

M-33 周回軌道衛星システムにおけるトラフィック負荷分散ルーティング

Routing technique for traffic load distribution in orbiting satellite system

長竹 宏†

若原 恭†‡

Hiroshi Nagatake

Yasushi Wakahara

1. はじめに

近年は情報ネットワークへの関心の高まりとともに、世界的な情報インフラの早期構築が急務となってきており、光ファイバ網などの基幹ネットワークが急速に普及している。しかし、今後のネットワークで求められるマルチメディアなどの広帯域通信や災害時の通信などをエンドユーザやモバイルユーザへ広く提供するまでには今後とも長い年月を必要とすると考えられる。これを解決するための手段として周回軌道衛星による衛星通信ネットワークが注目を集めている。

我が国においても、利用者のニーズに応えるべく、NeLS[1]という衛星通信システムが検討されている。本稿では、NeLSシステムとその特性を概観して、ルーティング上の問題点を述べ、それを解決する新しいルーティング法を提案する。

2. NeLS ネットワークの特徴

通信需要の要求と、現行の地上ネットワークとの親和性から、NeLSシステムはIPネットワークとする。

2.1. メッシュトポロジー

NeLSの衛星系ネットワークではノードの位置関係は変化しない(トポロジー変化がない)。具体的には図1のようなメッシュトポロジーになる。

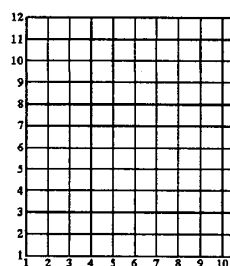


Fig1.network topology

横軸：衛星軌道番号

縦軸：衛星番号

罫線の交点が衛星に相当している。

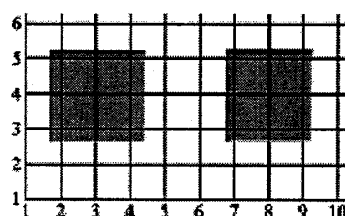
交点間の線分は衛星間のネットワークリンクに相当する。

図1から分かるように、NeLSでは2つのノードを結ぶための衛星リンク数が10リンクにならざるを得ないことがある。1リンク分の伝播遅延が約10msであるので、物理的な制約として、NeLSシステムのパケットの絶対伝播遅延時間は100msを許容する必要がある。

2.2. トラフィックの偏り

NeLSネットワークは地球上空全体(厳密には一部を除く)をカバーしているため、トラフィックの発信元・到着先となる地上ノードがほとんど存在しない海上や砂漠などをカバーする衛星ノードも存在することになる。

図2で表した網掛け部分が地上の陸地をカバーする衛星群で、それ以外は地上の陸地以外をカバーする衛星群だとすると、トラフィックの発信元・到着先となる陸地部分の衛星では通信が混雑し、それ以外では相対的に混雑していない状況が想定される。



縦軸：衛星軌道番号

横軸：衛星番号

網掛け部分：地上で

陸地にあたる部分

Fig2. traffic deviation

3. ルーティング問題とその解決法の提案

以上までに述べたように、NeLS衛星系ネットワークは地上網とはかなり違った特徴を持っている。これに伴い、ネットワーク内のルーティングについても地上網で使用されているルーティングアルゴリズムでは、NeLS特有の問題に対処できない可能性がある。

例えば2.2.であげたようなトラフィックの偏りがあった場合、ネットワーク全体の容量には余裕があっても一部のリンクのみが混み合い、スループットが低下するという問題が想定される。これに対し、NeLSのメッシュネットワークではルーティングパス候補が多いため、積極的にトラフィックを迂回させるようなルーティングアルゴリズムが効果を発揮する可能性が高いと考えられる。

3.1. 従来のルーティングアルゴリズムでの問題

RIPやOSPFに代表される従来のルーティングプロトコルで用いられているルーティングでは、ルーティングメトリックとしてホップ数やリンク速度などの尺度が用いられ、その尺度を最小にするパスをルーティングパスとして用いてきたが、不均一なトラフィック分散を招くことがわかっている[2]。NeLSにおいては、上述したように、ホップ数やリンク速度を最小にするパスだけでなく、それ以外の複数の候補パスを用いないと一部のリンクがボトルネックとなる可能性がある。

3.2. 提案するルーティングの基本方針

(1) 評価尺度

ルーティングの評価尺度には、単位時間あたりに転送可能なパケット総ビット数(容量)やパケット転送遅延時間(損失率)等多くのものがある。しかし、NeLSのシステムコストは決して小さくなく、いったん構築したNeLSの容量拡大は容易でない。2.1.に述べた遅延特性がある。そこで、ルーティングの設計にあたって、本稿では特に容量の最大化に重点を置くこととするが、遅延(損失)に対する要求条件も可能な範囲で満たすこととし、これによって3.1.で述べた従来方式の問題を解決する方針とする。

(2) ソースルーティング

通常ネットワーク容量を最大化するためには、ネットワー

† 東京大学新領域創成科学研究科

‡ 東京大学情報基盤センター

ク全体のトラヒック状況を管理し制御するサーバノードが必要であるが、NeLSのようなノードが比較的少ないネットワークでは、地上にこのようなサーバノードがあると仮定しても不自然でない。本稿ではこのようなサーバノードを地上に設置することとし、

