

ケーブルテレビ網を経由したデジタル放送提供時の 上り情報伝送方式の検討

中本 博司[†] 六郷 義典[†] 田原 一司[†] 松浦 健夫[†] 前田 譲治[‡] 伊東 晋[‡]

[†]通信・放送機構 〒225-0002 横浜市青葉区美しが丘 2-14-5 東急美しが丘ビル

[‡]東京理科大学工学部 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641

E-mail: [†]nakamoto@catv.tao.go.jp

あらまし 双方向番組を提供するデジタル放送において、視聴者がクイズやオークションに参加する場合、多数の視聴者からの応答が短時間に集中し、放送局での処理量が増大する。本稿では、視聴者からの情報をケーブルテレビ網経由でインターネットプロトコルにより送信する場合の、放送局サーバの処理負荷低減について考察する。まず、通信処理負荷の軽いプロトコルとして UDP/IP を用いた場合を考え、その上位プロトコルの仕様について考察する。また、信頼性の要求される通信の場合は通常 TCP/IP が用いられることから、TCP/IP での処理負荷低減の方式を提案するとともに、実験による評価を行った。

キーワード デジタル放送、双方向番組、輻輳制御、ケーブルテレビ、インターネット

Data Transmission Technique for Interactive Broadcasting Services over Cable Television Network

Hiroshi Nakamoto[†] Yoshinori Rokugo[†] Kazushi Tahara[†] Takeo Matsuura[†]

Joji Maeda[‡] Susumu Itoh[‡]

[†]Telecommunications Advancement Organization of Japan

2-14-5, Utsukushigaoka, Aoba-ku, Yokohama-shi, 225-0002 Japan

[‡]Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science

2641 Yamazaki, Noda-shi, Chiba, 278-8510 Japan

E-mail: [†]nakamoto@catv.tao.go.jp

Abstract When interactive digital TV programs such as quiz or auction are provided, stress of a server at the TV station is increased by simultaneously produced responses. In this paper we discuss reduction methods of the server stress at the TV station, when the response data are sent via the Internet. Firstly we consider data transmission by using UDP/IP, and discuss functions of middle layer protocols. Next we discuss data transmission by using TCP/IP for reliable communication and propose a technique to reduce the server stress. The availability of the reduction technique is verified by experimental results.

Keyword Digital Broadcasting, Interactive TV, Congestion Control, Cable Television, Internet

1. まえがき

現在 BS、CS において提供されているデジタル放送の特徴のひとつに、双方向サービスの提供があげられる。デジタル放送の視聴者はリモコンを操作することで、例えばクイズやアンケートに回答したり、オークションに参加したりすることが簡単にできる。現行のシステムではデジタル放送の受信機に電話回線を接続し、モデムを用いて視聴者のデータを伝送している。データは各地域毎に指定されたアクセスポイントに送信され、専用の収集ネットワークを通じて、全ての視聴者データを収集する方式となっている[1]。一方、サービスの高機能化のためインターネットプロトコルを用いたデータ伝送も合わせて規定されており高度な放送サービスへの適用が期待される。特に、ケーブルテレビ網を用いたデジタル放送の提供においては、放送の受信と視聴者からの情報の送信がいずれも同じメディアのケーブルテレビ網経由で行える利点がある。

一方、先に示した双方向サービスの要求条件のひとつに、通信のリアルタイム性がある。すなわち、放送番組にリンクしたサービスのため、番組の進行に合わせて効率よくデータを集計表示する必要がある。しかし、インターネットという限られたリソースにより、多くのデータを伝送しようとした場合、パケット集中により遅延が増大してしまい、リアルタイム性が損なわれる恐れがある。

パケット集中による遅延の増大を抑える方法として、トランスポート層で再送制御をしない UDP/IP の適用がある。RTP[2]に代表される UDP/IP 上の伝送プロトコルは、主にストリーミングデータの伝送に適用されている。しかし、双方向サービスのようなトランザクションデータの伝送には、TCP/IP を用いた場合に比べ信頼性の点で劣る。

