

単方向衛星回線を用いた マルチキャストデータ転送システムの実装と評価

石倉 雅巳 浅見 徹
国際電信電話(株) 研究所

近年、パッケージソフトウェアや映像データの配信のために、同報通信やマルチキャスト通信への需要が高まっている。衛星回線は同報性に優れたネットワークであり、これらのマルチキャストデータ転送システムに適している。特に、簡易な設備で受信地球局を構成できる単方向衛星回線が注目されている。本稿では、単方向衛星回線と地上回線を組み合わせて使用して実現した、信頼性のあるマルチキャストファイル転送システムについて述べる。また、疑似衛星回線を用いて本システムのスループット特性を評価した結果、通常のFTPに比較して高いスループットを得ることができることを確認したので報告する。

1 はじめに

近年、衛星回線を用いたデータ通信ネットワークの開発が様々な形態で進められている。衛星回線は、高速な伝送速度とすぐれた同報性という特徴を持ち、各方面で衛星を利用したデータ通信ネットワークの構築を検討している。また、インターネットにおいても、WIDEプロジェクトにより、衛星回線を利用したネットワーク構築の検討が進められている[1]。使用される衛星回線は大きく2種類に分類される。一つは比較的大型のアンテナを対向で用いる双方向衛星回線で、もう一つは簡易な設備で受信側地球局を構成することができる放送型の単方向衛星回線である。単方向衛星回線の場合は、接続対地数が多い場合システム全体のコストを低くすることが可能であり、全国に散在する受信者に対して衛星回線経由でFAXを同報するシステム[2]等が実現されている。また、[3]～[7]も放送型の伝送路として、単方向衛星回線を使用したシステムを構築している。しかし、単方向衛星回線を用いる場合、コネクションレス型のアプリケーションでの使用は容易であるが、ファイル転送などの確認応答による信頼性を必要とするコネクション型のアプリケーションにはそのままでは使用できない。

本稿では、コネクションレス型アプリケーションだけではなく、単方向衛星回線と地上回線を組み合わせて信頼性を確保しコネクション型アプリケーションへの適用を可能としたマルチキャストデータ転送システムを実装・評価したので報告する[8]～[10]。また、疑似伝送路を用いて測定したところ、本システムで実装したファイル転送プロトコルは通常のFTPに比較して高速なスループットを得ることができることを確認したので報告する。

2 単方向衛星回線を用いたマルチキャストデータ通信

一般に、インターネットで使用されているWWWやftp等のデータ検索・取得型アプリケーションの多くは、データの転送量が送信と受信で大きく異なる場合が多い。そのため、伝送路として送受信ともに同じ速度の回線でも、ユーザから見た送信回線速度が低速でも、受信回線速度が高速であれば、アプリケーションの体感速度は送受信ともに高速な回線を設定した場合とほとんど変わらない。送受信伝送速度の異なる極端な場合として、衛星放送などで使用されている同報型の単方向衛星回線があげられる。このような衛星回線を使用して、データ転送システムを構築する場合、データ受信側に電波の発信設備が不要となり、受信端末を非常に廉価に実現できる。そのため、受信者数が多いほど低コスト

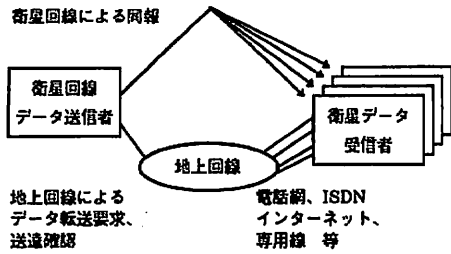


図1 ネットワーク構成例

にシステム構築が可能となる。単方向衛星回線だけで使用する場合、画像の放送などのコネクションレス型の通信には問題なく使える。しかし、ファイル転送などの信頼性を必要とするデータ通信を行う場合、データの送達確認や、誤り再送要求が必要となるため、地上回線等の別の手段と組み合わせてシステムを構築する必要がある。また、送信者に対してデータの転送を要求するためにも戻り回線が必要となる。

図1に単方向衛星回線を用いたネットワーク構成例を示す。同報型衛星回線は、衛星アンテナとしてVSATまたはUSATのような小型アンテナを使用する場合でも、20Mbps程度までの高速伝送が可能である。また、データの転送要求や、送達確認に用いられる地上回線は、転送データサイズが小さいためあまり高速でなくてもよく、電話網、ISDN、インターネット、専用線等の各種メディアを用いることが可能である。単方向衛星回線と地上回線を組み合わせて使用する場合の通信シーケンスを図2に示す。

