

RTP パケット消失の報告間隔のランダム性を利用した バーストエラー規模の推定

是津 達也[†] 秋元 智[†] 斉藤 龍則[†] 渡辺 栄一[†]

[†]株式会社東芝コアテクノロジーセンター 〒198-8710 東京都青梅市末広町 2-9

E-mail: [†]{tatsuya.zettsu, satoshi.akimoto, tatsunori.saito, eiichi.watanabe}@toshiba.co.jp

あらまし 映像音声など同期した複数の RTP(the real-time transport protocol)ストリームを同一の伝送路上で送信する場合に、映像音声について連続するパケット消失(バーストエラー)が同時に発生する。RTP では各ストリームについて一定時間帯に消失したパケット数が受信側から報告されるが、報告間隔はランダムであり、各 RTP ストリームで同期していない。そのため全 RTP ストリームについて、パケット消失の発生した時間帯の重複部分に着目することにより、バーストエラーの発生時刻を絞込み、規模の過大推定を抑制することが可能である。

キーワード RTP, RTCP, 受信報告, バーストエラー, 報告間隔

Estimation of a RTP burst error length based on random interval of packet loss reports

Tatsuya ZETTSU[†] Satoshi AKIMOTO[†] Tatsunori SAITO[†] and Eiichi WATANABE[†]

[†] Core Technology Center, Toshiba Corporation 2-9 Suehiro-cho, Ome-shi, Tokyo, 198-8710 Japan

E-mail: [†]{tatsuya.zettsu, satoshi.akimoto, tatsunori.saito, eiichi.watanabe}@toshiba.co.jp

Abstract A consecutive packet loss (burst error) may happen in a RTP (the real-time transport protocol) stream and estimation of a burst error length in a sender is important for transmission control. When multiple packet streams such as audio and video are transmitted on a path, burst errors of the streams happen simultaneously. A RTP stream receiver reports packet losses with random interval and respective timing for each stream. We exploit the feature of the RTP packet loss reports and focus on an overlap of the reports for the audio and video stream. In our method it is possible to narrow a period at which a burst error happens and to decrease overestimation of its length.

Keyword RTP, RTCP, receiver report, burst error, interval of report

1. はじめに

インターネット技術を使用した映像音声の配信が近年広く利用されている。PC においてはインターネット上のサーバから映像音声をストリーミング配信するサービスが行われている。RealPlayer や QuickTime など一部のソフトウェアにおいては、映像音声の配信プロトコルとして、標準規格である RTP (the Real-time Transport Protocol)[1]が採用されている。

RTP においては、フレーム単位で符号化された映像音声ストリームを一定サイズの RTP パケットに分割または併合し、時刻情報を付加して送信する。RTP ではストリーム制御用のプロトコルとして RTCP(the RTP Control Protocol)を規定しており、RTP パケットの受信側は送信側に対して、RTCP パケットの一種である RR(Receiver Report)パケットを送信することによって受信状況を報告する。

有線だけでなく無線においても映像音声のストリーミング配信が行われている。無線 LAN(802.11)は PC を

中心として利用が急速に広まっており、最近の PC では家庭内に LAN(Local Area Network)を構築して映像音声のストリーミング再生を行う機能が搭載されている製品がある。携帯電話においても映像音声のストリーミング配信が検討されている。3G-PP(3rd Generation Partnership Project)では、RTP を基盤とする映像音声配信が規格化され、現在も追加拡張が審議中である[2]。

無線上で映像音声のストリーミングを行った場合は、イーサネットなどの有線よりもエラーによるパケット消失が発生しやすいと考えられる。例えば無線 LAN を屋内で使用する場合は、壁などの障害物による電波の反射吸収の影響があること、電子レンジなど干渉する電波の発信源があることから、エラーの発生しやすい条件下にある[3]。

RTP のパケット消失には、一度に一個もしくは少数のパケットが消失する場合と、連続して多数のパケットが消失する場合の両方が存在する。前者は誤り訂正符号などによる回復が有効であるが後者に対しては無

効である。そのため送信側ではインターリーブを行ったり重要なパケットを選択的に再送したりするなどの対策が必要であり、その際にバーストエラーの長さを推定することが重要となる。