一方、TCP/IP の場合はコネクションが増えるとサーバで処理する通信プロセスが増大し、データの伝送に支障が出る。

そこで、本稿ではインターネット上で双方向サービスの上りデータを効率よく伝送するため、まず UDP/IP を適用した場合に上位プロトコルに要求される機能を定義する。次に TCP/IP を適用した場合の問題点の考察とその解決手段の提案を行う。最後に TCP/IP を適用した場合について、擬似的なデータ送受信実験を行い遅延の評価を行う。

2. インターネットによる視聴者応答データ収集方式

2.1. UDP を用いた信頼性のあるデータ転送方式

本節において、UDP を用いた信頼性のあるデータ転送方式を提案する。

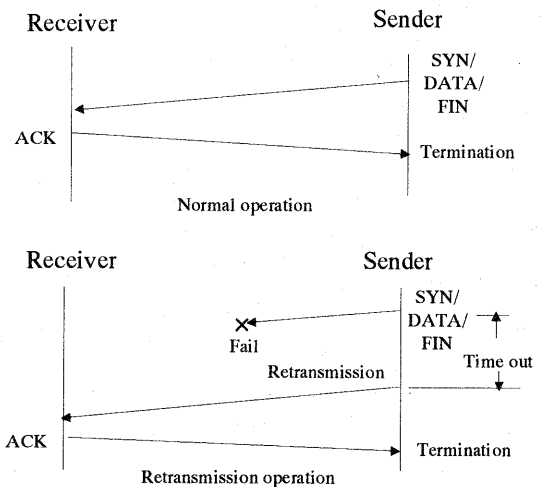


図1 セッション層での再送制御

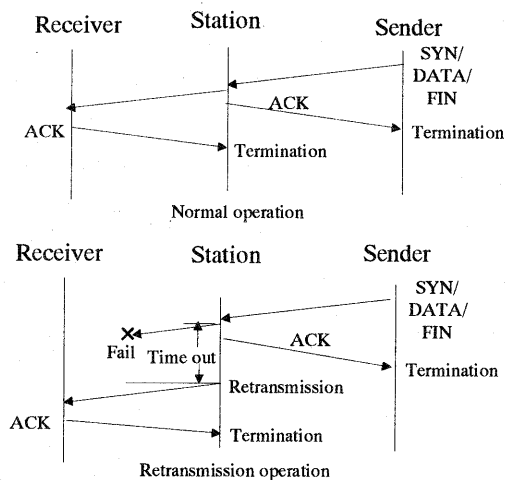


図2 中継局におけるセッションのキューイング

a. セッション層の定義

TCP を用いた通信においては、コネクションの確立、維持、解放の手順を踏む事により、再送制御に基づく信頼性が確保された通信が実現されている。しかしながら、TCP を用いた通信においては、この手順が複雑で、しかも、実データの転送までにコネクションの確立手順が必要であり、遅延が生じる。この問題を解決する手段として、TCP for transactions[3]が知られている。

ところで、本論文で提案する方式は、双方向番組の加入者応答データを対象とするものであり、転送するデータサイズが数十バイトと短い。そこで、トランスポート層として UDP を用いて効率を上げ、その一方で、信頼性を保証する通信手順を、新たに定義するセッション層を定義する。

ョン層に持たせる方式を提案する。すなわち、アプリケーション層において、UDPの上位レイヤとしてセッション層を定義する。そして、TCP for transactionsの手順をセッション層に持たせ再送制御を行う。

UDPを用いた再送制御としてはRTP/UDPでの再送制御[4],[5]が知られている。

我々の提案方式は、単純にセッション層におけるACKのタイムアウトを元に再送制御を行う(図1)。

b. 手順

送信端末では、加入者応答データをセッション層でメッセージに組み立てる際、セッションレイヤサービスデータユニット(SDU)に対してセッションヘッダを付与する。このセッションヘッダにSYN/DATA/FINを一度に表示するフラグを立てる。受信端末では、受信したデータのUDPチェックサムが正しい事及びセッションメッセージの該当フラグを確認し、送信端末に対してセッション層におけるACKを返す。