3 システム概要

本システムは、衛星回線に接続し、データ

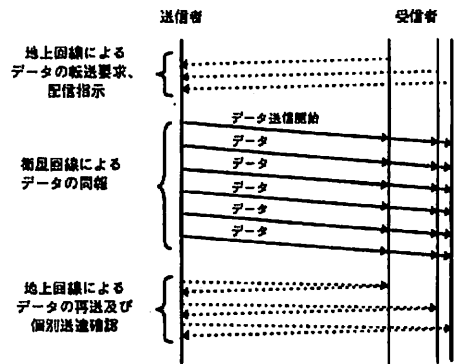


図2 単方向衛星回線における通信シーケンス

の送信あるいは受信を行う衛星用ゲートウェイと、誤り制御や送達確認に用いる双方向地上線（低速でも可）から構成される。単方向衛星回線を使用するアプリケーションは、LAN 上の計算機または衛星用ゲートウェイ上に実装され、衛星用ゲートウェイを介して衛星回線を使用する。

本システムの衛星用ゲートウェイにおけるプロトコルスタックを図3に示す。衛星回線は単方向回線であるため、応答を必要としない HDLC の UI フレームを使用し、FCS による伝送誤り検出のみを行う。また、衛星回線上をプロトコル多重して使用するために、LLC（論理リンク制御）プロトコルのヘッダを用いることとした。

ファイル転送などの信頼性が必要なアプリケーションは、各アプリケーション毎に双方向地上線による接続を確保して、送達確認や誤り制御のために使用する。

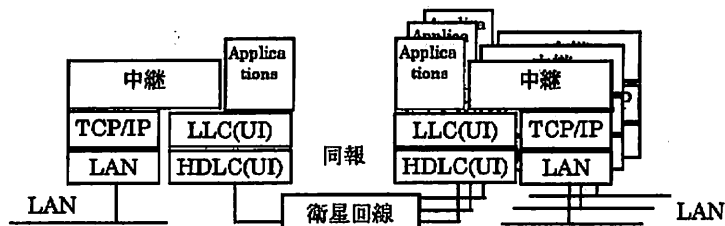


図3 衛星用ゲートウェイにおけるプロトコルスタック

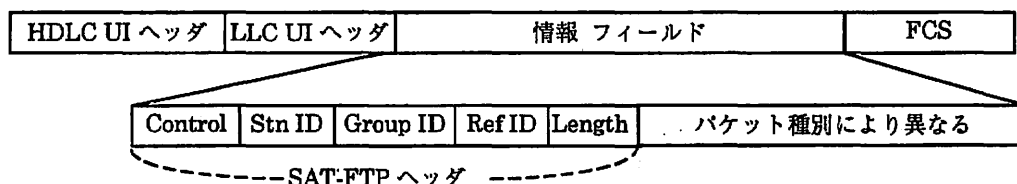


図 4 SAT-FTP のパケットフォーマット

4 マルチキャストファイル転送 プロトコル (SAT-FTP)

単方向衛星回線を使用したアプリケーションの一つとして、マルチキャストファイル転送プロトコルを実装評価した。本節ではその詳細とスルーブットについて述べる。マルチキャストファイル転送プロトコルは、多数の通信相手に対して、誤りなくファイルを転送するためのプロトコルであり、ファイル転送の信頼性を確保するために、地上回線によりファイルの送達確認及び誤り回復制御を行っている。マルチキャストファイル転送プロトコルは以下の特徴を有する。以下、本プロトコルを SAT-FTP と呼ぶ。

- データを同報した後、個別に受信者に送達確認する 2 ステップでファイル転送を完了する。
- ファイルの送達確認や再送要求には電話網、ISDN、インターネット等各種ネットワークを使用できるようにする。
- 扱うファイルは実装上の問題から有限長とする。
- ファイル送信の手順を冗長にし、ファイルの送信途中からでも受信を始めることが出来るようにする。
- 各端末は一元管理される ID により識別される。
- 特定の受信者グループに対するマルチキャストを可能とする。