IP ネットワーク上で発生したパケット消失に対する対策としては、QoS 確保の観点からさまざまな試みが行われている[4]。QoS 確保の要素技術として伝送エラー状況の把握に関する研究が行われており、特に RTP に関連するものとしては輻輳とエラー発生によるパケット消失を区別し QoS を制御する方法が提案されている[5]。また映像音声ストリームの伝送に対して、消失パケットの再送を目的として、受信側から明示的なパケット消失情報(NACK)を通知する方式が提案されている[6][7]。

しかし現状の RTP プロトコルに NACK を追加すると、伝送エラーが頻発する場合や送信側端末に対して受信側端末が多い場合に、パケット消失情報を受信する RTP 送信側への通信量の増大を招く恐れがある。複数の受信側端末に関するパケット消失情報を送信側/受信側間のパス中で統合することによりこの問題を解決することが可能であるが、そのためにはルータ等パスの中間ノードにそのような処理を追加する必要がある。また受信側装置の後方互換性を考慮すると、必ずしも NACK が利用可能であるとは限らない。

このような事情から、従来利用できるプロトコルの下で伝送状況をより正確に推定する方法が存在すれば有効である。

2. バーストエラーの発生状況

我々は映像音声ストリームを RTP に従ってパケット化し、802.11b 網上で片方向に配信するシステムを開発した。システムの構成を図 1、実験に用いた映像音声ストリームを表 1 に示す。

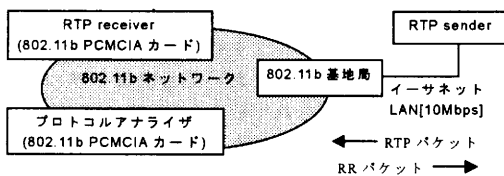


図1 RTP 送受信システム構成

パラメータ	映像	音声
時間	29 分 59 秒 964	30 分 00 秒 000
フレーム数	26974	90000
ビットレート	384kbps	24.8kbps
符号化パラメータ	MPEG-4 Visual SP@L3 1-frame 2 秒間隔, VP なし	AMR-WB, 1 チャンネル mode-8 固定
RTP フレーム生成パラメータ	1460Byte 分割	1 音声フレーム /RTP フレーム固定
RTP パケット数	73083	90000
RTP ペイロード長	平均 1183byte	62byte 固定

表1 RTP ストリームパラメータ

本システムにおいて、映像音声各 1 ストリームを RTP によってパケット化し同期して配信したところ、複数の RTP パケットが連続して消失する状況(バーストエラー)が発生した。図 2 は表 1 のストリーム全体を 1 回送信した際に検出された RTP パケット消失の状況である。

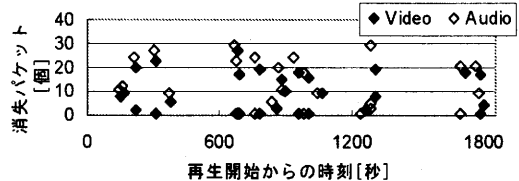


図2 バーストエラーの発生状況

この送信について、無線 LAN プロトコルアナライザを使用して 802.11b 網上における RTP パケットを捕捉し、受信側では RR パケットの内容および報告時刻を保存した。これを基に再生開始後 650 秒時点の伝送状況を解析した結果、映像音声それぞれについて連続して消失した RTP パケット数と、RR パケットの報告内容は図 3 に示す通りであった。図 3 の矩形は一回のバーストエラーを示し、中の数字は消失した映像および音声 RTP パケット数である。

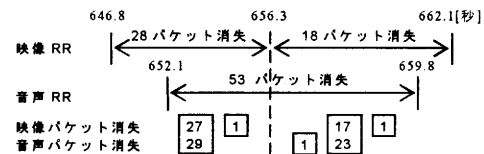


図3 RTP パケット消失状況と RR パケットによる報告との対応

RR パケットではストリーム受信開始からの累積消失 RTP パケット数が報告される。RTP パケット送信側では累積消失 RTP パケット数の増分より、前回 RR パケットを受信してから今回の RR パケットまでの期間(以下 RR 区間と呼ぶ)に消失した RTP パケット数を求めることができる。

