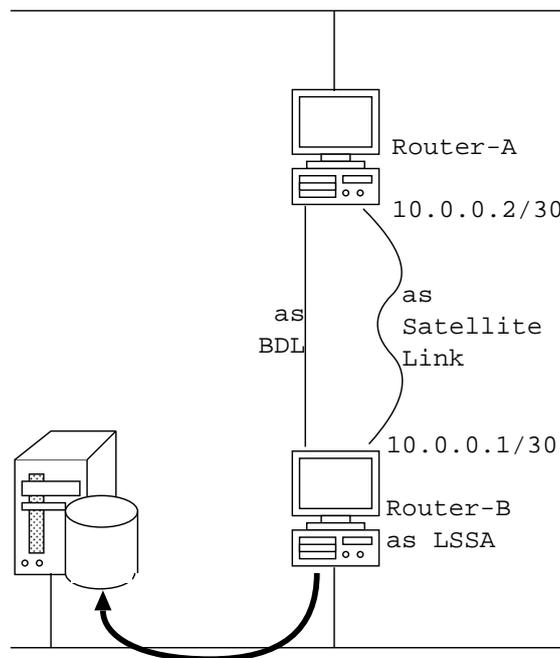


図 7.1: 評価ネットワーク

7.3 動作の検証

7.3.1 測定方法

測定項目として、各モジュールごと、全体を通しての動作検証を行った。

今回の評価では、MWD によりすでにデータベースに格納されたデータ 10000 件を使用し、時間の古い順で取得し、本評価に用いた。また、このデータベースは、衛星回線が DOWN したときや UP したときのデータが含まれている。

7.3.2 予想される評価結果

5章で述べた設計通りの結果になるはずである。

7.3.3 測定結果の考察

結果について、以下にそれぞれを述べる。

データベースからの情報収集

データベースへコマンドを送信した結果と同じ結果を得ることを確認した。ここでは、構造体へ格納するデータを表示させ、確認した。

取得した情報の判断

あらかじめ設定したポリシー通りに、取得した情報が判断されることを確認した。ここでは、評価用にログを記録することにより、確認した。また、どの情報により”down”と判断したかも記録した。

判断した結果の経路制御機構への反映

判断した結果を、以下のそれぞれの方法にて経路制御機構へ正確に反映されることを確認した。ここでも、評価用にログを記録することにより、確認した。

- Interface の up/down
- OSPF の cost 変更

全体を通して

各モジュールを組み合わせ、本機構全体の動作を確認した。
LSSA サーバで記録したログを以下に示す。

```
2004/01/09 11:17:30 ->up connect from Accepted from 127.0.0.1 [49182]
2004/01/09 11:17:30 ->up connect from Accepted from 127.0.0.1 [49183]
2004/01/09 11:17:30 ->up connect from Accepted from 127.0.0.1 [49184]
2004/01/09 11:17:30 ->up connect from Accepted from 127.0.0.1 [49185]
2004/01/09 11:17:30 ->up connect from Accepted from 127.0.0.1 [49186]
```

7.4 評価のまとめ

本機構が予測した通りの結果となることが確認された。

第8章 おわりに

8.1 結論

本研究では、衛星回線において動的経路制御に用いる新しいリンク状態監視機構の設計と実装を行った。

既存の経路制御機構におけるリンク状態監視機構は、リンク状態の監視パケットを定期的に出し、一定時間到達性が無いとリンクが切れたと判断するような単純な仕組みである。このため、リンク状態の誤検知、データリンク特性への未対応といった問題点がある。例えば、通信に使用できない品質のリンクを経路として選択したり、経路を切替えるまでの遅延が発生する。

また、データリンクは通信媒体によって様々なパラメータを保持するが、既存のリンク状態監視機構はその回線上にパケットが流れたか否かの判断しか行わない。衛星回線では、回線のアップダウンの他にも受信レベル、雑音比などのパラメータがある。回線がアップしている状態でも、信号の受信レベルが落ちている場合はエラーレートが高く、適切な経路とは言えない。また、衛星回線は天候や自然環境に影響されやすく、状態の変動が激しい特徴がある。

本研究では、以上のような問題を解決するためデータリンクの状態を正確に経路制御に反映する機構 (LSSA) を提案した。LSSA では、既存のリンク状態監視機構では扱えなかったデータリンクの状態を取得し、リンクが使用可能か判断する基準とする。取得するデータや判断ポリシーに従い、次の順序で経路制御機構へ反映する。まず、データリンクの情報を衛星モデムから取得する。データリンクの状態が通信に使用可能か、取得した情報を閾値と比較・判断する。ここで、Dampening Algorithm を利用することにより、ばらつきのあるデータでも誤判断を防ぐことが可能になった。判断した結果を経路制御機構へ反映する。