これを活かしたルーティングを実現するため、ソースルーティングを行うものとする。

(3) トラヒック負荷予測値の使用

NeLS ネットワークは 2.2. で述べたとおり、リンクによってトラヒック負荷が大きく異なる可能性がある。そこで、例えば直前の一定時間における各リンクでの転送トラヒック量を基に各リンクのトラヒック負荷（実際には、後述するとおり、遅延時間を用いる）を予測し、負荷(遅延)が大きくなると予測されるリンクは、それを使って転送しないとパケット遅延時間が許容範囲を越えてしまう場合のみ転送に使う方針とする。ここで、そのようなリンクを迂回する場合、迂回パスにおけるリンク数は、2.1 に述べた特性から、例えば最大 10 リンク以内となるように制限を設ける。

3.3. トラヒック負荷分散ルーティングの提案

地上からパケットを受信した衛星ノードはソースルーティングを行うが、トラヒックの送信元衛星ノードと受信先衛星ノードのペア間でのパケット転送ルートは、サーバノードにおいて以下のステップで決定する。

Step1.

予め各送信元・受信先のペアノード間において許容できる遅延（最大遅延）を決めておき、そこから最大ホップ数制限 (MAX_HOP) を算出する。
次にそれぞれのペアについて、MAX_HOP を超えないホップ数を持つパスを全て算出し、保持しておく。

Step2.

Step1 で得られた各パスについて、その時点での遅延時間を計算し、予め導出しておいた遅延時間予測値との平均値を導出する。

ここから得られた平均遅延時間の小さい順に上位 n 個のパスを取り出し、ルーティングパス候補とする。(ただし、最大遅延以内までの範囲に留める)

ここで、できる限り重複リンクの少ないパス群候補を選出するため、候補として選ばれるパスに各リンクが含まれる回数の上限值 m を設け、パス候補として m 回以上選ばれたリンクを含むパスについては、その後はパス候補の対象としない。

Step3.

Step2 で得られたパス候補を、遅延時間の小さい順に利用確率が大きくなるように重み付けし、ルーティングテーブルに登録する。

各衛星ノードはこのルーティングテーブルを確率に従ってパケットを分散するようにソースルーティングする。
たとえば Path1,2,3 が選ばれた場合は以下ようになる。

PathID	Delay	Probability
path1	10ms	$(1/10)/((1/10)+(1/20)+(1/20))=0.5$
path2	20ms	$(1/20)/((1/10)+(1/20)+(1/20))=0.25$
path3	20ms	$(1/20)/((1/10)+(1/20)+(1/20))=0.25$

4. 有効性についての考察

本章では、3 章で述べたトラヒック負荷分散ルーティングについてその有効性を定性的に論じる。

3章の Step1 によって、解の探索範囲を狭め、Step2 によって最大遅延の要求を満たしつつ、できる限り混雑していないパス（遅延時間が小さいパス）を選択するようにした。例えば RIP 等の従来手法では送受信ノード間でボトルネックとなるリンクがあっても、アルゴリズム的にそのリンクを通らざるを得なかったことがあったが、このパス選択によって提案法ではそのようなリンクを使用せず迂回することが可能になる。

つまり、混雑の度合いをみたソースルーティングを行うことによってネットワーク全体の容量の増加が可能になると期待できる。

3.2.と 2.1.に述べたように、NeLS システムではその特異性からパケット遅延時間はどのような制御を行っても 100ms 程度となることを避けることができないことがあり、パケット遅延やホップ数のみを最小化する従来手法では、ジッタの急激な変化などのサービス品質のばらつきを招く。そこで本稿の提案手法ではこのパケット遅延を許容できる範囲に抑えつつ、ネットワーク全体で運べるトラヒック量を最大化するルーティング方式とした。

5. まとめ

NeLS システムは現行の IP ネットワークに比べて異なった特徴を備えており、中でもトラヒック混雑時のボトルネックを回避できる衛星 IP ネットワークを構築する際には、今までになかった問題を考慮する必要があることを示し、この問題を解決するため新しいルーティング手法を提案した。

今後は、提案したルーティングアルゴリズムのチューニングと、従来の IP ネットワークで使われていたルーティングアルゴリズムとの定量的な性能比較評価をシミュレーションによって実施していく予定である。

6. 参考文献

- [1] 鈴木龍太郎 低軌道衛星を用いるマルチメディア移動体通信衛星の研究 電子情報通信学会技術研究報告 VOL.100, NO 222, (2000)
- [2] C. Villamizar, "OSPF Optimized Multipath (OSPF-OMP)", Internet Draft, February (1999).
- [3] M. Mohorcic et al., "Comparison of adaptive routing algorithms in ISL networks considering various traffic scenarios", Mobile and personal satellite communications 4, (2000)
- [4] Vidyashankar V Gounder et al., "Routing in LEO-based satellite networks", University of Texas at Dallas Richardson, 1999
- [5] Harris & Jeffries, Inc., "Layer3 Switching Using MPLS", Netplane Systems, 1999