

## 通信衛星利用データ配信システムの設計と実装

田中 功一 秋山 康智 白井 澄夫

三菱電機(株) 情報技術総合研究所

### Abstract

インターネットの普及によって、情報共有型サービスで利用される情報サーバに、効率的にデータを配信するための通信基盤が重要視されている。

我々は情報検索システムに見られる通信トラフィックの非対称性に着目し、情報の要求には低速の地上回線、検索結果の配信には同報性の高い衛星回線を選択的に利用する情報配信システムを設計した。これによって広域に分散する複数地点に効率よく確実な情報配信を実現できる。

本稿では、静止衛星の伝送遅延を考慮したバースト転送方式の片方向衛星通信プロトコル、複数計算機から衛星送受信設備を共有するための情報ハブの設計について述べ、さらにモデルに基づく実装と評価に関して述べる。

WWW サービスと接続した実験システムの性能評価では、理論値に近い回線速度の90%程度の結果が得られた。また、キャッシュ機構との併用は、回線利用効率の面から効果的であり、情報配信インフラとしての有用性が確認できた。

### 1. はじめに

近年、インターネットのWWW (World Wide Web) <sup>①</sup>に代表される、情報共有型の通信サービスが増加している。通信バックボーンの整備や増強は日夜行なわれているが、爆発的な利用増加と、それが生み出す通信トラフィックは、ネットワークを飽和状態に近づけているのが現状である<sup>②</sup>。

これらのサービスによるトラフィックの増加を解決する目的で、キャッシュ機構<sup>③</sup>や複製サーバを用い、共有情報の複製を複数箇所に配置することによって、ネットワーク負荷の局所的上昇を防止し、ユーザに対するレスポンスを向上させる手法が一般的に行われてきた。この様な目的には、複数サーバにデータを効率的に配信するための通信基盤が重要となる。

この課題に対しては、比較的高速な通信路を地域に依存せず獲得可能な衛星通信を利用する方法が考えられたが、送受信局の設置運営に必要なコストが高く、実用されるケースは少なかった。

我々は、共有情報の配布を目的とし、衛星通信の同報性の高さ<sup>④</sup>、「情報検索」システムにおけるクライアントとサーバ間通信トラフィックの非対称性に着目した、効率的に情報配信が可能な通信ネットワークシステムに関する研究を行ってきた。

このシステムは、情報の要求および制御には、比較的低速な地上ネットワークを利用し、高速かつ大容量のデータ転送が要求される返信には衛星通信を利用することを特徴としている。

ここでは、モデルの設計において重要となった片方向衛星通信プロトコル、衛星送受信局を地域で共有可能とする情報ハブの設計に関して述べる。また、有用性検証を目的とする実験シ

ステムの実装と性能評価についても報告する。

### 2. 従来技術と課題

一般に、広域に分散した複数地点に複製情報を配信するために適した通信回線の要求仕様において、もっとも重要視される特徴として、同報に適した属性、同期をとるための手段が用意されていることが挙げられる。

ここで同報性の高さだけで考えると、従来から衛星通信のが着目されていた。

しかしながら、衛星通信に必要な接続用機器および通信回線費用は、他の地上系ネットワークと比較して高価である。また静止衛星利用に関しては、伝送遅延による影響は無視できない。

特に企業などの地上ネットワークに広く利用されているTCP/IP プロトコルとの親和性は良くなく、それに対する積極的なアプローチがされてこなかったことなどもあり、気軽に利用できる存在ではなかった。

### 3. 衛星と地上回線利用の通信ネットワーク

我々は衛星の同報性を活かし、WWWなどの共有情報の配信に適した通信ネットワークの開発を目的とし、片方向の衛星通信回線と、地上回線を併用した準双方向通信ネットワークを提案する。

これは、情報の要求には低速の地上回線を用い、結果の配信には高速な衛星回線を利用する準双方向衛星通信ネットワークシステムである。

すなわち、データを送信することの少ない計算機を受信側、データサーバなど送信することが多い計算機を送信側とし、それぞれを地上回線と衛星回線で接続するネットワークである。