4.1 パケットフォーマット

パケットフォーマットの基本形を図 4 に示す。SAT-FTP ヘッダは固定長であり、各フィールドの値および内容を以下に示す。また、使用するパケット種別の一覧および概要を表 1 に示す。

4.1.1 Control フィールド

表 1 に示すパケット種別の識別に用いる。

4.1.2 Stn ID

Stn ID は 2byte 長で、パケットの送信者を特定するための識別子である。Stn ID はすべての送受信者間で事前に合意され割り当てられているものとする。すべてのパケットはその送信者の Stn ID を付けて送信するものとする。

4.1.3 Group ID

Group ID は 2byte 長で、受信者のグループを特定するための識別子である。Group ID はすべての送受信者間で事前に合意されているものとする。各受信者は受信パケットの Group ID をチェックして自分が受信すべきパケットであるかどうかを確認する。値 0x00 は全受信者への同報用の Group ID として使用する。

4.1.4 Ref ID

Ref ID は一つのファイル転送の開始から完了までの一連のセッションを識別するための番号で、送信者が重複の無いように管理する 2byte 長の番号である。一つのファイル転送の開始から完了までのすべてのパケットは同一の Ref ID を持ち、他のファイル転送のパケットと区別される。2byte 長であるため 6 万 5 千回のファイル転送に重複なく使用できるが、送受信者間の合意のもとに定期的リセットして使用することとする。Ref ID によりファイル転送の各セッションを区別するため、複数のファイル転送を同時に進行させることが可能となる。

4.1.5 Length

Length はパケットの長さを示す 2byte 長のフィールドであり、SAT-FTP パケットの情報部分の長さを表す。

4.2 通信手順

通信手順は、図 2 に示したように衛星回線

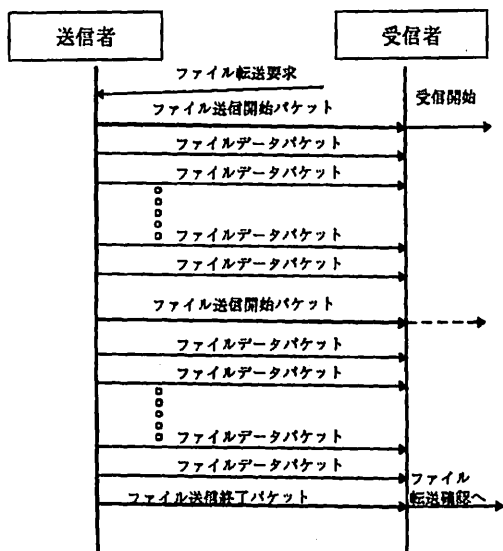


図5 データ送信フェーズのシーケンス

を用いてデータを放送するデータ送信フェーズと、地上回線を用いて個別確認するファイル転送確認フェーズに分けられる。それぞれのシーケンスを図5、図6に示す。また、図中に示す各パケットの意味を表1に記述する。

4.2.1 データ送信フェーズ

ファイル送信要求に従って衛星回線におけるデータ送信が起動され、まず、図7に示すファイル送信開始パケットが送出される。このパケットには、これから送信するファイル名、ファイルサイズ、送信者が決定した Ref ID が含まれている。図5に示すように、定期的にファイル送信開始パケットを繰り返し送出することにより、多少オーバーヘッドはあるが最初の開始パケットを受信できなくともファイル受信に途中参加することが可能となっている。

引き続き、図8に示すファイルデータパケットを送出する。ファイルデータパケットにはファイルのデータとファイル内でのオフセット位置情報が組で送られるため、途中でファイルデータパケットが抜けても続けてデータの受信を続けることが可能である。