1 つの RR 区間に複数のバーストエラーが発生した場合であっても、それらのバーストエラーで消失した RTP パケットの合計数が報告されるため、どのような規模の何回のバーストエラーから構成されるかを直ちに知ることはできない。そのため図 3 のパケット消失状況で、RR 区間の消失 RTP パケット数をバーストエラー長と考えると、RTP パケット送信側はバーストエラー長を過大評価する恐れがある。例えば音声のパーストエラー長は、実際には 29 であるが 53 と推定する。

本システムにおいて 1 RTP ストリームに関する RR

パケットの平均間隔は3節で説明する通り 7.5 秒である。平均的には数個の RR 区間にバーストエラーが 1 回発生する伝送状況であっても、このように局所的には単一の RR 区間にバーストエラーが 2 回以上発生する可能性がある。

映像と音声は RTP 送信側から数パケットずつ交互に送信される。伝送路上においても RTP パケットは数パケットずつ交互に伝送されることがプロトコルアナライザによる解析によって確認されている。つまり伝送路上に何らかの障害が発生した場合は、同時刻付近に伝送される映像と音声の両方の RTP パケットが消失する可能性がある。

なおバーストエラーの規模および発生パターンは、ネットワーク層以下の伝送プロトコル、機器、通信環境等に依存するため、本システムの調査結果は RTP 一般にあてはまるものではなく一例であると考えられる。

3. RR パケット到着間隔

RTP の規格において、RR パケットの送信間隔はランダムでかつ 5 秒以上にしよう規定されている。その理由は RTP パケットの複数の受信側から送信側に対して同時に RR パケットが送信されることによって RR パケットの輻輳が生じることを防ぐためと、帯域の大部分を RTP パケットに割り当てるためである。

RR パケットは各 RTP ストリームの伝送状況に関して別々のタイミングで送信される。そのため複数の RTP ストリームに関する RR パケットが同時に到着する可能性がある。このことは 1RTP ストリームに関する RR パケットの報告間隔に最小値(5 秒)があっても、全ストリームに関する RR パケットを区別しなければ RR パケット間の報告時間の下限がなくなる(0 となる)ことを意味する。

本システムで使用する RR パケットの報告間隔の生成関数を用いて、ストリーム数を増加させたときに全 RR パケット間の報告間隔の分布を調査した。

RR パケットの送信間隔を図 1 のシステムと同じ 5 秒から 10 秒の一樣分布に基づく乱数から生成し、RTP ストリーム数を 1 から 12 まで変化させた際の、全 RR パケットの RR 区間の時間(RR 区間長)の分布を図 4 に示す。1RTP ストリーム当たりの RR 区間は 1000 個であり、横軸は秒未満を切り下げた報告間隔、縦軸は各 1 秒刻みに属する間隔の出現頻度(単位%)である。

RTP ストリームが 1 本(映像または音声のみ)の場合は生成関数通り一樣分布であり、送信間隔が 5 秒以下となる場合は存在しない。2 ストリーム(映像と音声)の場合は RR 区間長が 0 秒から始まっており、複数 RR パケット間の送信間隔の差が 0 から始まっていることが確認できる。

ストリーム数が増加するにつれて、全 RR パケット間の RR 区間長が 0 に近づくことが分かる。つまり複数の RR パケットを併用することによって、単一の RR パケットのみを使用する場合よりも短い間隔で伝送路のエラーを検出することができると推測される。

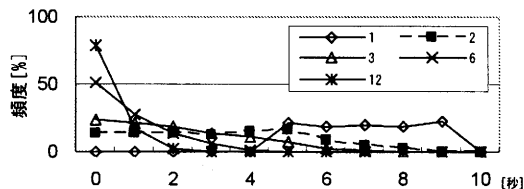


図4 RR 送信間隔の分布

そこで RTP パケット消失が発生してから次の RR パケット送信報告までの遅延についてシミュレーションを行った。RR 送信間隔の分布関数を図 4 と同じにして別途乱数を生成した。RTP パケット消失の発生間隔は平均 120 秒の指数分布とした。

