

放送型ネットワークにおける通信エラーの対処方式

鈴木 健[†] アフマドルリィ[†]
辻 順一郎^{††} 岡田 謙一[†]

我々は、通信と放送を融合したネットワークにおけるマルチメディアシステムの構築技術に関する研究を行っている。地上波テレビ放送、衛星放送等のデジタル化にともない、これまでのテレビ放送とコンピュータの融合が進展することが予想される。そのような状況のもとでは放送ネットワークにおける通信エラーはこれまで以上に大きな問題となっていく。現在の放送ネットワークにおける通信エラーへの対処としては同じデータを繰り返し放送する手法が主流であるが、今後の放送データの増加にともない新たな通信エラーへの対処方式の開発が必要である。本稿では、基本的に一方向の通信である放送ネットワークとは別個に双方向通信路を設け、通信エラーを検出したクライアント端末が能動的に通信エラーを起こしたデータを獲得にいくような通信エラー対処方式について提案し、実験とシミュレーションにより評価する。

Error Correction Mechanism Using Proxy Broadcasting Network

TAKESHI SUZUKI,[†] ACHMAD RULLY,[†] JUNICHIRO TSUJI^{††}
and KENICHI OKADA[†]

We are now investigating the technology for constructing multimedia system on the integrated communication/broadcasting network. Recently, with the progress of Digital Broadcasting Network, integration of broadcasting network and computer network will become more popular. In such environment, transfer error recovering will become more important. In this report, we will propose new method for transfer error recovering on broadcasting network, in which terminal of broadcasting network will recognize the transfer error, and it will require the correct data to server through computer network. And we will evaluate this system using experiment and simulation.

1. はじめに

近年、衛星デジタル放送や地上波テレビ放送における垂直帰線期間 (VBI) を用いたデータ放送等、テレビ放送のデジタル化が進み、地上波デジタルデータ放送の近い将来の実現が現実視されてきている。

現在のテレビ放送においては、ビデオ/音声といった連続ストリームデータが中心であり、放送ネットワークにおいて通信エラーが発生した場合にも多少動画画像が乱れたり、音声に雑音が混じる程度であり、それほど大きな問題にはならない。しかし、将来的に放送

データの中にデジタルデータが含まれるようになると放送ネットワークにおける通信エラーへの対処が大きな問題となることが容易に予測される。たとえば、現在の VBI を利用した地上波データ放送においては、HTML 形式のデータが配布されているが、通信エラーへの対処は行われておらず、通信エラーが発生した際には、該当するデータを閲覧することができなくなる。画像データのように末端のデータが通信エラーを起こした場合には、その画像が見られない程度の障害ですむが、HTML の先頭ページのデータにおいて通信エラーが発生した場合にはそのページから派生するすべてのページに対するアクセス手段が奪われて、実際には正しく受信したデータも閲覧できないという事態が発生することとなる。現在の放送内容は、リアルタイムに生成されるデータはほとんどなく、同じデータを繰り返し放送しているためそれほど大きな問題とはなっていないが、リアルタイムのデータが随時放送されるようになると通信エラーへの対処は必須となる。

[†] 慶應義塾大学理工学部

Faculty of Science and Technology, Keio University

^{††} 通信・放送機構新川崎リサーチセンター

Telecommunications Advancement Organization of Japan Shin-Kawasaki Research Center

現在、早稲田大学国際情報通信研究所

Presently with Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University

現在、放送ネットワークにおける通信エラーへの対処方式としては、同じデータを周期的に繰り返し放送するという方法が一般的にとられているが^{1),3)}、この方法では、放送ネットワークにおけるデータ転送量は各データを繰り返して放送する回数に反比例して低下し、また、放送データ量が増加するにつれて通信エラー発生時の次のデータ放送周期までの遅延も大きくなる。さらに、気象状況等の要因により電波状況が悪くなった場合には、数回の繰返しでは正しくデータを獲得できないクライアントが発生することも予想される。したがって、このような通信エラー対処方式は、株価情報や気象情報、交通情報等の少量のデータがつねに繰り返し放送されるような限られた用途に対しては有効ではあるが、TBS のビットキャスト等の一般のデータ放送には向いているとはいえない。

また、他の方法として、通信エラーを検出したクライアント端末が通信エラーにより破壊されたデータの識別子を放送ネットワークとは別個に設けた双方向通信路を介して放送サーバに送り、放送サーバは同時に通信エラーの報告が多数通知されたデータを優先的に再放送するという手法がある¹²⁾。しかし、この方法では、一部のクライアントのみに対して通信エラーが発生したデータに関しては再放送されず、また一定数の通信エラー報告が放送サーバに通知されてから放送サーバが放送スケジュールを調整して再放送を行うために、再放送までの遅延が大きくなるという問題がある。

