

IP パケット損失が MPEG1 音声・画像品質に 及ぼす影響の評価

林 孝典*, 山崎 真一郎*, 森田 直人*
相田 仁**, 武市 正人**, 土居 範久***

*通信・放送機構 麻布台リサーチセンター

〒106-0041 東京都港区麻布台1-11-10 日総22ビル3階

Tel: 03-5545-7611, E-mail: {hayashi, yamasaki, morita}@arc.tao.go.jp

東京大学, *慶應義塾大学

あらまし 本稿では、インターネットを用いたMPEG1映像通信への帯域保証の適用法を検討するため、音声・画像IPパケット損失と画像フレームレート低下が、MPEG1品質に及ぼす影響を主観評価試験により分析した。その結果、わずか数%のパケット損失でも品質劣化が妨害となるレベルに達するため、パケット損失が全く発生しないように、帯域保証を適用する必要があることが分かった。また、画像パケット損失が発生する場合は、画像フレームレートを低下させて通信帯域を抑えることにより、品質劣化を軽減できる範囲があることを示した。さらに、MPEG1総合品質に対して、音声品質と画像品質の重要度（貢献度）に相違がないことが分かった。

キーワード インターネット, 帯域保証, IPパケット損失, MPEG1, 画像フレームレート,
主観品質評価

Effects of IP packet loss on MPEG1 audio-visual quality

Takanori HAYASHI*, Shin'ichiro YAMASAKI*, Naoto MORITA*
Hitoshi AIDA**, Masato TAKEICHI**, Norihisa DOI***

*Telecommunications Advancement Organization of JAPAN Azabudai Research Center

Nisso-22 Bldg. 3F, 1-11-10, Azabudai, Minato-ku, Tokyo 106-0041

Tel: +81-3-5545-7611, E-mail: {hayashi, yamasaki, morita}@arc.tao.go.jp

The University of Tokyo, *Keio University

Abstract This paper evaluates the effects of IP packet-loss on MPEG1 audio-visual quality for clarifying how to apply guaranteed-rate technique such as RSVP to the Internet. This also analyzes the effects of picture frame-rate on MPEG1 picture quality. As a result, IP packet-loss was the dominant factor of MPEG1 audio-visual quality degradation compared with the picture frame-rate reduction. Moreover, there was no difference between audio and visual-media contributions on MPEG1 overall quality.

key words Internet, Rate guarantee, IP packet-loss, MPEG1, Picture frame-rate, Subjective quality
assessment

1. はじめに

インターネットを利用したマルチメディア通信が普及するにつれて、品質保証型通信サービスを提供する必要性が高まってきており、RSVP (Resource ReSerVation Protocol)[1]等の帯域保証型プロトコルが検討されている。RSVPを用いるユーザは、アプリケーションの平均通信レートやバーストサイズ等のトラフィック特性を考慮し、ネットワークリソースを予約する必要がある。アプリケーションのトラフィック特性に見合ったネットワークリソースが十分に確保されない場合には、パケット損失等の品質劣化が発生し、アプリケーション品質を低下させる原因となる。ネットワークリソース予約パラメータを決定するために、ネットワーク品質とアプリケーション品質の対応関係を把握しておくことが重要となる。

従来、ネットワーク品質とアプリケーション品質の関係を扱った検討には、ATMネットワークでの品質劣化要因が、音声品質や画像品質に及ぼす影響を調べた例等がある[2]~[4]。また、最近では、インターネットを利用したマルチメディア通信に対しても検討され、インターネット電話の品質特性等が報告されている[5]。しかし、インターネットを用いた映像通信の品質特性に関する検討は少なく、また、帯域保証技術を適用する場合に、各メディアに要求されるネットワーク品質や各メディアの重要度(貢献度)の違いについては検討例も少ない。

本稿では、インターネットを用いたMPEG1映像配信にRSVPを適用する場合において、ネットワーク品質とアプリケーション品質の関係を検討することを目的とした。具体的な検討項目として、MPEG1通信で発生するパケット損失をどの程度以下に抑えるように帯域保証を適用しなければならないか、その中で、音声・画像メディアで許容されるパケット損失率に差が発生するかどうか、さらに、アプリケーションの総合品質に及ぼす影響は、音声・画像品質のどちらが大きい(どちらのメディアが重要度が高い)等について評価・分析する。