以下に今回提案するシステムの特徴について述べる。

#### 3.1 衛星・地上併用ネットワーク

従来地上でサービスされている通信回線は、送信および受信の通信速度が同じであり、双方向通信の提供が主である。ここでWWWなど情報共有型サービスにおけるクライアントとサーバ間トラフィックに着目すると、クライアント側からサーバへの問い合わせ指示が高々数十バイトであるのに対し、その数十倍のトラフィックが、サーバからクライアントへ転送される。すなわち、このケースでは必ずしも送受信が同一通信速度であるネットワークは必要ないことを示唆している(図-1)。従って、情報アクセスは、多数の一方情報流通の集まりであるとモデル化することができる。この情報アクセスの非対称性は、衛星における通信システムとよい相性を持つ。

同じく非対称性を特徴とするネットワークとして、ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)が存在するが、

情報配信を距離非依存かつ一定コスト、そしてクライアントに対し直接的な接続点を確保するという意味では、衛星通信が有利と考えた。

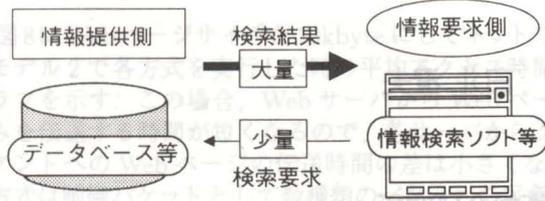


図-1 データ流量の非対称性

そこで、2つの物理ネットワークを使い、まず情報を要求するために低速の地上回線を、情報の結果の伝送には衛星回線を用いるモデルを提案する。このモデルでは、衛星通信回線が片方向通信であるため、クライアントは受信設備で衛星からの高速データ通信を受け、地上ネットワークを介して要求を送り出すように構成する。そのため、高価になりがちな衛星送信設備が情報配信の拠点にのみへの配置になり、その他の情報を享受する側は比較的安価な受信装置になるため、システム全体としてのコストが低減できる。

設計では、衛星通信器材を中心とし、複製した情報を扱うための情報ハブと、それを前提とした情報システムのアーキテクチャの定義を行うことにした。特に今回は、企業などの共有情報に適し、静止衛星の宿命である伝送遅延に影響されないファイル転送の実現を目標とした片方向の衛星通信プロトコルの設計、およびその応用であるファイル転送システムの設計と実装を行った。

### 3. 2 送受信局の情報ハブ化

本システムでは情報の提供元、および享受者は、LANで接続された計算機の集合体であると考え、接続された集合体内で情報を共有するモデルとする。

情報ハブは計算機集合体と衛星回線の接続点である。送信側情報ハブは衛星用送信アンテナ、送信機、送信制御計算機、そしてLAN接続用ルータから構成する。

また、受信側情報ハブは、受信アンテナ、受信機、受信制御計算機およびLAN接続用ルータから構成する。

配信データの保持を行う計算機と送信制御計算機、受信を行う計算機と受信制御計算機はそれぞれLAN経由で接続する。

これによって、衛星通信システムと既存設備との接続を容易

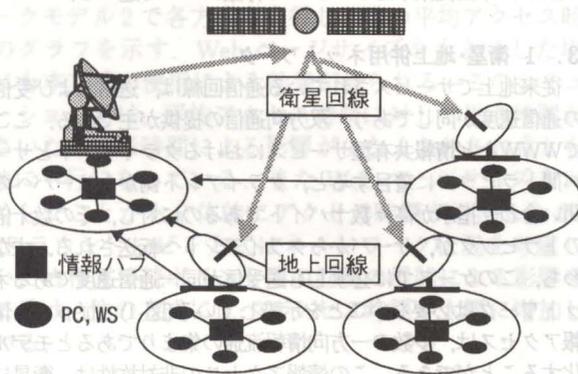


図-2 情報ハブの概念

にし、衛星へ配送された情報を共有する領域の明確化、高価な送受信設備のシェアを実現する(図-2)。

### 3. 3 受信局の識別

電子メールのメーリングリストなどにも見られるように、一つの組織内においても、複数のコミュニティが存在し、それぞれ独立した通信ドメインを構成しているのが普通である。