図 5 は 1000 回の消失について RTP ストリーム数ごとの結果であり、横軸は秒未満を切り下げた報告までの遅延、縦軸は各 1 秒刻みに属する間隔の出現頻度(単位%)である。

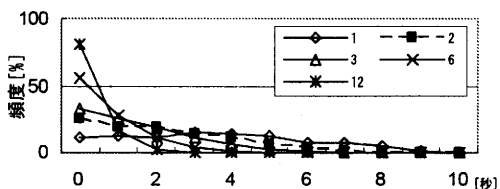


図5 RTP パケット消失から通知までの遅延の分布

1 ストリームの場合は最小間隔(5 秒)までは一樣に分布し、以降最大間隔(10 秒)まで緩やかに減少する。2 ストリーム以上の場合は RR 区間長と同様に分布し、ストリーム数が増えるに従って RR 区間長と同様に消失通知までの遅延は 0 に近づく。これより RR 送信間隔の減少にともなって、RTP パケット消失を送信側で検出するまでの遅延を減少させることが可能であることが分かった。

4. RR パケット到着間隔のランダム性を利用したアルゴリズム

これまでの説明により、同一時刻の伝送路のエラーは別々の RR 区間によって異なるタイミングにおいて報告されることが分かった。また複数の RTP ストリームに関する RR 区間の RTP パケット消失間隔を合わせることによって、単一 RTP ストリームに関する RR 区間のみを使用する場合よりも短い時間間隔でバーストエラーを検出できることが分かった。

複数の RR パケットによる RR 区間は単一の RR パケットの RR 区間より短いため、RR 区間で複数のバーストエラーが発生する確率が減少する。これを基に、RTP パケットの送信側において、単一 RTP ストリームに関する RR パケットの累積消失数の増分をバーストエラー長と単にみなすよりも、真値に近いバーストエラー長を推定するアルゴリズムを考案した。

本アルゴリズムは同一伝送路を 2 ストリームが同期して流れる場合に適用可能であり、一般的には映像音声ストリームを 1 ストリームずつ送信する場合に対応する。

4.1. 消失パターンの定義

RTP パケットのバーストエラーの平均発生間隔が、RR パケットの送信間隔に比べて長い場合は、多くの RR 区間で消失 RTP パケット数は 0 であることが多く、バーストエラー発生時のみ大きな値になると考えられる。

最初にバーストエラーが発生した可能性がある RR 区間と、発生していないとみなせる RR 区間を区別する。RR 区間に消失があったとみなす RTP パケットの最小消失数は、ランダムエラーを無視するために 0 より大きな値に設定する。また消失なしの RR 区間が連続する場合は、まとめて単一の消失なし RR 区間として扱う。

次に映像ストリームと音声ストリームのそれぞれに関する消失ありの RR 区間が重なったときに、両 RR 区間の重複時間帯でバーストエラーが発生したと推定する。逆に映像ストリームと音声ストリームの少なくとも一方の RR 区間で消失がない場合は、その時間帯ではバーストエラーは発生していないと想定する。

最後に RR 区間の消失パケット数すなわち累積消失パケット数の増分を基に、バーストエラーの長さを推定する。

バーストエラー検出に使用する RR 区間の出現パターンを図 6 から図 10 に示す。図中のバーストエラーの発生パターン A から D は映像音声 RTP ストリームに関する RR 区間の組を時系列で示したもので、横軸は再生開始からの時刻、実線は消失なし RR 区間、破線は消失あり RR 区間、それ以外の線は消失の有無を問わない RR 区間を示す。なお本アルゴリズムは符号化方式とは独立なため、以下の説明は映像ストリームと音声ストリームを入れ替えた場合も当てはまる。

パターン A は、ある一つの RR 区間で消失が発生し、前後の RR 区間では消失が発生しなかった場合に適用する。映像音声ストリームの消失ありの RR 区間に重なりがある(部分的に重なっていても、一方が他方を包含していてもよい)場合は、重複部分でバーストエラーが発生し、いずれか一方が消失なしの RR 区間ではバーストエラーが発生していないと推測する。