そこで、我々は放送ネットワークにおける通信エラーへの対処として、放送ネットワークとは別個に設けた双方向通信路を利用して通信エラーを検出したクライアントが能動的に双方向通信路を介して正しいデータを獲得する方法を提案し、実際のプロキシサーバを用いた実験による評価とシミュレーションによる評価を行い、有効性を確かめた。

2章において、放送型ネットワークにおける通信エラーの対処方式について提案する。3章で、実際のプロキシサーバを用いた評価について述べ、4章で、シミュレーションによる評価について述べる。最後に5章で本稿をまとめる。

2. 放送型ネットワークにおける通信エラーの対処方式

我々はインターネットにおけるWEBアクセスに注目し、クライアント端末が希望のデータをサーバに要求し、サーバ側がその要求に応じてデータを返送するという機構に着目した。WEBアクセスにおいては、

多数のクライアントがURLで指定するサーバに対してデータを要求し、サーバがその応答としてデータを配送する。さらに、データ転送を高速化するために、プロキシサーバを設け、そのプロキシサーバにキャッシュされているデータに関してはプロキシサーバが応答を返す。また、データ転送速度が遅い移動体端末を用いるモバイル環境に対しては、プロキシサーバにおいてデータの圧縮・メディア変換を行うことによりデータ量を削減し、見かけ上の通信路のデータ転送速度を向上させる試みも各所でなされている^{9),10),13)}。ここでメディア変換とは、データ量の大きなマルチメディア情報に対して、フォーマット変換等で大幅にデータ量を削減する処理を指す。

放送型ネットワークにおける通信エラーへの対処としても、通信エラーが発生したデータの識別子をサーバ側に要求することによって、クライアント端末が当該データを能動的に獲得しにいく手法が考えられる。これにより、少数のクライアントにおいて通信エラーを起こした場合にも、放送ネットワークの負荷を増加させることなく当該データを獲得することが可能となる。また、放送ネットワークにおいてはクライアント数が非常に多くなることに関しては、ある一定のクライアントごとにWEBアクセスにおけるプロキシに相当するプロキシサーバを地域毎等に配置することにより解決することが可能となる。

放送型ネットワークにおいて放送されるデータとしては、ストリーム系のデータ(動画像や音声)とそれ以外のデータ(テキストや静止画像)に分類される。我々はストリーム系のデータについては、ユーザが視聴するうえで、そのデータに多少のエラーが生じても動画像の乱れや雑音として無視できるものと考え、それ以外のデータに関する通信エラーに対して対処するものと想定する。テキストに関しては、データ量が小さいためメディア変換は必要ないと考えられ、再送が必要なデータのうちデータ量の大きな静止画像については、メディア変換を用いることによってデータ量を削減でき、全体として再送データ量を大幅に削減できるものと思われる。

図1に、本方式の構成概念図を示す^{5),11)}。中央の放送局に放送するデータを蓄積した放送サーバを設置し、その内容を順次放送ネットワークを介して多数のクライアント端末に配布する。また、放送サーバに蓄積したデータを、一定のクライアントごとに設置したプロキシサーバに送付し蓄積する。このプロキシサーバは、たとえば、地域ごとに設置されているCATV会社等に設置するものであり、その地域の各クライア

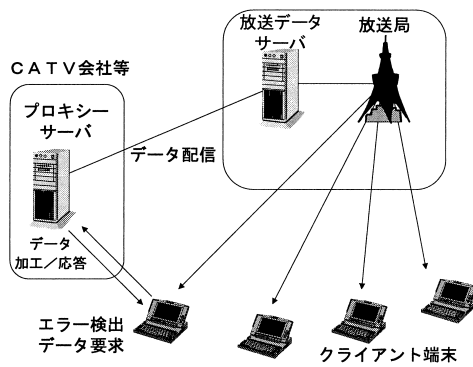


図1 概念図

Fig. 1 System image.