本システムでは、同報を受信するグループと、グループ内の個々の受信者を識別するために、情報ハブおよび受信装置の識別を以下のように扱うこととした。

- ・グループを構成する複数の受信ハブのアドレスG
- ・ハブ内の受信計算機を識別するアドレスA

ここでグループアドレスGは、複数のハブを1つのグループとして扱うために用意した。これは、1つの送信設備を複数の企業や用途に論理的に分割する目的で用いる。

また、複数地点への同報を指示する場合に、アドレスGを用いることによってこれを実現することとした。

さらに、受信計算機アドレスAは、送信側から受信計算機を特定するために付ける識別子である。つまり、このモデルにおいて、受信者をユニークに特定するためには、<G:A>の組合せで指定することになる(図-3)。

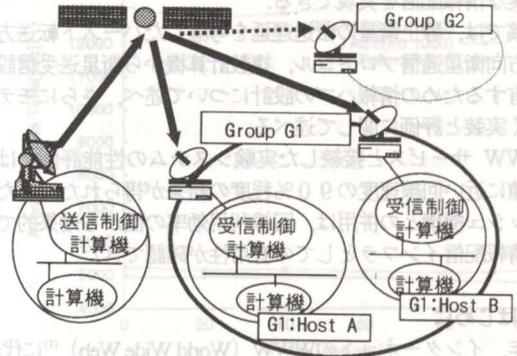


図-3 情報ハブにおけるアドレス

### 3. 4 片方向衛星回線用プロトコルの設計

このモデルでは、片方向衛星回線を用いることによって、データの検索結果や、共有情報複製のための同報・データ配信を効率的かつ確実にを行うことに主眼を置いている。

しかし、計算機ネットワークで一般的に利用されているTCP/IPを直接衛星通信回線に接続しても、静止衛星と地上間の電波伝送時間のため性能が出ない。

これはTCP/IP通信では、高信頼な通信を実現するため送信するデータ列をバケット化し、Sliding Windowと呼ばれるバケット送達確認管理方法によって、バケットごとの送達確認を行っていることが主因となっている。

この方法はおよそ、送信側に対して送達確認が行なわれた段階で次のバケット群の送信を可能とするプロトコルであるため、伝送遅延が大きな通信環境下では送信が間欠的になされるようになる。

この問題を解決するために、衛星遅延を考慮した専用の片方向通信プロトコルの設計が必要となる。

我々のアプローチでは、転送スケジューリングの実現の容易さ、再送を含めたユーザへのレスポンスタイムを考慮した結果、転送を蓄積交換型として一旦送信側にデータを保存、その後一定レートでバケット化したデータ列を送出する方式とした。送

達確認に関しては、衛星遅延に影響を避ける目的で、1つの転送単位が終了あるいは失敗を検出した段階で、地上回線を介し行うこととする。これにより一回のファイル転送中は受信側の状況に依存せず、片方向でのデータ送信をバースト状に行う方式とした(図-4)。

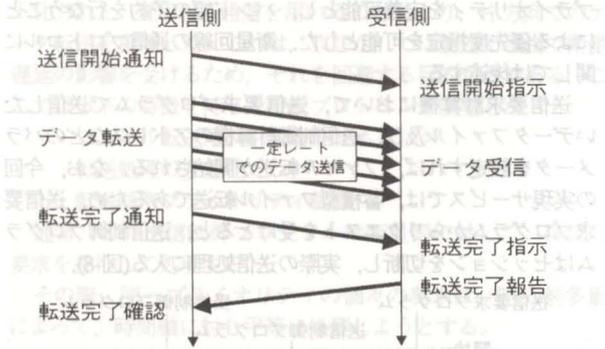


図-4 片方向データ送出手順

なお、WWWなどへの応用を考慮して、複数のファイルを同時に転送可能のように回線多重化を時間スロット分割方式にて行うこととした。

### 3.5 同報とキャッシュ機構

一度衛星回線上に送出されたデータは、基本的にはデータ放送として取り扱える。ここではこの特性を利用し受信局側では受信したデータをキャッシュすることにより、共有情報を受信局で保持するモデルとした。