ーストエラーが発生していないと推測する。

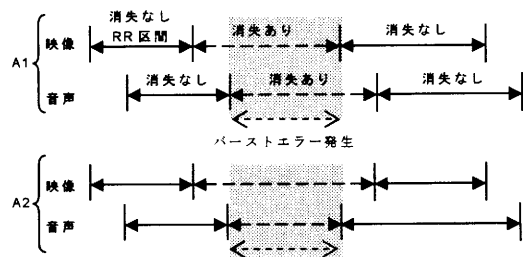


図6 バーストエラーの発生パターン A

パターン B と C は、消失ありの RR 区間が連続する場合にその先頭と末尾を利用するものである。

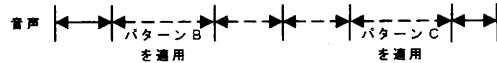


図7 連続する消失あり RR 区間へのパターン適用

パターン B は、映像ストリームの消失なし RR 区間では、音声ストリームでもバーストエラーが発生していないという前提で適用する。そのため映像音声の消失あり RR 区間が重なっている時間帯にバーストエラーが発生したと推測する。

消失パターン B1 および B2 において、未報告とされている時間帯について後で消失なし RR 区間と報告された場合は、それぞれパターン A1, A2 と等しくなる。その場合はパターン A を適用するよりも早くバーストエラー長を推定したという意味がある。

パターン B3 は $a1 < v1 < a2 < v2 < a3 < v3$ の各式がすべて成立する場合に適用する。

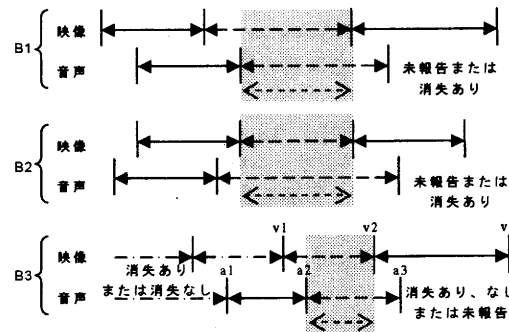


図8 バーストエラーの発生パターン B

パターン C は、複数の RR 区間で連続して RTP パケット消失が発生した場合でも、消失ありの最後の RR 区間をバーストエラー長の推定に利用する方法である。映像の消失あり RR 区間が単一で前後では消失がなく、音声ストリームの最後の消失あり RR 区間の開始時刻が映像ストリームの消失なし RR 区間内であるとすると。この場合映像の消失あり RR 区間と音声ストリームの最後の消失あり RR 区間の重複区間でバーストエラー

が発生したと推定する。映像の消失なし RR 区間以前(時刻 v_1 以前)については考慮しないので、音声の消失あり RR 区間が連続していても問題ない。

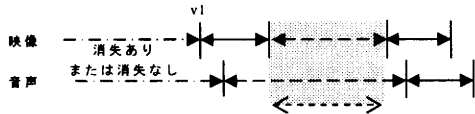


図9 バーストエラーの発生パターン C

パターン A から C において、バーストエラー長は、バーストエラーが発生したと推測される時間帯を含む RR 区間の消失パケット数であると推定する。

最後にパターン D について説明する。パターン D は、バーストエラーを 2 つ含むと推測される音声の RR 区間の消失パケット数を、映像ストリームの 2 つの RR 区間のバーストエラー長で比例配分することにより、バーストエラー長の推測に利用することが可能である。

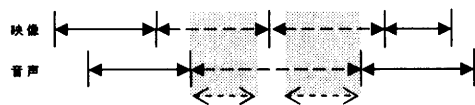


図10 バーストエラーの発生パターン D

4.2. 消失パターンの適用

以上の RTP パケット消失パターンを、RTP パケットの送信側において送信中に適用する方法について説明する。

RTP パケット送信側は受信側から報告された RR パケットと受信時刻を保存する。次に前回の RR パケットで報告された累積消失パケット数との差分を取り、RR 区間における消失 RTP パケットの数および有無を算出する。最後に映像音声ストリームの各 RR 区間に対して、図 6 から図 10 の消失パターンを適用することによって、バーストエラー長を推測することができる。