送信端末は、ACKを受信しセッションを切断する。また、前もって定められた時間内にACKが返ってこない場合には、送信端末は同一セッションメッセージを再送する。

c. 中継局におけるセッションのキューイング

中継局において、セッション層にキューを配備する場合は、セッションは一端中継局において、終端されるものとして扱う(図2)。すなわち、セッションメッセージを一端キューに蓄積すると同時に、送信端末に対して、ACKを返す。送信端末は、規定時間内にACKが返ってこない場合、同一セッションメッセージを再送する。また、中継局は受信端末に対して、セッションメッセージを送信する。受信端末は、セッションメッセージを正しく受信した場合、中継局に対しACKを返す。ACK受信までの間、中継局は該当セッションメッセージを保存する。規定時間内にACKが返ってこない場合、中継局は、該当セッションメッセージを再送する。

セッション層にキューを配備する目的は次の通りである。

- データ流の平滑化
- 輻輳時のパケット廃棄の解消
- セッションメッセージの連結によるヘッダ圧縮

2.2. TCP/IPを用いたデータ転送方式

ARIBではUDP/IPの他にTCP/IPを用いる通信方式が規定されている[1]。

TCP/IPはUDP/IPに比べ、信頼性の高い通信を実現できる。一方、双方向番組において、選択式のクイズやアンケートの回答を行う場合、選んだ数字のみを送信するため、データ量として数バイト程度となる。

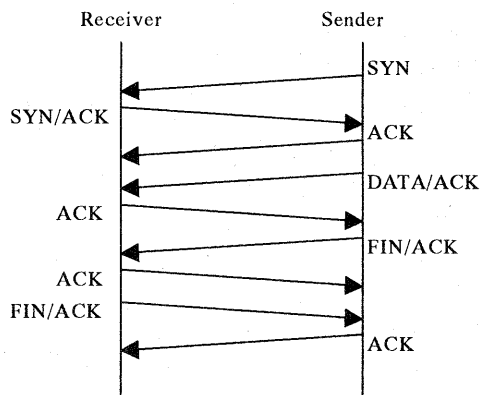
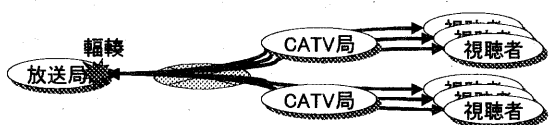
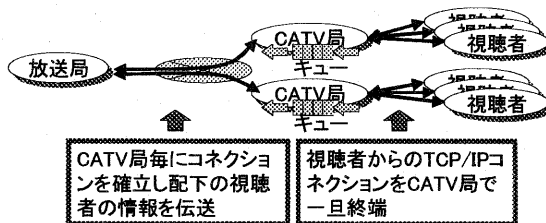


図3 TCP/IPのデータ転送手順



(a)放送局に多数のTCP/IPコネクションが集中しサーバの負荷が増大



(b)CATV局でコネクションを終端し別コネクションで放送局に送信

図4 輻輳発生イメージ

TCP/IPにおいて送信するデータ量が小さいと、ヘッダの処理の占める割合が相対的に大きくなり、伝送効率が低下する。具体的には伝送効率を低下させる要因として以下の二つがあげられる。

- ① 通信路を往復するパケット数として、データ転送に2パケット(送信とACK)、コネクションの確立と終了で5パケットを要し、オーバーヘッドの割合が大きい。
- ② データサイズが小さいと、パケットに占めるTCP/IPのヘッダの割合が大きくなり効率が悪い。

上記の問題点に対する改善の方法について以下に述べる。

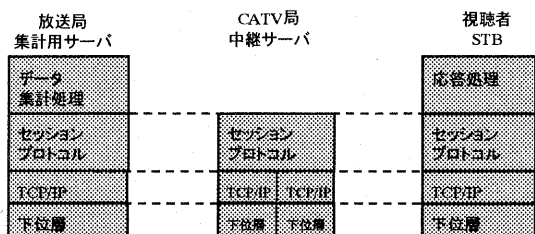


図5 コネクション集約型伝送方式の
プロトコルスタック

2.2.1. コネクション増加によるサーバ輻輳対策

双方向番組の応答データを TCP/IP により送信する場合、コネクションの確立、データ転送、コネクション解放の一連の手順で処理が実行される(図3)。短時間に多数の視聴者から応答データが送信され、放送局の集計サーバにおいて、多数のコネクションの受付処理が行われる。受け付けられた全てのコネクションにおいて上記の一連の処理を実行するため、CPU 負荷が増大し処理効率を悪化させる。つまり、サーバにおいてコネクションの確立、解放の処理に追われて、データ処理の性能が上らない状態と考えられる。