ントと双方向通信路を介して接続する．これにより，各クライアント端末は，放送サーバと放送ネットワークを介して接続されるとともに，放送ネットワークとは別個に設けられた双方向通信路を介して，プロキシサーバ経由で放送サーバと接続される形態をとる．この双方向通信路は，家庭等の固定されたクライアント環境においては一般の公衆電話回線やCATV会社のケーブルネットワーク等を用い，モバイル環境においては，PHSや携帯電話等の移動体通信を用いる．クライアント端末との双方向通信路が移動体通信のように，データ転送速度の遅い回線である場合は，クライアント端末とプロキシサーバ間のデータの転送を高速化するために，放送データを圧縮処理あるいは，メディア変換を行って，データ量を削減した形で蓄積する．この圧縮およびメディア変換に関しては，WEBアクセスにおいて，モバイル環境におけるマルチメディアアクセスを高速化するための手法^{9),10),13)}を利用する．

通常の放送時は，放送サーバが放送ネットワークを通じてデータを配布している．各クライアント端末は，データが正しく受信されたか否かをチェックするとともに，受信したデータを順次，表示していく．何らかの外的要因により，放送ネットワークにおいて通信エラーが発生すると，クライアント端末はその通信エラーを検出して，放送ネットワークとは別個に設けられた双方向通信路を介してプロキシサーバに該当するデータの獲得要求を発行する．プロキシサーバにおいては，各クライアント端末からのデータ獲得要求を受信すると，あらかじめ蓄積されている該当データを双方向通信路を介して，クライアント端末に応答として転送する．

以上のことより，1章で述べた2つの方式（同じデータを周期的に繰り返し放送するという方式と，通信エラーを検出したクライアント端末が放送サーバに通信

エラー通知して多数通知されたデータを優先的に再放送するという方式）と比較して，提案する放送型ネットワークにおけるプロキシサーバを用いた通信エラーの対処方式の利点と欠点について考えてみる．

本方式の利点は以下の2つが考えられる．

- 少数のクライアントでの受信エラーに確実に対応できること
- 放送ネットワークの帯域を圧迫しないこと

第1の利点は，1章で述べた2つの方式では，すべてのクライアントが確実にデータを取得できることを保証できなかったのに対して，本方式では通信エラーを検出したクライアントが能動的に双方向通信路を介してデータを取りに行くことによって，確実にすべてのクライアントがデータを取得できることである．第2の利点は，前述の2つの方式では，放送を繰り返して通信エラーに対処していたのに対して，本方式では通信エラーの対処に放送を使用しないので，放送は最初の1回のみであるため，放送ネットワークの帯域を圧迫しないことである．

また本方式の欠点も以下の2つが考えられる．

- 通信エラーの対処に双方向通信路を使用するため，通信コストが必要となること
- 多数のクライアントで同時に受信エラーを起こしたときにプロキシサーバへのデータ獲得要求が集中して応答が遅れる可能性があること

第1の欠点は，通信エラーの対処に双方向通信路を使用することによって，1章で述べた2つの方式では必要としなかった通信コストが必要となることである．しかしながら，今後通信インフラの整備が進むことによって，光ファイバやADSL等による定額料金でのインターネットへの常時接続サービスが普及していくものと思われる．そのため，本方式を用いることによる付加的なコストは発生しないものと考えられる．第2の欠点は，放送時に気象状況等の要因により電波状態が悪かった場合に，多数のクライアントが同時に受信エラーを起こし，プロキシサーバにデータ獲得要求が集中し，クライアントへの応答が遅れる可能性があることである．

以上のことより，第2の欠点が問題となると考えられる．そこで，我々は，本方式が有効であることを確かめるために，プロキシサーバに多数のクライアントから同時にデータ獲得要求が集中したときの，プロキシサーバの応答性能に関する評価を行った^{4),6)~8)}．

3. 実際のプロキシサーバを用いた評価

単発のエラーに対するプロキシサーバの応答特性の

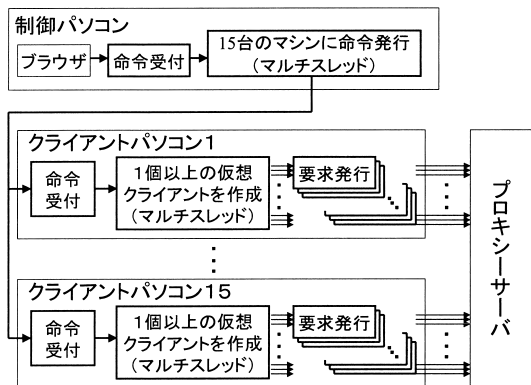


図2 評価システム構成
Fig.2 Evaluation system.