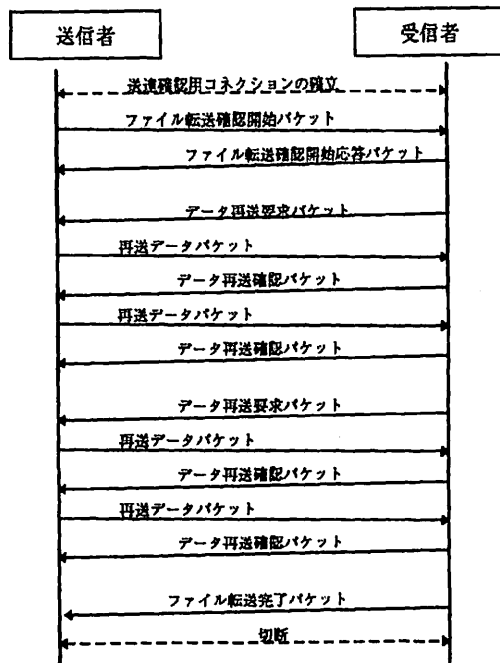


図6 ファイル転送確認フェーズのシーケンス

データの送信が全て終了したら、最後にファイル送信終了パケットを送出して、ファイル転送確認フェーズへ移行することを受信者に通知する。

4.2.2 ファイル転送確認フェーズ

ファイル転送の信頼性を確保するために、原則として全ての受信者に個別に確認することとする。個別確認方法については、後章で述べる。

まず、送受信者間で TCP コネクションを確立する。

ファイルが正しく受信できていたら、受信者はファイル転送完了パケットを送り返す。もしも、受信誤りがあり、データの一部が抜けてしまった場合は、その抜けた部分のみの再送をデータ再送要求パケットにより要求する。データ再送要求パケットのフォーマットを図9に示す。図9に示すように、一つのデータ再送要求パケットに複数の再送要求を含むことが出来る。送信者は再送要求に従って、

SAT-FTP ヘッダ	FILE サイズ(4byte)	FILE 名
----------------	-----------------	--------

図7 ファイル送信開始パケット

SAT-FTP ヘッダ	オフセット位置(4byte)	データ (可変長)
----------------	----------------	-----------

図8 ファイルデータパケット

SAT-FTP ヘッダ	オフセット 位置(4byte)	データ長 (4byte)	...	オフセット 位置(4byte)	データ長 (4byte)
----------------	--------------------	-----------------	-----	--------------------	-----------------

図9 データ再送要求パケット

抜けた部分のデータのみを再送信する。受信者は全てのデータが受信され、もとのファイルが正しく再構築されたらファイル転送完了パケットを送る。

4.3 タイマー

4.3.1 T1 タイマー

T1タイマーは受信側で持つタイマーで、衛星回線におけるデータ送信フェーズの確実な終了を保証するために用いる。T1タイマーは、データ送信フェーズにおいて最初のファイル送信開始パケットを受信したときに起動する。同一のファイル送信開始パケットを受け取った場合、すでにT1タイマーが起動されていれば無視する。ファイル送信終了パケットを受信したときに停止する。

T1タイマーがタイムアウトした場合、ファイル送信終了パケットが紛失したと見なし、ファイル送信終了パケットを受信したときと同様の手順を実行する。また、T1タイマー起動中にファイル転送確認開始パケットを地上線経由で受信した場合も、ファイル送信終了パケットを受信したときと同様の手順を実行する。

T1タイマーの値は受信するファイルサイズと使用する伝送路の実効速度により異なるため、受信したファイル送信開始パケットのファイルサイズ情報とローカルに持つパラメタファイルの実効伝送速度情報から次式により算出する。ここで n 、 α はマージンである。

$$T1 = (\text{ファイルサイズ} / \text{実効伝送速度}) * n + \alpha$$

4.3.2 T2 タイマー

T2タイマーはファイル転送確認フェーズで送信者が使用するタイマーで、ファイル転送確認開始パケットを送出したときに起動す

る。ファイル転送確認開始応答パケットを受信したときに停止する。

T2タイマーがタイムアウトした時は、ファイル転送確認開始パケットをN1回再送する。N1回再送してもT2タイマーがタイムアウトする場合は処理を中止してTCPコネクションを切断する。

4.3.3 T3 タイマー

T3タイマーはファイル転送確認フェーズで送信者が使用するタイマーで、ファイル転送確認開始応答パケットを受信したときに起動する。データ再送要求パケットまたはデータ再送確認パケットを受信する度に再起動する。ファイル転送完了パケットを受信したときに停止する。

T3タイマーがタイムアウトしたときは、受信者応答なしと見なし、切断作業を実行し、ファイル転送確認未完了として上位に通知する。

4.3.4 T4 タイマー

T4タイマーはファイル転送確認フェーズで受信者が使用するタイマーで、データ再送要求パケットを送出する度に起動または再起動する。また、再送データパケットを受信する度に再起動する。受信者が再送データに基づいてファイルを完成しファイル転送完了パケットを送出するときにT4タイマーも停止させる。