そこで、サーバで受け付けるコネクションの数を減らすことによりサーバでの輻輳の発生を抑えることを図る(図4)。これは、視聴者からの個々のコネクションを CATV 局で一旦終端し、宛先放送局別に整理蓄積し、放送局毎に張られた TCP/IP コネクションにより、データを伝送するものである。本方式をコネクション集約型伝送方式と呼ぶこととする。コネクションが CATV 局で切れることから、視聴者と放送局間の通信性を確保するため、上位レイヤでエンドツーエンドのセッションを定義する必要がある。図5にこのときのプロトコルスタックを示す。

双方向番組でのクイズやアンケートを開始する際、以下の手順により放送局から CATV 局、STB に開始通知が行われる。

1. 放送局より応答を要求するための通知を CATV 局に送信
2. CATV 局において、
 - (a) 放送局の NE-ID 及び IP アドレスを取得し管理ファイルに記録
 - (b) 放送局との間で視聴者からの情報転送用にコネクションを確立
 - (c) 放送局からの通知を STB に転送
3. STB において、応答送信開始時刻、応答形式、アプリケーション ID、放送局の NE-ID を取得

ここで、NE(Network Element)-ID とは、放送局サーバ、CATV 局中継サーバ、視聴者 STB の機器を、それぞれを一意に識別するために付与される番号である。アプリケーション ID はクイズやアンケートなどの設問毎に割り振られる識別子である。視聴者からの回答を集計する際に、アプリケーション ID 毎に区分けて集計される。

STB から応答データを送信する場合の手順は以下の通りである。

1. STB において、
 - (a) 応答送信開始時刻が到来したら、テレビ画面に視聴者への指示内容が表示され、リモコンにより応答が入力される
 - (b) 入力された応答にアプリケーション ID、放送局の NE-ID、STB の NE-ID を付与した応答電文を CATV 局サーバに送信する
2. CATV 局において、
 - (a) 受信した応答電文を宛先放送局 NE-ID 別に整理してキューに蓄積する
 - (b) 上記キューから逐一応答電文を取出し情報転送用コネクション経由で送信
3. 放送局において、アプリケーション ID 毎に集計処理を実施

3章において、本方式の実験による評価結果を述べる。

2.2.2. 短パケット伝送による伝送効率低下対策

先で述べたコネクション集約型伝送により一つの応答データを送信するのに要する IP パケット長は、TCP/IP ヘッダが 40 バイト、セッションヘッダを例えば 40 バイト、応答データを 10 バイトとすると、90 バイトとなる。双方向番組において、あるクイズの設問に対し、STB において設問を表示してから 30 秒間だけ回答を受け付けるアプリケーションを想定する。このとき、例えば一つの CATV 局から 3 万件の応答データが放送局に転送された場合、TCP/IP ヘッダまで含めた総情報量として 2.7M バイトとなる。これらのデータが最初の 10 秒の間に集中して発生したとすると、必要な転送帯域は 2.16 Mbps となる。先に述べたように半分は TCP/IP ヘッダのため冗長な転送になっている

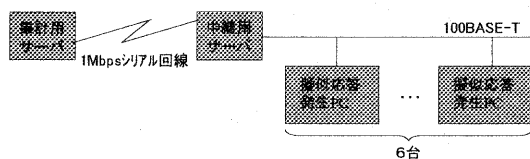


図6 コネクション集約型伝送実験構成

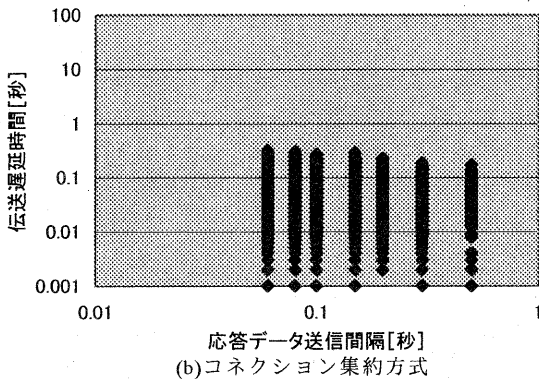
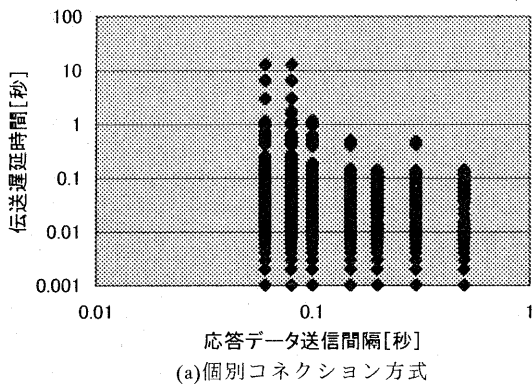