評価のために実際のプロキシサーバを用いた評価を行った。

3.1 評価システムの構成

実際に数百台のクライアント端末を用意して実験を行うことは物理的に不可能であるので、プロキシサーバに対して擬似的に数百台分の要求をほぼ同時にさせるような評価システムを開発した。評価システムの実装環境は以下のとおりである。OSはプロキシサーバがWindows-NT Server4.0, クライアントがWindows95であり、プロキシサーバとハブを100BASE-TXで、クライアントとハブを10BASE-Tでつないだ。また、図2に評価システムの構成を示す。

評価システムはブラウザを含む制御パソコン1台、クライアントパソコン15台、プロキシサーバ1台から構成される。制御パソコン上のブラウザから命令を発行する。ブラウザからの命令をマルチスレッド機能を用いて15台のクライアントパソコンに送信する。各クライアントパソコンでは制御パソコンからの命令を受け付け、マルチスレッド機能を用いて1個以上の仮想クライアントを作成する。作成された仮想クライアントがそれぞれプロキシサーバに対して要求を発行する。仮想クライアントには、プロキシサーバに要求を発行してから要求が帰ってくるまでの時間を測定する機能を付与した。また、クライアントパソコンのハードウェアの性能の差が実験結果に影響しないように、クライアントパソコンごとに作成される仮想クライアントの数が等しくなるようにした。そして、各クライアントパソコンでの仮想クライアントを作成する数を変化させることにより、プロキシサーバへの同時要求の数を変化させ、プロキシサーバの応答特性を評価した。

このような構成をとることにより、実際の測定にお

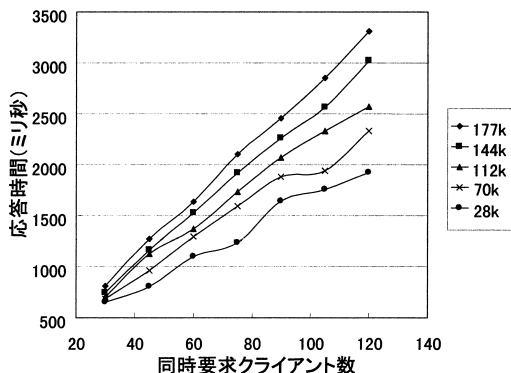


図3 オリジナル画像取得時の応答時間
Fig.3 Response time for original image.

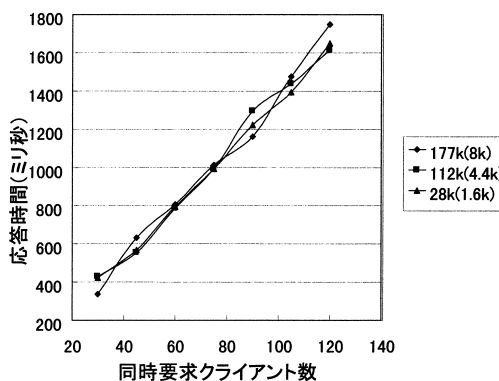


図4 メディア変換済の画像取得時の応答時間
Fig.4 Response time for media transformed image.

いて数百台からの要求を0.1秒以内に発行できていることを確認した。図3, 図4に示す実験結果を見ると、30台のクライアントからの同時要求に対して、少なくとも0.4秒の応答時間がかかっている。つまり、クライアントへの応答が完了する前にすべての要求がプロキシサーバに到達しているため、各クライアントからの要求の同時性が保たれているといえる。

また、プロキシサーバには、キャッシュデータとしてWEBサーバからの応答を蓄積する機能と静止画情報の品質を低下させてデータ量を削減するメディア変換機能を付与した自作の評価用プロキシサーバを用いた。メディア変換の目的は、データ量を削減することによって、クライアントに低品質な画像で我慢してもらう代わりに、データ転送時間を削減することである。これは、クライアントが受信エラーを検知した場合には、できる限り速い応答が望まれるため、静止画は低品質なものでも大まかなイメージがつかめるので、低品質の画像でもよいと考え、代わりに応答時間を削減するものである。これにより、クライアントからのデータ獲得要求に対して、そのままオリジナル画

像を返信する、メディア変換した画像をキャッシュしておきそれを返信する、という2種類の応答方法を持たせた。

3.2 実験結果

図3にオリジナル画像を返信する場合の実験結果を示す。28Kバイトから177Kバイトの各種サイズを持つ5つのJPEGファイルについて、それぞれ30個から120個のクライアントから同時に要求する場合の応答時間を測定した。ここで応答時間とは、クライアントがプロキシサーバに要求を送信してから要求したデータを受信し終えるまでの時間である。それぞれ10回測定し、その平均を応答時間とした。各サイズとも台数の増加に比例して応答時間が増加している。

次に、放送にさきがけてプロキシサーバにデータが配送された時点でメディア変換を行ってプロキシサーバのキャッシュ上に保存し、各クライアントに対してキャッシュ上に保存されたメディア変換後のデータを返信する場合の実験を行った。このとき、プロキシサーバではデータ量の95%を削減して元のデータ量の5%になるようにメディア変換してキャッシュに保存した。