T4タイマーがタイムアウトしたときは、その時点の欠けたデータをもとにデータ再送要求パケットをN2回再送出する。それでもファイルの再構築が完了しない場合は、上位に通知して回線を切断する。

4.3.5 N1, N2

N1はファイル転送確認開始パケットの最大再送回数で、N2は同一データに対する再送要求が含まれるデータ再送要求パケットの最大再送回数である。

5 送達確認方法

本システムは、1つの送信者に対して複数の受信者のいるポイント・ツー・マルチポイント通信である。システム全体としてのスループットを高くするためには、特に受信者が

WWのようなアプリケーションへの対応も可能である。

一方、全くリアルタイム性を必要としないようなアプリケーションの場合、SAT-FTPで用いたTCPコネクションの上での送達確認手順と全く別の方法が考えられる。たとえばインターネットを送達確認に用いる場合、以下に示すようにe-mailを使用して送達確認を行うことができる。

- ・受信者は衛星回線からのデータ同報終了後、自分の受信できなかった全てのデータ部分を示す内容の電子メールを送信者宛に送る。
- ・送信者は受信者からの電子メールの内容に従って、受信者が必要とするデータを集め電子メールで応答する。扱うデータフォーマットを図8に示すように「データ長+ファイル内オフセット位置+データ」の集まりとすることにより、複数の電子メールに分割して送ることも可能である。
- ・受信者は送信者からの電子メールの内容に従って、受信ファイルを完成させ、必要であればファイル受信完了の電子メールを送信者へ送る。

ただし、データは全てテキストに符号化する必要がある。

6 ファイル転送スループット

図11の実験構成において、日米間でファイル転送を行う場合を想定し、疑似回線を設定した。疑似衛星回線は速度1.5Mbpsで片道遅延時間250msとし、疑似地上回線は片道遅延時間を100msとした64Kbpsの専用線によりルータ接続されたLAN経由で実現した。また、通常のFTPのスループット特性と比較するた

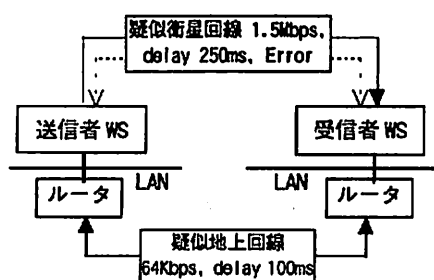


図11 実験構成

め、図11の衛星回線を1.5Mbpsの双方向回線としても使用出来るように設定した。測定は、1.5Mbps双方向衛星回線を用いたFTPと比較するためポイントツーポイント接続とし、パラメータとして伝送誤りを付加し、約3Mbyteのファイルの転送時間からスループットを算出した。測定結果を図12に示す。

7 考察

図12に示すように、FTPのスループットは回線速度に対して極端に低い。これは、FTPで使用するTCPがコネクション型プロトコルであるため、衛星回線の遅延時間に対するウィンドウサイズ不足(4Kbyte)による転送効率低下のためである。それに対して本システムは、誤りのない環境では回線速度の90%以上のスループットを得ている。これは、図5に示すように、本システムではコネクションレス型のデータ転送方式を使用しているため確認応答待ちを必要とせず、遅延時間によるスループット低下がほとんどないためである。図12に示すように誤り率が高くなるに従ってスループットが下がるが、衛星による同報に必要な時間は誤り率に依存しないため、伝送誤りに対する特性は、地上回線によるデータの再送量により決まる。図中の誤り率 1×10^{-6} の場合で約0.2%のデータの再送が必要であった。図11と同じ構成で送信者から各受信者に順次送達確認し、0.2%のデータを地上回線により再送することを仮定した場合、受信者数とスループット（転送ファイルサイズ(byte) * 8 / 全受信者への送達確認が完了するまでの時間(sec)）の計算例を図13に示す。ファイル転送が100局を超えるような多対地の場合、転送時間は同報時間と個別確認時間