図7 伝送遅延時間の評価結果

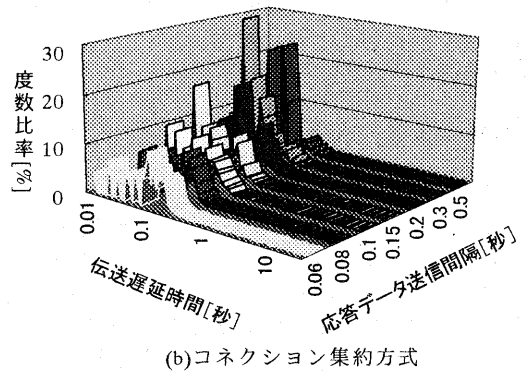
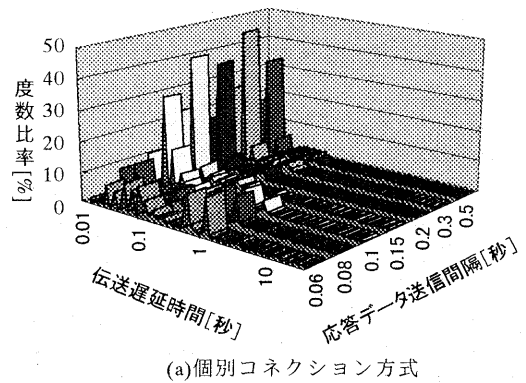


図8 伝送遅延時間に着目したときの測定データの度数分布

る。

そこで、CATV局でキューに蓄積された応答データに対して、複数のデータを一つのバケットでまとめて送ることにより、バケットの数を減らし冗長性を抑えることが可能となる。ただし、データリンク層プロトコルのMTUにより転送できる最大バケット長は制限される。例えば、イーサネットだとMTU 1500バイトのため、一つのIPバケットで1460バイト分の応答データを転送できる。先ほどの例で、3万件の応答データだと全部で1.5Mバイトとなる。これらは、 $1.5M / 1460 = 1027.3\cdots$ で、1028個のバケットに分割される。このとき、TCP/IPヘッダを含めた総情報量は、 $1.5M + 1028 * 40 = 1.54\cdots$ (Mバイト)となり、したがって必要な転送帯域は約1.2Mbpsとなり、帯域の節約を図ることが可能となる。

3. コネクション集約型伝送方式の実験評価

ここでは、2.2.1で述べたコネクション集約型伝送方式の評価実験結果について述べる。

3.1. 実験構成

図6に実験構成を示す。ここで、集計用サーバは応答要求の通知及び応答の集計を行うものであり、中継

用サーバは応答要求通知の擬似応答発生PCへの転送及び応答データの集計用サーバへの転送を行う。擬似応答発生PCは多数のSTBを模擬するもので、ある時間間隔毎に応答データを送信する。

集計用サーバ及び擬似応答発生PCで、それぞれ応答データ毎の送信時刻および受信時刻をログに記録し、伝送遅延時間を計測した。

6台の擬似応答発生PCにおいて、30秒間に発生する応答データの数を、1台当たり500, 400, 300, 200, 150, 100, 60と変えて実験を行った。応答データの送信間隔に換算すると、それぞれ約0.06, 0.08, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.5(秒)となる。先に述べたように、実際のサービスでは最初に応答が集中するが、実験では実験機器の処理能力限界のため、送信間隔を0.06秒以下にはできず、便宜上応答が30秒間に平均的に発生するモデルで評価した。