図4にキャッシュにあるメディア変換済の画像を返信する場合の実験結果を示す。各サイズとも台数の増加に比例して応答時間が増加していることから、プロキシサーバの動作としてはデータサイズの小さなオリジナル画像の返信するのと同じであるといえる。クライアント数120、177Kバイトのとき、約2秒弱の応答時間となっているので、メディア変換を行わない場合に比べて応答時間が約半分弱になっているといえる。これは、データサイズが元の5%になることにより、実質上約8Kバイトのオリジナル画像を取得することになるため、データの送信にかかる時間が減少したからである。

3.3 考察

実験結果より、1台のプロキシサーバにおいて100台規模のクライアントからの同時データ要求に対して、平均として3秒強の範囲内で応答が可能であることを確認した。また、100Kバイト以下のサイズのデータに対しては100台規模の同時要求に対しても、平均として2秒強での応答が確認できており、100Kバイト以上のデータサイズを持つデータに対しては100Kバイト以内のサイズに収まるようなデータのブロック化を施すことにより、さらに高速な応答が可能であると考えられる。

また、メディア変換処理を本システムにおけるプロキシサーバに適用し、放送サーバから配信されるマルチメディア情報にメディア変換処理を行った結果とし

てのデータをキャッシュに蓄えることにより、応答時間を大幅に短縮することが可能であることを確認した。メディア変換処理を用いることにより、より効果的な放送ネットワークにおける通信エラーへの対処を実現することができる。

以上のことより、多数のクライアントで同時に受信エラーを起こしたときにプロキシサーバへのデータ獲得要求が集中し応答が遅れる可能性があるという本方式の欠点に対して、実験によって十分高速に応答ができることが確認できた。よって、本方式は少数のクライアントでの受信エラーに確実に対応でき、放送ネットワークの帯域を圧迫しないので、繰返し放送等、1章で述べた2つの方式と比較して優れた方式である。

4. シミュレーションによる評価

前章では、100台規模のクライアントからの同時要求に対するプロキシサーバの応答特性に関して、実際のプロキシサーバを用いた評価を行った。このとき、単一のエラーにおける各クライアントからの要求に対するプロキシサーバの応答時間を計測した。

ここで、地域ごとにCATV会社等の拠点にプロキシサーバを配置した場合を考えると、地域内におけるクライアント数はかなりの数になることが予想される。平成9年度末現在で、自主放送を行うCATV会社は720社でその加入契約数は672万であり、平均して1社あたり約10,000の契約数となっている¹⁴⁾。データ放送の視聴率を考慮しても、数百から数千のクライアントからの同時要求に対処する必要があると思われる。

しかしながら、数百から数千のクライアントからの同時要求に対する本システムの評価を実環境で実験によって行うことは困難である。そこで、大規模な放送ネットワークにおける本システムの評価を行うためにシミュレーションシステムを構築して評価を行うこととした。

また、実際の放送システムでは、無線通信路の信頼性が有線通信路に比較して格段に劣ることから、通信エラーは間欠的に発生し、プロキシサーバの応答特性がより大規模な放送システムにおけるクライアント数に対して十分でない場合には、前のエラーに対する応答処理の遅延が、次のエラーに対する応答処理に影響することが考えられる。そこで、より現実的な状況を想定するために、シミュレーションによる大規模システムの評価においては、無線通信路のビット誤り率を勘案して、周期的にエラーが発生するような状況を仮定した評価を行うこととした。

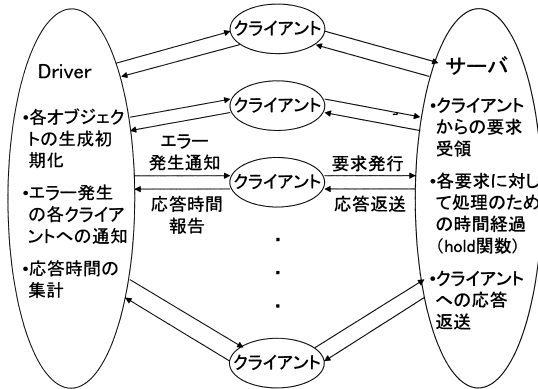


図5 オブジェクト構成

Fig. 5 Structure of simulation object.