つまり、ある受信局から地上回線経由で発生される送信要求で、頻繁にアクセスされるデータを、その受信局以外の局も受信可能とし、その受信局から同じデータに対するアクセス要求が発生しても既にローカルなキャッシュにヒット可能となる。この「盗み聞き」的な機能よって、要求発生時には既にキャッシュにヒットする確率が高くなるため、衛星回線を利用しなくとも高速にそのデータにアクセス可能となる(図-5)。

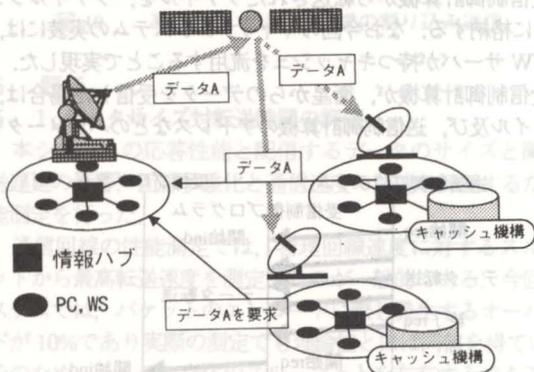


図-5 受信側情報ハブのキャッシュ

### 3.6 送達確認方式

本モデルでの衛星回線は設計上、片方向通信であるため、受信局側から衛星回線を介した送達確認の送付が不可能である。しかしながらアプリケーションとの連携動作においては確実な情報データ配信が要求される。衛星回線は比較的気象現象による影響の大きな通信回線であることから、何らかの方法による

送達確認は不可欠な機能である。

ここで送達確認のためのデータ送信は、一般に数十バイトで実装可能である場合が多いため、遅延が問題とならなければ高速な回線を使用する必要はなく、転送要求と同様に比較的低速な地上回線でも十分に使用できる。そのためこのモデルでは、送達確認は地上回線を用いて行うこととした。

また、送達確認が必要ない場合や地上回線が使用できない場合を想定して、受信局に送達確認をユーザが選択可能とするよう実装することとした。

### 3.7 再送方式

複数地点への同報データ通信において、受信誤りの発生は非同期であり、一つの受信拠点を受信失敗を通知してきても、他の正常であろう受信拠点のため、これに即座に対処するわけにはいかない。このようなケースは、気象条件に左右されやすい衛星通信において深刻である。

ここでは、効率的な再送を実現するために、再送シーケンスを以下の通りとした。

あるデータ配信が行われた場合、受信局は受信したパケットのシーケンス番号を逐次チェックし、パケットの抜けが無いかをチェックする。一つの配信単位が完了した場合、その単位中にパケット欠落が存在しなければ成功の送達確認を、さもなければ欠落したシーケンス番号とともに失敗の送達確認(異常通知)を、送信局に地上回線を用いて送付する。

異常通知を受信した送信局は、通知された欠落シーケンス番号に該当するパケットを選択し、衛星回線を用いて再送する。

それぞれの受信局からの異常通知は、ファイルの送信が終わった後にまとめて、送信局に送付されるように構成する(図-6)。

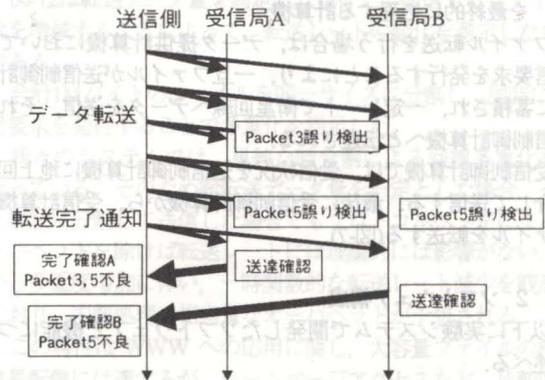


図-6 受信側からの送達確認手順

この方法とは別に、シーケンス番号が抜けた時点で異常通知を送付し、現在遂行中のファイル送信処理に割り込み、再送を実施する方法も考えられる。しかしながら、多数存在する受信拠点単位で、再送シーケンスに入ることは、同報中の回線にさらにトラヒックを増やすことになり転送効率の観点から受け入れがたい。また、異常通知を行う地上回線を常に接続しておく必要があり、公衆電話回線などを利用する場合にはコスト的に不利である。