本機構は、Operating System に替わり経路制御機構へリンクの状態の反映機構として動作する。これによって、既存の経路制御プロトコルや経路制御機構に大きな変更を加えずに、リンクの詳細な情報を用いた適切な経路選択を実現した。

本研究では、データリンクの状態を経路制御機構におけるリンク状態監視機構に組み込むことにより、衛星回線を含むネットワークにおいてより安定した経路選択を実現できる。

8.2 今後の課題

本研究では、対象とするデータリンクを衛星回線と限定して設計、実装した。今後、経路制御機構への反映方法などの問題の残る部分について議論を深め、本機構の実装を継続する。主に以下のことを行う予定である。

8.2.1 より詳細な評価

運用状態により近いネットワークは、アッテネータやノイズジェネレータを用いることにより、疑似衛星回線として構築できる。そのネットワーク上で評価を行い、より適した閾値を検証する必要がある。

8.2.2 最も適した経路への反映方法の検証

本機構では経路制御機構へ状態を反映させる方法として、経路制御機構におけるインターフェースを up/down する方法、経路の優先度を変更する方法を実装した。今後、この2つの方法のどちらの方が適しているか検証を行う。また、経路の優先度を変更する方法については、ネットワーク全体のコストのバランスについて考察を行う必要がある。

8.2.3 複数の Link 状態から、経路として使うべきか否かを判別する手法

複数の Link 状態から経路として使うべきか否かを判別する手法として、Flap Damping Algorithm を用いる方法、閾値を「Link up 用」「Link down 用」の2つを設ける方法があげられる。

Flap Damping Algorithm を用いる方法では、状態が悪くなればペナルティを加算し、安定すればペナルティを減らす。ペナルティが Suppress Limit 以上になればそのリンクを”down”と判断し、Reuse Limit 以下になればそのリンクを再び”up”と判断する。この手法のメリットとして、ゆらぎの幅に関わらず Flap を防げる。

閾値を「Link up 用」「Link down 用」の2つを設ける手法は、アナログのデータに対し、よく行われる手法である。この手法では、”Link Down”のための閾値と”Link Up”のための閾値を設ける。”Link Down”のための閾値より状態が悪くなれば”down”と判断し、”Link Up”のための閾値より状態が再び良くなれば”up”と判断する。この手法のメリットとして、アナログデータを安定して判断可能である。また、ゆらぎの幅が小さい場合、Flap を防げる。

この2つの手法に対しては、今後ともに議論、検証が必要である。

第9章 謝辞

本研究を進めるにあたり、御指導をいただきました、慶應義塾大学環境情報学部教授の徳田英幸博士、並びに村井純博士に深く感謝いたします。また、絶えず御助言と御指導をいただきました、同学部助教授の楠本博之博士、並びに中村修博士、同学部専任講師の南政樹氏に深く感謝いたします。

本研究の全般に渡り、終始惜しめない御助言と叱咤激励をしていただきました、慶應義塾大学政策メディア研究科の藤枝俊輔氏、並びに Achmad Husni Thamrin 氏に深く感謝いたします。また、本論文の執筆に際して、常に励ましと御協力をいただきました、慶應義塾大学政策メディア研究科の西田視磨氏、片岡広太郎氏、谷岡洋平氏をはじめとする、慶應義塾大学環境情報学部の徳田・村井・楠本・中村・南研究会の諸先輩、同輩に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] J. Moy. *OSPF Version 2*, March 1994. RFC 1583.
- [2] G. Malkin. *RIP Version 2 Carrying Additional Information*, January 1993. RFC 1388.
- [3] Y. Rekhter and T. Li. *A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)*, March 1995. RFC 1771.
- [4] Anindya Basu, Jon Riecke. Stability Issues in OSPF Routing. *ACM SIGCOMM*, August 2001.
- [5] C. Villamizar, R. Chandra, and R. Govindan. *BGP Route Flap Damping*, November 1998. RFC 2439.
- [6] Y.Ohara, M.Mhatia, O.Nakamura, and J.Murai. Route Flapping Effects on OSPF. *SAINT03 Workshops*, pages 232–237, January 2003.
- [7] IETF MANET WG: Mobile Ad-hoc Networks. <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>.
- [8] 菅野 伸一. 無線回線用非対象適応経路制御システム APFS. *IC98*, ソフトウェア科学会, pages 53–62, 107–116 1998.
- [9] K.Kataoka, H.Watanabe and J.Murai. Data Link Monitoring on the Satellite-Based Network in the Internet. *SAINT03 Workshops*, pages 35–40, January 2003.
- [10] Mysql home page. <http://www.mysql.com/>.
- [11] Zebra home page. <http://www.zebra.org/>.