厳密にこの方法を適用するとすべての RR パケットを保存しなければならない。そこで前記の一部の最新の RR 区間集合について、消失ありまたは消失なしが連続する場合はまとめて単一区間として扱い、連続する消失あり RR 区間のうち最新のものを別途保存して適用することにより、消失パターンを適用するための演算量と保存領域を削減することが可能である。

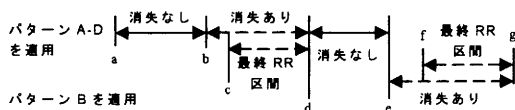


図11 消失パターンを適用する RR 区間集合

具体的には図 11 のパラメータを保存する。図 11 にお

いて、第一 RR 区間集合(a-e)の末尾の消失なし RR 区間(d-e)と、第二 RR 区間集合(d-g)の先頭の消失なし RR 区間は同一である。

RTP パケット送信側は RR パケットを受信した際に、最新の RR 区間が消失ありか消失なしかによって、図 12 に従って状態を遷移しながら RR 区間集合を更新する。更新後に消失パターン A から D が適用できた場合はバーストエラー長を推定する。

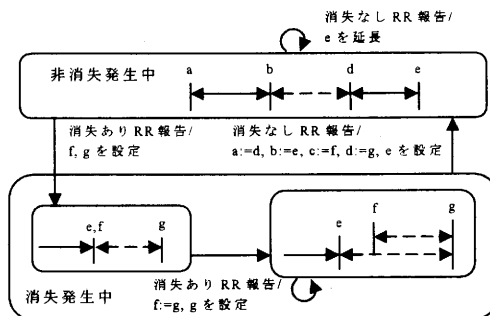


図12 RR パケット受信に基づく状態遷移

5. 評価結果

2 節で説明した RTP 送受信システムを使用して評価を行った。2 節とは異なる再生について、RR パケットのログ(送信内容と時刻)および、受信側でシーケンス番号の不連続から検出したバーストエラーの発生状況のログ(発生時刻と消失パケット番号)を保存し、RR パケットのログに上記のアルゴリズムを適用するソフトウェアを実装した。

表 1 の 30 分のストリームを 1 回再生した場合の最大バーストエラー長(消失パケット数)について評価した。代表的な 4 回の再生について結果を表 2 にまとめた。RR 区間の消失有無の判定は、消失パケット数 2 以上を消失あり、1 以下を消失なしとした。

測定	メディア	推定値	RR 報告 消失増分	測定値	平均エラー 発生間隔[秒]
A	映像	33	45	30	29.5
	音声	39	39	26	19.6
B	映像	101	119	82	23.7
	音声	109	177	96	14.9
C	映像	61	61	41	24.7
	音声	57	57	37	15.9
D	映像	43	103	54	8.0
	音声	46	91	63	6.2

表2 最大バーストエラー長の推定値と実測値

表 2 の第三から第五列は左から順に、本アルゴリズムによるバーストエラー長の推定値、RR パケットの累積消失パケット数の増分、実際のバーストエラー長であり、それぞれの最大値を記載した。

測定 A,B は図 2 と同様に、バーストエラーが数 RR

区間に1回発生する状況における結果である。測定Aの映像と、測定Bの映像および音声は、バーストエラーが短期間に連続して発生する状況の一部でバーストエラー長の過大評価を抑制することができた例である。測定Aの音声は、バーストエラー長の推定値がRR区間の消失パケット数と同じ値となり、従来方式と同じ過大評価をした例である。

つまりRR区間の累積消失パケットの増分をそのままバーストエラー長とみなす従来の方式を、当アルゴリズムで置き換えることが可能である。

測定Cは、短いパケット到達を挟んでバーストエラーが連続する場合に、単一のRR区間にまとめて一つのバーストエラーとして算出される例である。推定した最大バーストエラー長は実際の値より大きい。該当箇所バーストエラーの発生状況は表3の通りであった。表中()内は連続して到着したRTPパケット数、その前後は連続して消失したパケット数を示す。