よってこのモデルでは、すべての受信拠点からの送達確認を待ち、受信誤りが発生した部分だけを再送対象にし、1つの配信単位が完了した時点で再送シーケンスを開始する方式とした。

#### 4. システムの実装

上述モデルに基づき、実験的ハードウェアおよびソフトウェアの実装を行なった。ユーザへ提供するサービスとしては、ファイル転送サービスを基本とし、最終的に応用として、WWWサービスを連結したシステムの構築を行なうことを目標とした。

WWWサービスは、大容量ファイル転送時における通信性能を期待し、クライアントからの要求を、ファイル転送単位に割り当てることで接続することとした。

##### 4.1 ハードウェア構成

実験システムを構成するハードウェアは、以下の機能を持つ機器から構成した。

- ・データ提供計算機
- 共有するデータの「元」が存在する計算機
- ・送信制御計算機
- 複数のデータ提供計算機から送信要求を受け付け、プロトコル変換およびパケット化し、変調装置に対して送信処理を行う
- ・送信側ルータ装置
- 変調装置と送信側LANの接続専用ルータ
- ・受信側ルータ装置
- 復調装置と受信側LANの接続専用ルータ
- ・受信制御計算機
- 受信側の復調装置からのデータに基づき、データを受信し、受信計算機への配送を制御
- ・受信計算機
- 受信制御計算機によって受信され、転送されるファイルを最終的に処理する計算機

ファイル転送を行う場合は、データ提供計算機において、送信要求を発行することにより、一旦ファイルが送信制御計算機に蓄積され、一定レートで衛星回線へデータを送信、それが受信制御計算機へと伝達される。

受信制御計算機では、受信状況を送信制御計算機に地上回線を介して送信する。最後に受信制御計算機から、受信計算機にファイルを転送する(図-7)。

##### 4.2 ソフトウェア構成

以下に実験システムで開発したソフトウェアと機能について述べる。

###### ・送信要求プログラム

データ提供計算機上で動作するユーザからの要求に従い、データを後述の送信制御プログラムに伝え、処理の依頼とファイルシステムからのデータ転送を行なう。

今回のモデルの衛星回線は、片方向であるため受信側から

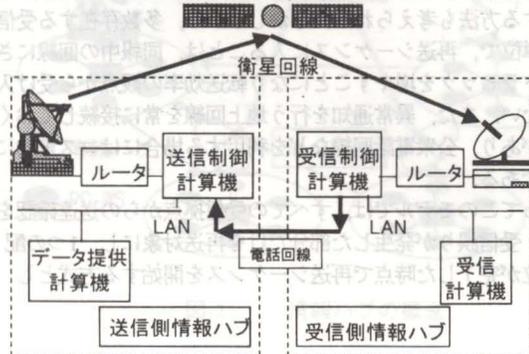


図-7 ハードウェア構成

の確認が戻らない、よってここに衛星への転送プロトコルを実装し、転送レート制御、流量制御を行なうこととした。

###### ・送信制御プログラム

送信要求プログラムから通知されたファイル転送要求を待ち行列に蓄積し、順次処理する。今回は、送信要求時に2段階のプライオリティを定義可能とし、バンド幅の予約を行なうことによる優先度指定を可能とした。衛星回線の通信プロトコルに関しては後述する。

送信要求計算機において、送信要求プログラムで送信したいデータファイル及び、送信制御計算機のアドレスなどのパラメータを設定すれば、ファイル転送が開始される。なお、今回の実現サービスでは、蓄積型ファイル転送であるため、送信要求プログラムからリクエストを受けると、送信制御プログラムはセッションを切断し、実際の送信処理に入る(図-8)。