まず最初に、第2章では、画像IPパケット損失及び画像フレームレートがMPEG1画像品質に及ぼす影響について分析する。次に、第3章では、音声IPパケット損失及び画像フレームレートがMPEG1総合品質に及ぼす影響について分析する。この中で、音声・画像メディアの単独品質と総合品質の関係についても分析し、各メディアの重要度の相違についても考察する。これらの結果をもとに、第4章では、MPEG1通信の音声・画像パケット損失に要求される品質等についてまとめる。なお、本稿で記す「映像」とは、音

声と画像の両者を指すものと定義する。

2. 画像フレームレート及び画像IPパケット損失率とMPEG1画像品質の関係

第2章では、MPEG1画像通信にRSVPを適用する場合のアプリケーション品質を把握するため、予約帯域を越えた場合に発生するパケット損失が、MPEG1画像品質に及ぼす影響を分析する。また、画像フレームレートの影響についても評価する。

2.1 主観品質評価試験

2.1.1 評価の基準画像

画像フレームレート低下や画像パケット損失が発生すると、画像の動きの自然さ・滑らかさが失われる、画面が一時的に停止(フリーズ)する、画面の一部が歪む、といった品質劣化要因が発生する。このため、評価の基準画像として、動きの大きさと画像の細かさを変化させた、次の2種類の映像を用意した。

映像1の画像： ニュースを読む人物1名の画像(上半身像)(以降、「動き小の映像」と記す)。

映像2の画像： バスケットボール試合のハーフタイムに踊る複数のチアリーダーの画像(以降、「動き大の映像」と記す)。

ここで、画像フレームレートは30フレーム/秒、画像の通信帯域は1,150kbit/s (MPEG1標準値)である。また、映像の時間長は各々15秒である。

2.1.2 品質劣化を制御するための試験系

試験系を図1に示す。MPEG1サーバであるパソコン(PC) PC1に対し、2台のMPEG1クライアントPC2及びPC3が、2台のルータを介して通信できる環境を整えた。各PCとルータ間は10Mbit/sのイーサネット、ルータ間はクロックレートを2Mbit/sに設定したシリアル回線で接続した。

ルータ間のシリアル回線において、PC1とPC2間の通信は、RSVPにより保証帯域を制御できるように

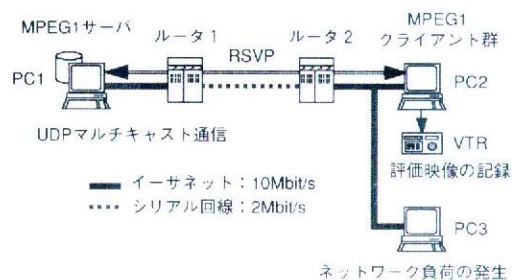


図1 試験系の構成

した。PC1とPC3間の通信は、PC1とPC2間の通信のバックグラウンドトラフィック（ネットワーク負荷）を発生させるために用意した。また、PC2のパソコン画面を録画できるように、ビデオテープレコーダ（VTR）を接続した。

2.1.3 評価画像の作成方法

ルータ間のシリアル回線に設定できる保証帯域には、物理速度1.5Mbit/sの最大75%までという制限がある。このため、PC1とPC2間の通信（画像と音声）を完全に帯域保証できるように、画像フレームレートが30フレーム/秒で、通信帯域800kbit/sに圧縮した画像を作成した（評価の基準画像とするのは2.1.1で述べたものとする）。これをもとにして画像フレームレート低下の影響を評価するため、MPEG1の画像フレームレートを2～30フレーム/秒と変化させた画像をVTRに記録した。使用通信帯域は平均レートで約200kbit/s（2フレーム/秒）～約800kbit/s（30フレーム/秒）、画像データパケットサイズは平均約1,000byteである。画像パケット損失は発生させなかった。

次に、画像フレームレートが10、30フレーム/秒の場合について、PC1→PC3の通信をバックグラウンドトラフィックとして発生させ、PC1→PC2のMPEG1通信の保証帯域を変化させて、画像パケット損失率を変化させた評価画像を作成した。パケット損失率の計算は、MPEG1サーバとクライアントでの送受信パケット数より算出した。ここで、音声通信は完全に帯域保証し、音声パケット損失は発生させなかった（ここで用いたMPEG1アプリケーションは、音声と画像を別々のポート番号を用いて通信しているため、独立して帯域保証の制御ができる）。なお、MPEG1サーバとクライアントで用いたPCは、映像の符号化・復号を行うのに十分な性能のCPUを搭載している。

