

2F-3

## 低軌道衛星通信システムにおける 遅延保証型迂回ルーティングの検討

植田 政彦 森 大祐 勅使河原 可海  
創価大学大学院 工学研究科

### 1. 研究の背景

近年、行政、教育、医療、コミュニティなどさまざまな分野、および、各個人、家庭におけるインターネット利用者を中心に、超高速ネットワークによる新たな技術革新への需要が高まってきている。このような背景をうけて、超高速なネットワーク基盤の整備に急速に進められている。しかしながら、それによる地域格差(いわゆるデジタルディバイド)が、より深刻な問題になってきている。衛星においては、Teledesic が「Internet-in-the-sky」構想を提唱したり、Skybridge が低軌道衛星受信用の球形アンテナを発表するなど、今後、ますます衛星におけるデータ通信が盛んになり、衛星ネットワークにおける QoS 保証も必要になってくると考えられる[1]。

本研究では、衛星ネットワークにおける QoS 保証のなかで、特に重要な問題となる遅延時間保証について、地球的規模でのトラフィック分散を行うことにより、トータルでの衛星遅延を保証すること、衛星回線を有効に利用するような負荷分散アルゴリズムを提案し、その衛星ネットワークにおける有用性についての検証を試みた。

### 2. 衛星通信におけるリアルタイム通信の可能性

地球的規模でのネットワークでは、映像・音声の伝送に無視できない時間を要するために、コミュニケーションに違和感が生じることが指摘されている。これらは、言葉を発してから戻ってくるまでの遅延時間が非常に大きく影響している。静止衛星は地上約 36000km の上空にあり、静止衛星経由で通信するとき、相手に電波が届くまで、250ms かかると言われている。一般的に、TV 電話を用いた会話では、往復の遅延の許容限界が 400ms とされている。これをこえた遅延時間では、スムーズなコミュニケーションのやり取りは難しいと考えられている[2]。

これを踏まえて、本研究対象の衛星通信システムの低軌道衛星回線では、同軌道上に 8 機の衛星があるとしているので、同軌道上の衛星間の遅延は、約 19ms かかることとなるので、リアルタイム性を保証するホップ数は最大 10 ホップまでは保証できると考えられる。

参考までに、地球半周したときの遅延時間を表 1 に示す。それぞれの、軌道数、衛星数を表 2 に示す。このデータによると、低軌道衛星(LEO)がおおよそ、地上からの距離が約 2000km 以下であれば、光ファイバーより遅延時間が短くなるという興味深い報告がされている[3]。

表 1 衛星の高度と軌道面内伝搬遅延の関係

衛星高度 (km)	衛星間 の遅延 (ms)	端末・衛星間 (ms) 直下～Iッジ	地球半周 の遅延 (ms)
780	9.3	2.6～5.8	79.7
1400	14.6	4.7～9.3	87.0
3000	27.1	10.0～16.8	108.2
35860	122.3	119.6～132.2	740.9
光ファイバ		(大圏コース)	97.4

### 3. システム構成

低軌道衛星(LEO)は高度 780km に軌道を取り、6 軌道上にそれぞれ 8 機の衛星を配置して、計 48 機で低軌道衛星ネットワークを構築する。同軌道上の衛星間リンク遅延は約 19ms になり、リアルタイムアプリケーションの許容遅延時間を保証するには最大 7 ホップまで可能である。また、低軌道回線内の衛星は 8 方向にリンクを持ち、全体としては、メッシュ状になる。

### 4. 負荷分散アルゴリズム

負荷分散アルゴリズムとは、トラフィックの集中からおこる遅延時間を保証する迂回路を求めて、その迂回路に最適なトラフィックを流すことで、システム全体としての遅延時間を短くするためのアルゴリズムである。衛星では、地域や時間により、トラフィックの発生量にかなりの偏りが出てくることが考えられる。そのために、使用さ

れる衛星回線も、かなり集中されているような状況が発生することが考えられるそこで、負荷分散アルゴリズムにより、衛星回線を有効に使い、遅延を保証する方法を検討した。

Dijkstra を用いての最短路と迂回路を決定するアルゴリズムを図7に示す。遅延時間計算には次の遅延式を用いた[4]。

$$D = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)}$$

$\rho$ : 回線利用率  
 $\mu$ : 回線のサービス率  
 (単位時間に送信できるメッセージ回数)