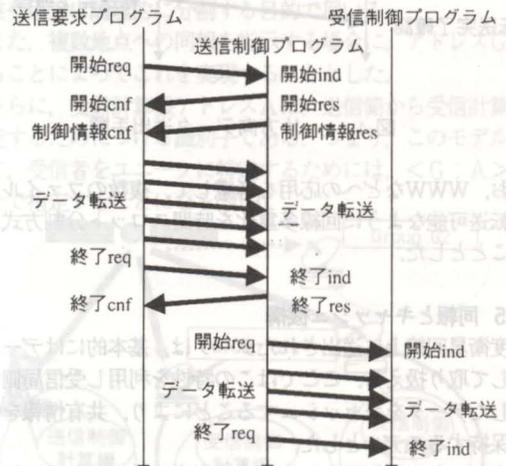


図-8 送信プログラム群のプロトコル

###### ・受信制御プログラム

衛星回線を介して受信されたデータを、転送要求毎に受信計算機へ転送する。

###### ・受信プログラム

受信制御計算機から転送されたファイルを、ファイルシステムに格納する。なお今回のキャッシュシステムの実装には、WWWサーバが持つキャッシュを流用することで実現した。

受信制御計算機が、衛星からのデータを受信した場合は、ファイル及び、送信制御計算機のアドレスなどのパラメータを

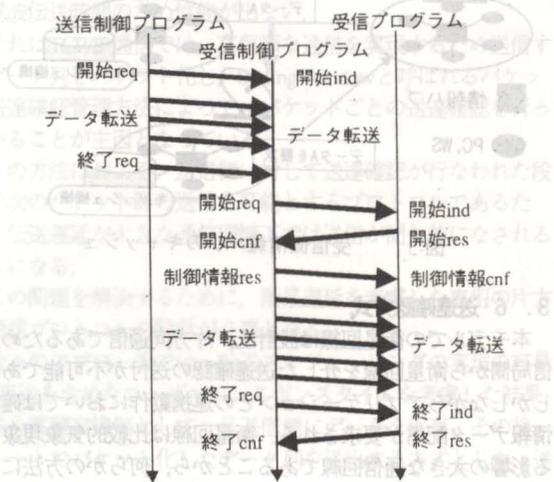


図-9 受信プログラム群のプロトコル

確認後、ファイルのデータ部の受信を開始する。受信が完全に終了した場合、受信計算機へのデータ転送処理を行なう(図-9)。

#### 4. 3 送信-受信制御プログラム間プロトコルの実装

送信制御プログラムと、受信制御プログラム間は、パケット化された UDP/IP 通信を用いることにより、片方向でのデータ転送を実現した。これは、TCP/IP では前述の理由で衛星遅延の影響を受けるため、それを回避する目的からである。ここでは以下の特徴を持った接続プロトコルを開発した。

- ・ファイル転送用TCP/IP層トンネリング
- ・転送処理の多重化
- ・転送順序プライオリティ制御

通常、この送信制御プログラムは衛星側に対して、複数の要求を並行して処理する。

その際、同一プライオリティの個々の要求は、時分割多重によって、時間軸に対し平等に処理しようとする。

ここにプライオリティの高い要求が投入された場合、一旦、それまでの処理を休止し、高いプライオリティのファイル転送を優先して送信する。

各パケットは、シーケンス番号の他、割り込み送信であることを示すフラグを用意し、受信側で中断された要求の処理を、障害によるものと区別する。

処理が完了すれば以前に休止した要求の処理を再開する。これによって、処理を中断することなく、緊急の要求を処理するように実装した(図-10)。

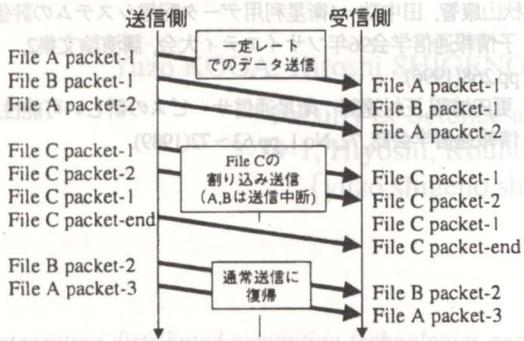


図-10 高プライオリティ要求の割り込み送信

### 5. 評価

#### 5. 1 データサイズ対転送時間の評価

本システムの応答性能と配信するデータのサイズと衛星伝送遅延の影響、回線多重化と通信速度の関連を評価するため性能測定を行った。

通信回線の性能測定では、物理回線速度に対するスループットから最高転送速度を測定するのが一般的である。今回のシステムでは、パケットのエンコードに際し発生するオーバーヘッドが10%であり実際の測定でも理論値とほぼ同値を得ている。そのため、システム全体のスループットを左右するであろう、ファイル転送におけるサイズに関して考察を行うこととした。