シミュレーションシステムの構築にあたっては、カリフォルニア大学ロサンゼルス校 (UCLA) で開発された、オブジェクト指向に基づくシミュレーションシステムである Parsec システム²⁾を用い、数千台規模までのクライアントからの同時要求に対するプロキシサーバの応答特性を評価した。

4.1 シミュレーションシステムの構成

図5に、本評価におけるシミュレーションシステムのオブジェクト構成を示す。

Driver オブジェクトは、1つのサーバオブジェクトと、同時要求を発行するだけの数のクライアントオブジェクトを生成し、クライアントとサーバの通信路の設定を行う。また、無線通信路におけるエラー率に基づいて設定した各エラーの発生時刻に従って、各クライアントオブジェクトにエラーの発生を通知するメッセージを送付する。また、各クライアントからの応答時間の報告メッセージを受け取って、その平均値を記録する。

サーバオブジェクトはプロキシサーバを表すオブジェクトであり、各クライアントからの要求メッセージを受け取り、hold 関数を用いて各要求に対する処理時間の経過後、各クライアントに対して応答メッセージを返送する。各要求に対するプロキシサーバにおける処理時間は、実験による評価において計測した同時要求の際の応答時間をもとに設定した。

各クライアントオブジェクトは、1つの仮想的なユーザごとに作成し、Driver オブジェクトからのエラー発生通知に従ってサーバオブジェクトに要求メッセージを送付する。サーバからの応答メッセージを受け取ることにより、要求発行から応答受領までの応答時間を測定し、その結果を Driver オブジェクトに通知する。

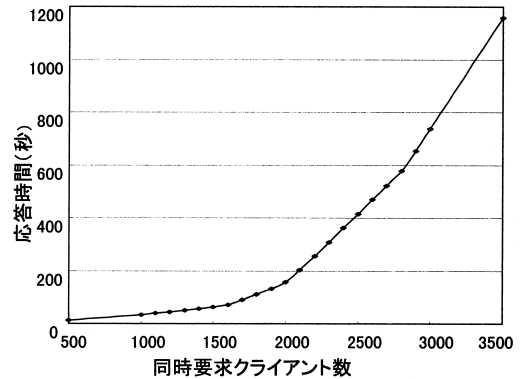


図6 エラー発生間隔平均80秒 (指数分布) の応答時間

Fig. 6 Response time for error interval of 80 seconds (exponential distribution).

4.2 シミュレーション結果

シミュレーションにおいて、放送ネットワークで送られるデータのサイズは100 K バイト単位とし、それらのデータをクライアントから要求した際のサーバにおける処理時間を平均40ミリ秒とし、乱数を用いて前後10%の揺らぎを与えることとした。この40ミリ秒という値は、前章で述べた実験の100 K バイトのデータに対する平均応答時間から求めたものであるが、実際には、応答時間にはネットワークにおける伝送遅延等が加算されるため、プロキシサーバにおける1要求あたりの処理時間はそれより低い値が予想される。また、プロキシサーバにおける処理時間の揺らぎに関しては、プロキシサーバの負荷等の要因で各要求に対する処理時間に揺らぎが出ることを想定したものであり、前章における実験における複数回の計測の中での応答時間の揺らぎをもとに前後10%とした。

また、シミュレーション上での経過時間は1時間とし、エラー間隔を2秒から350秒の間で指数分布に従うようにエラーを発生させ、平均エラー発生間隔が80秒となるような状況でのシミュレーションを行い、その応答時間の平均を求めた。このように指数分布に従うようにエラーを発生させたのは、現実的な状況ではエラーは偶発的に発生するので、現実的な状況を想定してシミュレーションを行うためである。図6にシミュレーションの結果を示す。

4.3 考察

図6に示されるように、平均エラー発生間隔80秒のとき約2,000台を境として、同時要求クライアント数の増加に対して、応答時間が急激に増加している。プロキシサーバにおいてクライアントからのデータ要求に対する応答処理を行ううえで、クライアント数が増加するにつれ、単一のエラーに対するすべての処理を

終了するまでの時間が増加していくのであるが、その単一のエラーに対する応答処理が終了する前に次のエラーが発生する状況が起こり、そのために次のエラーのための応答処理の開始が遅れ、その遅延が次々と蓄積していくことにより、応答時間が急激に増加してしまうことを表している。

また、図6において同時要求クライアント数が2,000台を超えた後も応答時間が逡増しているのは、シミュレーション上での経過時間を1時間と区切ったからであり、経過時間を区切らなかった場合、エラーに対する応答処理の遅延が蓄積されていくので、発散してしまうと考えられる。