負荷分散アルゴリズムでは、Dijkstra アルゴリズムにより、各 Source から Destination までの最短路を求め、同時に最短路+1 ホップまでの迂回路を求め、上記の遅延式でトラフィックを流した場合の遅延時間を比較し、一番使用されていない Path を選択し、その Path に最適なトラフィックを流すことで、全体の負荷を分散し、遅延時間も最小にするアルゴリズムである。

## 5. シミュレーションと結果

本研究ではノード数 48、枝数 152 のグラフにおける負荷分散アルゴリズムの適用を試みた。シミュレーションの様子を図1に示す。

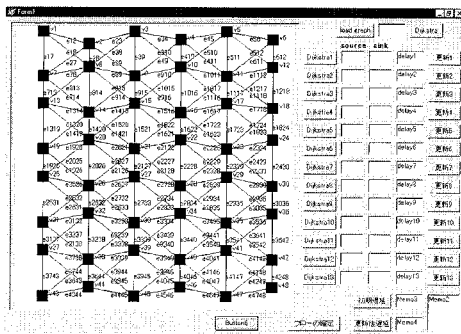


図1 シミュレーションの様子

Source および Destination をランダムに9つ選択し、それぞれに、トラフィック値を 10 流したときの最短路のみを使用した場合の遅延時間と負荷分散アルゴリズムによって求まる迂回路を使用する場合の遅延時間を、10 個の組について計算し、ネットワーク全体の総遅延量を比較した。その結果の平均を取ると約 35.5%の遅延の改善を確認できた。その結果のグラフを図2に示す。

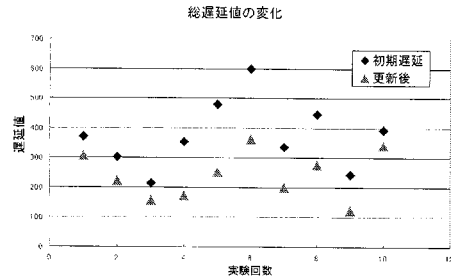


図2 実験結果

## 6. 今後の課題

本研究では、実際の研究対象衛星ネットワークに類似した、48 ノードのリンクが8方向メッシュ上のグラフに負荷分散アルゴリズムの適用を試みた。現在は平面的なグラフ上で評価をしているが、衛星が地球全体をカバーしているように立体的な形状で評価を試みる。また、ソースノードおよびディスティネーションノードを指定できるようにしたが、今後、トラフィックの発生をランダムに割り当てることで、シミュレーションの質を高めていきたい。また、負荷分散アルゴリズムにおいても、より良いアルゴリズムにするために、遅延式を評価し改善をしていきたい。また、現在は1種類のトラフィックのみの検討をおこなっているが、アプリケーショントラフィックごとの優先制御も今後検討していきたい。

## 7. まとめ

衛星ネットワークにおける QoS 実現のために重要な最大遅延保証問題について検討をおこなった。48 ノードの研究対象である低軌道衛星ネットワークに近いグラフにおいて、集中するトラフィックを分散させる、負荷分散アルゴリズムを適用することにより、各衛星にかかる負荷を分散し、遅延時間を少なく抑えることができた。

## 参考文献

- [1] 植田政彦, 金相銀, 田中充, 勅使河原可海: 低軌道衛星通信システム用ネットワークシミュレータの開発とその適用, DICOM2000シンポジウム論文集, pp577-582, 2000年6月
- [2] [http://www.nime.ac.jp/nnl/no21/4\\_12\\_01p.html](http://www.nime.ac.jp/nnl/no21/4_12_01p.html)
- [3] 通信放送機構: 平成11年度グローバルマルチメディア移動体衛星通信技術の研究開発研究開発報告書, pp150-165, 2000年3月
- [4] 荻原春生, 中川健治共著: 情報通信理論1, 森北出版株式会社, pp97-141, 1997年5月