映像(61パケット消失)	3消失(12到着)41(2)17
音声(57パケット消失)	30(1)8(1)8(6)3(1)2(1)2(2)4

表3 測定Cのバーストエラー発生状況詳細

バーストエラーの推定値は、厳密には実際の値より大きい。しかしバーストエラー間の短いフレームを再生しても映像音声として意味のある情報となりにくいことから、複数のバーストエラーをまとめた長さが実用的なバーストエラー長とみなすことも可能である。この解釈のもとでは、当アルゴリズムはバーストエラー長を適切に推定しているとみなせる。

最後に測定Dは、バーストエラーが3連続以上のRR区間にわたって発生する状況が頻発する場合である。音声のバーストエラーは平均6.2秒に1回発生している。バーストエラーが頻発している状態のRR区間には消失パターンA-Dをいずれも適用できなかったために、バーストエラー長の過小評価につながった。

以上より当アルゴリズムは、バーストエラーの発生率が数回のRR区間に一回以下という状況で、バーストエラーの過大推定を抑制する効果があることが分かった。

6. まとめ

RTPストリームの送受信において、送信側は受信側から報告されるRRパケットによって、一定時間帯に消失したRTPパケット数を推定することが可能である。RRパケットの送信間隔はランダムであり、映像音声など同一伝送路を同期して送信される各RTPストリームに関するRRパケットの送信時刻は互いに同期していない。これを利用して単一RTPストリームに関するRRパケットの送信間隔より短い時間で、伝送路で発生したパケット消失を推定することが可能である。

本稿では、送信間隔に最低時間が設定されている場合でも、複数のRTPストリームに関するRRパケットを併用することにより、測定間隔の下限なくRTPパケット消失を測定できることを示した。

この結果を基にRTPストリームの送信中に伝送エラー状況を逐次検出するアルゴリズムを開発した。当アルゴリズムを実際のRTP伝送に適用した結果、平均的に数RRパケットに1回の割合で伝送エラーが発生する状況で有効に機能することを確認した。つまりRTPパケットの送受信側で従来のRTPプロトコルを利用したまま、バーストエラーの過大推定を抑制することが可能であった。

応用としては、RTPパケットのインターリーブ長やMAC層のエラー率を適切に設定し、RTPパケットをより高品質に伝送することが考えられる。

今後の課題としては、マルチキャスト等において同一伝送路に3ストリーム以上送信する場合へのアルゴリズム拡張がある。RTPストリーム数が十分多い場合は、バーストエラー発生が推定される区間の時間長に上限を設けることによって測定精度を向上することが可能と考えられる。また無線におけるマルチキャストでは受信側の伝送路状況が全ての受信側で同一でない場合があるため対策が必要である。

謝辞

本研究には、平成15年度通信・放送融合技術開発促進助成金を活用いたしました。

文献

- [1] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick and V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications", RFC 1889, Jan 1996
- [2] "Transparent end-to-end packet switched streaming service (PSS); Protocols and codecs", 3GPP TS 26.234 V5.1.0, June 2002
- [3] 松江英明, 守倉正博, "802.11 高速無線 LAN 教科書", IDG ジャパン, March 2003
- [4] 阪田史郎, "インターネットにおける QoS 制御", 電子情報通信学会誌, vol.85, no.10, pp.749-755, Oct 2002
- [5] 吉村健, 大矢智之, 河原敏朗, 柴藤稔, "モバイルストリーミングにおける RTP モニタリングエージェントを用いたビデオ品質制御方式", 電子情報通信学会論文誌 B, vol.J85-B, no.8, pp.1243-1253, Aug 2002
- [6] 布目敏郎, 伊藤健二, 田坂修二, 石橋豊, "マルチキャスト通信用連続メディア再送方式 MRVTR とそのアプリケーションレベル QoS", 電子情報通信学会論文誌 B, vol.J86-B, no.3, pp.576-589, March 2003
- [7] G. Carle and E. W. Biersack, "Survey of error recovery techniques for IP-based audio-visual multicast applications", IEEE Network, vol.11, no.6, pp.24-36, Nov/Dec 1997