ここで、応答時間が急激に悪化する同時要求クライアント数、つまり限界クライアント数とそのときの応答時間は、理論的に以下の式で導くことができる。ただし、シミュレーションではエラーが指数分布に従って発生していたが、モデルを簡略化するため、エラーは等間隔で発生するものとする。

$$\text{限界クライアント数} = \frac{\text{エラー発生間隔}}{\text{処理時間}} \quad (1)$$

$$\text{応答時間} = \frac{\text{同時要求クライアント数} \times \text{処理時間}}{2} \quad (2)$$

エラー発生間隔80秒を上記の式にあてはめると、 $80 \div 0.04 = 2,000$ 台、 $2,000 \times 0.04 \div 2 = 40$ 秒となる。図6では同時要求クライアント数が2,000のときの応答時間は約180秒となっており、理論的に導いた値と大きく異なっている。これは、上記の式がエラーが等間隔で発生するものと仮定しているのに対し、シミュレーションでは、エラー発生間隔平均80秒でも、エラーを指数分布に従って発生させているため、エラー間隔が80秒より小さいことがあり、そのようなエラーが応答時間に影響を及ぼしているものと考えられる。このように、指数分布に従ってエラーが発生する現実的な状況では、エラー発生間隔を固定した上記の式から求められる値より、その応答性能は悪くなることが分かった。

上記の式よりエラー発生間隔を変化させた場合の限界クライアント数とそのときの応答時間を表1に示す。ここで、本システムでの応答時間にある限界を定めた場合を考える。

たとえば、応答時間に10秒という限界を定めると、表1より、エラー発生間隔が8秒~20秒の場合、限界クライアント数における応答時間は10秒以下である。このため、この応答時間を超えた場合、応答時間は発散してしまうので、10秒以下の応答時間で1つ

表1 エラー発生間隔と限界クライアント数と応答時間の関係
Table 1 Relation between error interval, number of client and response time.

エラー発生間隔 (秒)	限界クライアント数 (台)	応答時間 (秒)
8	200	4
10	250	5
15	375	7.5
20	500	10
40	1,000	20
80	2,000	40

のプロキシサーバにおいて処理しうる同時要求クライアント数は、限界クライアント数と同じとなり200台~500台である。また、エラー発生間隔が20秒~80秒の場合、限界クライアント数における応答時間が10秒以上になっているので、10秒以内で1つのプロキシサーバにおいて処理しうる同時要求クライアント数は、限界クライアント数まではいかず、約500台に限定される。

つまり、応答時間にある限界を定めた場合、放送ネットワークにおける通信エラーへの対処として1つのプロキシサーバにおいて処理しうる同時要求クライアント数の限度は、エラーが頻繁に発生するような状況においてはエラーの発生間隔が問題となる。また、エラーがあまり起こらない状況においては、1つのエラーに対するプロキシサーバの応答処理の負荷が問題となる。

したがって、広域放送ネットワークにおいては、実際のエラーの平均発生間隔と1つのエラーに対するプロキシサーバの応答性能を考慮して、複数のプロキシサーバを適切に配置して、プロキシサーバの負荷分散を図ることが必要となる。この問題に関しては、本方式を実際に適用する際の課題として今後検討していきたい。

5. おわりに

本稿では放送ネットワークにおけるプロキシサーバを用いた通信エラーの対処法について提案し、実際のプロキシサーバを用いた実験とシミュレーションにより評価を行った。

実際のプロキシサーバを用いた実験より、1台のプロキシサーバにおいて100台規模のクライアントからの同時データ要求に対して、平均して3秒強の範囲内で応答が可能であることを確認した。また、プロキシサーバにおいてメディア変換処理を適用することにより、応答時間を大幅に短縮することが可能であることを確認した。

また、シミュレーションより、1つのプロキシサーバにおいて処理する同時要求クライアント数の限度は、エラーが頻繁に発生するような状況においてはエラーの発生間隔が問題となることが分かった。反対に、エラーがあまり起こらない状況においては、1つのエラーに対するプロキシサーバの応答処理の負荷が問題となることを確認した。

以上のように、実験とシミュレーションにより、プロキシサーバへのデータ獲得要求が集中し応答が遅れる可能性があるという本方式の欠点に対して、十分高速に応答ができることが確認できた。よって、本稿で提案する放送型ネットワークにおけるプロキシサーバを用いた通信エラーへの対処方式は、少数のクライアントでの受信エラーに確実に対応でき、放送ネットワークの帯域を圧迫しないので、繰返し放送等の方式と比較して有効である。

本方式は、エラー発生間隔とプロキシサーバの応答性能を考慮して、複数のプロキシサーバを適切に配置し、負荷分散を図ることによって、BS デジタル放送および地上波デジタル放送におけるデータ放送において有効なシステムであることを確信している。