比較のため、応答データを個別のコネクションで直接、集計サーバに送信する実験も行った。

個別コネクション方式に対しコネクション集約方式の方が集計用サーバの処理負荷が軽減されることを実験的に評価するため、集計用サーバに一定のCPU擬

似負荷を与え、その負荷量を調整し個別コネクション方式で処理輻輳が起きるようにした。

3.2. 実験結果及び考察

図7に実験結果を示す。

図7(a)は擬似応答発生PCから放送局まで個別コネクションにより直接応答データを送信した場合である。

送信間隔が0.15秒以上では、1秒以下の遅延時間で伝送できるが、送信間隔が0.08秒以下になると、遅延時間が10秒を超えるデータも観測される。この状態での遅延時間の分布を見ると、1.5秒、3秒、6秒、12秒というように、TCPでの指数バックオフによるタイムアウト値を反映した離散的な分布となっており、サーバからのACKが遅延しトランザクション層での再送処理が頻発していることがわかる。

一方、コネクション集約方式ではサーバ輻輳による再送を表すデータは観測されておらず、安定的に低遅延で伝送可能であることがわかる。

図8は、図7の縦軸を均等に分割しその分割された一つ一つの範囲に含まれる測定データの個数をカウントしプロットしたものである。つまり、伝送遅延時間に着目したときの応答データの分布を示す。

図8(a)の個別コネクション方式では、送信間隔が0.06秒と0.08秒の場合は1秒前後の遅延時間で伝送されるものが最も多くなっていることがわかる。送信間隔0.1秒のときでも遅延時間1秒付近で分布のピークが認められる。また、送信間隔0.1秒以上では、多くのデータが数十ミリ秒程度の遅延時間で伝送されていることがグラフに示されている。

一方、図8(b)のコネクション集約方式では送信間隔が0.06秒以上のどの場合においても、最大で0.2~0.3秒程度の遅延時間で伝送できていることがわかる。ただ、図8(a)と図8(b)を比べた場合、送信間隔0.1秒以上の場合において、前者より後の方が分布が広がっていて、平均的には前者の方が特性がよくみえる。これは、CATV局中継サーバで応答データを整理蓄積するための処理を行うため、トータルの遅延時間として中継サーバでの処理時間が加わり遅延時間が増えたものと考えられる。

現実のサービスとして、データによって遅延時間に差が出てくると、到着の順番が前後し早押しクイズの順位判定が正しく行われないう可能性がある。そのため、応答データの情報としてタイムスタンプを付加し正しく順位判定を行えるようにする必要がある。

4. まとめ

本稿ではケーブルテレビ網を介したデジタル放送の提供において、視聴者応答データを放送局ヘインタ

ーネットにより送信する場合、効率的に送信でき伝送遅延時間の増加を抑えることが可能な方式について検討を行った。まず、送信の手続きが簡略で輻輳を起こしにくいプロトコルとして、UDP/IPを適用した場合に、上位プロトコルに要求される機能を明らかにした。次に、信頼性の高い通信が可能なプロトコルであるTCP/IPの適用を検討し、視聴者が直接放送局に応答データを送信する場合と、CATV局で中継して伝送する場合について擬似実験を行い、遅延時間の比較を行った。視聴者が直接放送局に応答データを送信する場合には、多数のコネクションの集中により放送局サーバの負荷が増大し、伝送遅延時間が著しく増大することが確認された。一方、CATV局で中継する場合は、CATV局でコネクションを終端してCATV—放送局間は一つのコネクションに集約して応答データを送信する。この場合には、放送局サーバの負荷が増大することがなく、安定して低遅延時間で応答データを送信可能であることが示された。

今後、UDP/IPについての評価を行っていく予定である。

文 献

- [1] BS/広帯域 CS デジタル放送運用規定技術資料 ARIB TR-B15 2.0 版 (差替版) (第三分冊), (社) 電波産業会, 2001.
- [2] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobson, RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications, RFC1889, Jan. 1996.
- [3] R. Braden, Extending TCP for Transactions - Concepts, RFC1379, Nov. 1992.
- [4] C. Perkins, O. Hodson, Options for Repair of Streaming Media, RFC2354, Jun. 1998.
- [5] D. Leon, V. Varsa, RTP retransmission framework, [Online] <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-avt-rtp-retransmission-02.txt>, June 2002