2.1.4 評価方法

前述のように、画像フレームレート低下や画像パ

表1 5段階妨害尺度

評価映像の品質劣化*が、	
評点	評価語
5	全く認められない
4	わずかに認められるが 気にならない
3	認められ わずかに気になる
2	認められ 気になる
1	認められ 非常に気になる

* 画像の場合：動きのざくしゃく感、画面の乱れ
 音声の場合：音の途切れ、雑音

ケット損失が発生すると、画像の動きの滑らかさが失われたり、画面が一時的にフリーズする等といった品質劣化要因が発生する。主観評価試験では、2.1.1で述べた評価の基準画像と2.1.3で作成した評価画像を交互に提示する二重刺激法[6]を用い、評価画像の品質劣化の度合いを表1に示す5段階妨害尺度[6]により評価した。画像品質の評価結果は、平均オピニオン評点（5段階の各評点に投票した人の割合を重みとして評点に掛けて加算した数値：DMOS）で表した。

評価者は音声品質や画像品質に関わる仕事に従事していない20～35歳の非専門家24名（男性11名、女性13名）で、評価の繰り返し回数は1条件につき3回とした。但し、1回目の評価結果は、練習用として分析対象から除外した。また、残り2回の評価結果について、同一評価者の評点が3以上異なった場合も、同様に除外した。

評価画像のウィンドウサイズは約6インチとし（パソコンのモニタサイズは14インチ）、視距離は8Hとした。ここで、Hは評価画像ウィンドウの画面高を示す。

2.2 画像フレームレート低下及び画像IPパケット損失とMPEG1画像品質の関係

画像フレームレート及び画像パケット損失率を変化させた場合の画像データ転送量と、MPEG1画像品質の関係を図2に示す(a)動き小の画像品質、(b)動き大の画像品質)。画像品質は平均オピニオン評点(DMOS)で表した。また、95%信頼区間を1印で示した。

図2(a)より、30フレーム/秒の画像にわずか数%のケット損失が発生しただけでも、パケット損失に伴う品質劣化（画像の非定常なフレーム落ちによる画面のフリーズ）は知覚され、主観品質は急激に低下していることが分かる。1%のケット損失が発生した場合には、これよりも画像データ転送量が少ない10フレーム/秒の画像よりも品質が悪くなった。5%のケット損失では、5フレーム/秒の画像品質よりも悪くなった（全て95%信頼区間で判定。以下同様）。また、30フレーム/秒と10フレーム/秒の場合の画像品質を比較すると、パケット損失がない場合は、両者の画像品質に有意な差が見られたが、同率のケット損失が発生した場合には、両者の主観品質に有意な差がなくなった。これは、パケット損失に伴う“画像の非定常なフレーム落ちによる妨害感”は、パケット損失が発生していない時に品質劣化が認められない30フレーム/秒の画像に発生した場合の方が、大きく感じられることを示している。この傾

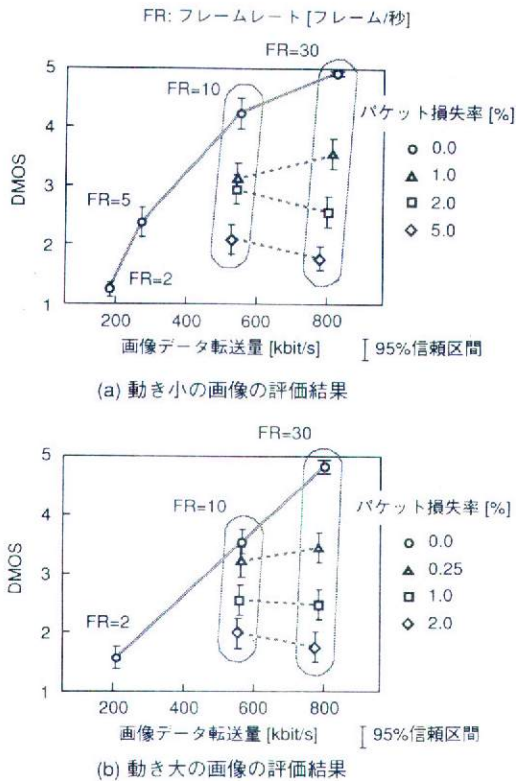


図2 画像フレームレート及び画像パケット損失率と主観品質の関係

向は、従来の検討[7],[8]での結果と同様であった。

また、画像の動きが大きくなった場合の結果（図2(b)）について見てみると、画像の動きが小さい場合と比較して、より小さいパケット損失率でも、品質劣化が大きくなっていることが分かる。その他の傾向は、動き小の画像の評価結果と同様であった。