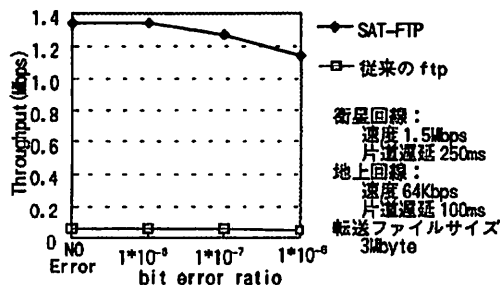


図12 スループット特性

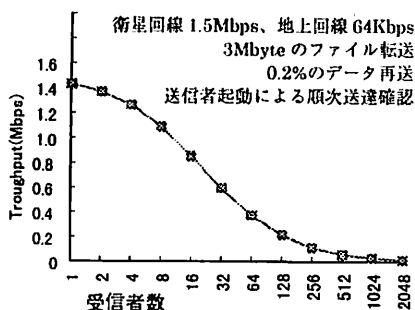


図 13 受信者数とスループットの関係 (試算)

(受信局数分の)の和となるため、マルチキャストで高スループットを維持するためには、効率のよい個別確認方法を確立する必要がある。

8 おわりに

本稿では、単方向性衛星回線を使用したマルチキャストファイル転送システムの実装とそのスループット特性について報告した。本システムは、単方向衛星回線と双方向地上回線を組み合わせることにより、確認応答のとれない回線においても、信頼性のあるファイル転送を実現できることが確認できた。さらに、衛星回線区間でデータの送達確認を行わないため、衛星回線の遅延時間の影響を受けず、従来のFTPに比較して回線を効率良く利用

できることも確認した。今後は、5節で論じた各種送達確認方法の検討評価を行っていく予定である。最後に日頃御指導いただくKDD研究所村上所長に感謝いたします。

参考文献

- [1]村井他,"衛星ネットワークを統合したインターネット-WISH-", 情処大全, 4C-1, Sep. 1994.
- [2]野原他,"受信確認機能付き衛星FAX同報システム", 信学大全, B-203, pp203., Sep. 1994.
- [3]滝沢他,"同報インタラクティブ衛星通信方式の回線構成法", 信学大全, B-264, Mar. 1996.
- [4]中川他,"同報インタラクティブ衛星通信方式のネットワーク構成", 信学大全, B-265, Mar. 1996.
- [5]中山他,"同報インタラクティブ衛星通信方式における無線プロトコル", 信学大全, B-266, Mar. 1996.
- [6]吉野他,"同報インタラクティブ衛星通信方式における回線選択方式の検討", 信学大全, B-267, Mar. 1996.
- [7]田中他,"衛星通信利用データ配布サービスの検討", 信学大全, B-835, Mar. 1996.
- [8]石倉他,"単方向衛星回線を用いたマルチキャストファイル転送システムの設計-", 信学大全, B-752, pp184, Mar., 1996.
- [9]石倉他,"単方向衛星回線を用いたマルチキャストファイル転送システムの評価-", 信学大全, B-689, pp173, Sep., 1996.
- [10]中島他,"マルチメディアデータ用イントラネットシステムの開発(1) -システム概要-", 信学大全, B-687, pp171, Sep., 1996.

表 1 SAT-FTPのパケット種別一覧

パケット種別	送出者*1, 使用回線*2	用途
ファイル送信開始パケット	送, 衛	送信ファイル名, サイズ, Ref IDを受信者に通知する。
ファイルデータパケット	送, 衛	ファイルデータとファイル内のオフセット位置を送る。
ファイル送信終了パケット	送, 衛	データの送信完了を通知し, ファイル転送確認フェーズへの移行を通知する。
ファイル転送確認開始パケット	送, 地	ファイル転送確認フェーズの開始を通知する。
ファイル転送確認開始応答パケット	受, 地	ファイル転送確認開始パケットに対する肯定確認応答。
データ再送要求パケット	受, 地	衛星回線からの受信時に, 受信できなかったファイルの部分の再送要求
再送データパケット	送, 地	データ再送要求パケットによる再送データ。フォーマットはファイルデータパケットに同じ。
データ再送確認パケット	受, 地	再送データパケットに対する確認応答。
ファイル転送完了パケット	受, 地	ファイルが正しく受信できたことを送信者へ通知する。
ファイル送信要求パケット	受*3, 地	送信者に対して特定のファイルの転送を要求する。
ファイル送信要求応答パケット	送, 地	ファイル送信要求パケットに対する肯定応答。

*1: 送—ファイル送信者からの送出, 受—ファイル受信者からの送出
 *2: 衛—単方向衛星回線による同報, 地—双方向地上回線
 *3: ファイルの送信要求者は受信者である必要はない。