参 考 文 献

- 1) Acharya, S., Alonso, R., Franklin, M. and Zdonik, S.: *Broadcast Disks: Data Management for Asymmetric Communication environments*, chapter 12, pp.331-362, Kluwer Academic Publishers (1996).
- 2) Bagrodia, R., Meyer, R., Takai, M., Chen, Y., Zeng, X., Martin, J., Park, B. and Song, H.: *Parsec: A Parallel Simulation Environment for Complex Systems*, *Computer*, Vol.31, No.10, pp.77-85 (1998).
- 3) Imielinski, T. and Viswanathan, S.: *Wireless Publishing: Issues and Solutions*, chapter 11, pp.299-330, Kluwer Academic Publishers (1996).
- 4) Rully, A., Suzuki, T., Okada, K. and Tsuji, J.: Error correction mechanism on broadcasting network — Evaluation using simulation, 情報処理学会第 60 回全国大会, No.3, pp.397-398 (2000).
- 5) Tsuji, J., Sato, F. and Mizuno, T.: Proposal for transfer error recovering on broadcasting network, *Proc. 1999 ICPP Workshops on Collaboration and Mobile Computing (CMC'99)*, pp.126-130 (2000).
- 6) Tsuji, J., Suzuki, T. and Okada, K.: Transfer error recovering for broadcasting network, *Proc. IASTED International Conference Parallel and Distributed Computing and Systems*, Vol.2, pp.761-767 (2000).
- 7) 鈴木 健, アフマドルリィ, 岡田謙一, 辻順一郎: 放送型ネットワークにおける通信エラーの対処方式—実プロキシを用いた評価, 情報処理学会第 60 回全国大会, No.3, pp.395-396 (2000).
- 8) 鈴木 健, アフマドルリィ, 岡田謙一, 辻順一郎: 放送型ネットワークにおける通信エラーの対処方式の評価, 情報処理学会研究報告(グループウェア研究会), Vol.2000, No.26, pp.107-112 (2000).
- 9) 辻順一郎, 小津浩直, 三浦敦史, 滝沢直樹, 水野忠則: モバイルプロキシサーバシステムの試作, 情報処理学会研究報告(モバイルコンピューティング研究会), Vol.97, No.72, pp.67-72 (1997).
- 10) 辻順一郎, 青野正宏, 佐藤文明, 水野忠則: WWW 向けモバイルプロキシサーバの開発, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.5, pp.2478-2486 (1999).
- 11) 辻順一郎, 水野忠則, 佐藤文明: 放送型ネットワークにおける通信エラーの対処方式の提案, 情報処理学会研究報告(モバイルコンピューティング研究会), Vol.99, No.13, pp.71-77 (1999).
- 12) 河村真一, 久野琢磨: 情報伝送方式及びシステムと, 該システムに用いるホスト装置及び端末装置 (1998). 公開特許公報(特開平 10-243372).
- 13) 伊東直子, 立川恆央, 中川好久, 水越康博: 携帯端末向けの WWW ページ変換—SmartProxy (1997). <http://pochi.nwsl.mesh.ad.jp/nwsl/papers/09732/>
- 14) 郵政省: 平成 11 年版通信白書 (1999).

(平成 13 年 5 月 29 日受付)

(平成 13 年 11 月 14 日採録)



鈴木 健 (学生会員)

1977 年生。2000 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在、同大学大学院工学研究科開放環境科学専攻情報通信メディア工学専修に在学中。放送コンピューティングの研

究に従事。



アフマド ルリィ(学生会員)

1974年生。2000年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在、早稲田大学国際情報通信研究科情報通信システム専攻に在学中。次世代ネットワークの研究に従事。ACM,

IEEE 各学生会員。



辻 順一郎(正会員)

1955年生。1981年慶應義塾大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。2000年静岡大学大学院理工学研究科設計科学専攻博士課程後期修了。

1997年より通信・放送機構新川崎リサーチセンターに出向し現在に至る。ユーザインタフェースシステム、モバイルマルチメディアシステムに関する研究に興味を持つ。ACM会員。博士(工学)。



岡田 謙一(正会員)

慶應義塾大学理工学部情報工学科助教授、工学博士。専門は、CSCW、グループウェア、コンピュータ・ヒューマン・インタラクション! コラボレーションとコミュニケーション」

(共立出版)をはじめ著書多数。学会誌編集主査、論文誌編集主査、GW研究会主査等を歴任。現在、GN研究会運営委員、BCC研究グループ幹事、日本VR学会仮想都市研究会副委員長、電子情報通信学会論文誌編集委員。IEEE、ACM、電子情報通信学会、人工知能学会各会員。1995年度情報処理学会論文賞、情報処理学会40周年記念論文賞、2000年度情報処理学会論文賞受賞。