測定は、配信するデータサイズを100K~1Mバイトまで100Kバイト毎に離散的に変化させ、配信に要する時間から性能変化を測定した。なお評価環境は、先に述べたシステムを700Kbpsの衛星回線に接続したものである。また、地上回線としては制御計算機間を38.6Kbpsの通信速度で接続した。また、受信側装置は200MHzクロックCPUのPCを用い、10Mbps LANで受信ルータと接続した。

以下に各配信データのサイズと全体性能の関係を表に示す(図-11)。なお、実線が実測値、破線が伝送遅延時間(0.24ms)とデータサイズから導き出した理論値である。

図11において、データサイズが600Kバイト以上で600Kbps近傍に到達し、100Kバイト以下のファイルサイズの転送では転送レートが極端に低くなっていることがわかる(実線)。これは衛星遅延による影響が顕著に現れたものと予想でき、理論値(破線)ともほぼ合致する。

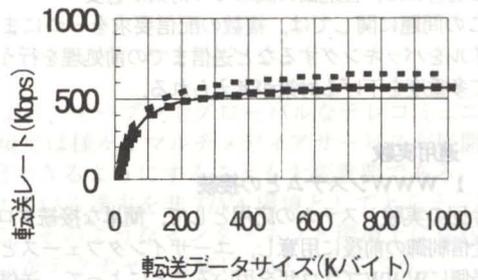


図-11 データサイズと転送レートの関連

#### 5. 2 多重度と転送レート

次に固定データ量の転送と回線多重度の関連を明確にする測定を行った。これは、WWWにおけるデータ要求動作は、同時に複数のファイル転送の進行が一般的であることから、内部処理に大きく依存する回線多重度と転送レートの関係の明確化が重要だからである。

図-12は転送データ量を固定し、並行して配信するファイルの数を増減することによって、転送レートの変化を測定したものである。

合計1Mバイトのファイルを同一サイズに分割し、同時に配信要求を発行することで多重化を指示した。

我々のシステムでは、単純な時分割による回線多重化を行っている。そのため総転送データ量を一定とした場合、それを複数に分割して送信した場合でもプロトコルヘッダによるオーバーヘッドを除けば転送レートには理論的には影響がない。しかし多重度増加に伴い、一時関数的な転送レート減少を観測しており、内部処理に相当量のオーバーヘッドが予想される。

この特性はWWWへの応用に関し、大容量ファイルの検索結果配信には適するが、ホームページアクセスなど、比較的小

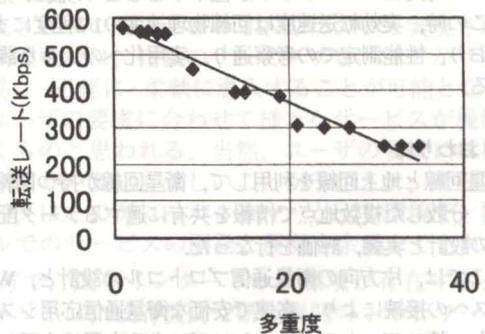


図-12 回線多重度と転送レートの関連

大きなサイズのデータの転送が連続的に発生する場合、システム全体としての転送効率が悪くなることを示唆する。

以下に、この性能測定から考察されたことをまとめる。

・サイズが100Kバイト未満のファイル転送対策

100Kバイト以下のファイル転送においては、衛星遅延による影響が大きく、スループットが極端に悪くなる。これに関しては、転送データサイズによる地上回線への選択的ルーティング機構の導入などの対応が考えられる。

・多重度の高い配信、サイズの小さなデータが連続して配信される場合には、性能面に関しての対策が必要

この問題に関しては、複数の配信要求を一つにまとめ、ファイルをバッキングするなど送信までの前処理を行うことによって多重度を下げる対策が考えられる。

## 6. 適用実験

### 6.1 WWWシステムとの接続

今回の実験システムの応用として、簡単な接続プログラムを送受信制御の前後に用意し、ユーザインタフェースとして、受信局側にWWWブラウザを用いることによって、送信局近傍に配置したWWWサーバと、通信を実現するシステムを構成した。

接続プログラムでは、HTTPと本システムのプロトコル変換を実施し、本システム本体と受信局側WWWブラウザ、送信側WWWには変更を加えずシステムを構築した。

### 6.2 利用結果

実験システムを利用して、以下のことが考察できた。

・同報について

このシステムでは、あるユーザがアクセスした情報は、自受信局のキャッシュに記録されるとともに、他の受信局にも蓄積される。これにより、ある受信局でアクセス頻度の高い情報は、自動的に他の受信局にもキャッシュされ、近傍のユーザが後に同じデータを要求した場合、実際のデータ提供計算機から衛星経由でデータを転送されることはない。

すなわち、情報処理システム全体でみると、アクセス頻度の高い情報が、近傍にキャッシュされる確率が高く、しかも配信の起動が最初のユーザによって自動的になされるため、社内網などのある程度目的が限定されたユーザ向け配信システムには有益な機能と考えられる。

・転送効率について

WWWサービスなどの比較的小さなファイル単位での転送では、システムで動作するプログラム間のオーバーヘッドが大きくなり、一時的にスループットが低下するなどの現象が発生した。この時、実効転送速度は回線物理速度の1/2程度にまで悪化しており、性能測定での考察通り、実用化への大きな課題と思われる。

## 7. おわりに

衛星回線と地上回線を利用して、衛星回線が持つ同報性を利用し、分散した複数地点で情報を共有に適するデータ配布システムの設計と実装、評価を行なった。

ここでは、片方向の衛星通信プロトコルの設計と、WWWサービスへの接続により、高速で安価な衛星通信応用システムの実現と、特にデータのキャッシングによる有用性を示した。

現在、我々はモデルの基本部分の実装を終え実験システムを構築、社内サービスでの試使用を開始した段階である。

本システムの効果は、これから行なう定量的評価を待たねばならないが、衛星通信の同報性、距離に依存しない通信コストは、製品カタログの配布など、グループ間通信における地上系ネットワークのトラフィック分散の方式として有用と考えられる。

今後は、評価に基づき実用化を進めると共に、ビデオ配布システムへの適用、また、IP マルチキャストを含むインターネットサービスとの親和性をさらに高めるための改良を進める予定である。

## 参考文献

- 1) Berners-Lee, T., Cailliau, R., Luotonen, A., Nielsen, H.F., Secret, A.: The World-Wide Web, Communications of the ACM, 37, No.8, pp.76~82(1994).
- 2) Claffy, K.C., Braun, H.W., Polyzos, G.C.: Tracking Long-Term Growth of the NSFNET, Communications of the ACM, 37, No.8, pp.34~45(1994).
- 3) Glassman, S.: A Caching Relay for the World Wide Web, Proceeding of 1st International Conference on WWW(1994).
- 4) Katz, E.D., Butler, M., McGrath, R.: A Scalable HTTP Server. The NCSA Prototype, Computer Networks and ISDN Systems, 27, No.2, pp.155~164(1994).
- 5) 田中功一, 斎藤正史, 中原昭次郎: 衛星通信利用データ配信サービスの検討, 情報処理学会マルチメディアと分散処理研究会, 第75回研究報告, pp.97~72(1996).
- 6) 秋山康智, 田中功一: 衛星利用データ配信システムの評価, 電子情報通信学会96年ソサイエティ大会, 講演論文集2, pp.268(1996).
- 7) 更田博昭, 正村達郎: 衛星通信サービスの新しい可能性, 電子情報通信学会誌, 72, No.1, pp.63~72(1989).