以上より、IPネットワークでMPEG1画像を帯域保証して通信する場合、わずか数%のパケット損失でも品質劣化が妨害となるレベルに達することが分かった。具体的には、動きが小さい画像で30フレーム/秒の場合には、1%のパケット損失が発生しただけでもDMOS=3.5となり、50%の評価者が3「劣化が認められ、わずかに気になる」以下の採点を下した。このため、30フレーム/秒の画像に1%のパケット損失が発生した場合は、これよりもデータ転送量の少ない10フレーム/秒の画像で、パケット損失が発生しない場合よりも品質が悪くなる結果となった。よって、MPEG1画像通信を行う場合には、パケット損失が全く発生しないように帯域保証を適用する必要があることが分かった。また、通信帯域を完全に保

証できない場合には、パケット損失が発生しないように、画像フレームレートを低下させて通信帯域を抑えることにより、品質劣化を軽減できる範囲があることが分かった。

3. 画像フレームレート及び音声IPパケット損失率とMPEG1総合品質の関係

第2章では、画像パケット損失による妨害感是非常に大きいことから、画像パケット損失が全く発生しないように帯域保証するか、あるいは画像フレームレートを低下させて通信帯域を抑える必要があることを述べた。

第3章では、画像メディアの他に音声メディアに要求される品質を把握するため、音声パケット損失及び画像フレームレート低下がMPEG1総合品質に及ぼす影響を評価する。この中で、各メディアへの要求品質及び重要度の相違について分析した結果について述べる。

3.1 主観品質評価試験

3.1.1 評価の基準映像

評価の基準映像には、2.1.1と同様のものを用いた。画像フレームレート低下が発生すると、画像の動きの自然さ・滑らかさが失われ、音声パケット損失が発生すると、音が途切れる。各評価映像の原音は、次の通りである。

映像1の音声：アナウンサーがニュースを読む。
無音区間は全て1秒以内。

映像2の音声（音楽を含む）：チャリダーが踊る時の音楽及び実況者と解説者の会話。音楽が流れているため無音区間はなし。

また、音声（モノラル）の通信帯域は192kbit/s、音声データパケットサイズは平均1,280byteである。

3.1.2 品質劣化を制御するための試験系

試験系は図1と同様である。MPEG1クライアントPC2のパソコン画面と音声を、ビデオテープレコーダ（VTR）で記録できるようにした。

3.1.3 評価映像の作成方法

PC1→PC3の通信をバックグラウンドトラフィックとして発生させ、PC1→PC2の画像の通信帯域は完全に保証し、音声通信の保証帯域を変化させて、音声パケット損失率を変化させた。また、画像フレームレートは2～30フレーム/秒と変化させ、画像品質及び音声品質が同時に変化した評価映像を作成し、VTRに記録した。

3.1.4 評価方法

主観評価試験では、画像フレームレートが30フレーム/秒で、音声・画像ともにパケット損失のない映像を評価基準とし、評価映像と交互に提示する二重刺激法を用いた。試験では、評価映像の音声・画像メディア単独の品質劣化の度合いと、総合的に見た品質劣化の度合いを、各々5段階妨害尺度(表1)により評価した。画像フレームレートの影響は第2章でも検討したが、第3章では、画像の他に音声と総合的な品質も対象とするので、試験環境が異なることによる評価値への影響が無いことを確認するために、2.1.4と同様に、音声・画像品質の評価結果は、平均オピニオン評点で表した。

評価者、評価の繰り返し回数、評価結果の分析方法、観視条件も、2.1.4と同様である。また、音声はスピーカ受聴とし、受聴レベルは聞きやすいレベルとした。

3.2 音声IPパケット損失及び画像フレームレートとMPEG1品質の関係

図3に、音声パケット損失率及び画像フレームレートと音声・画像の主観品質の関係を示す。両映像の音声品質には有意な差が現れなかった。映像1の無音区間は全て1秒以内であったため、無音区間のない映像2の評価結果と同じになったが、無音区間が長い映像では、音声パケット損失による音の途切れが判りづらく、許容されるパケット損失率は高くなると考えられる。また、画像フレームレートと画像品質の関係は、図2とはほぼ同様の結果が得られた。このことから、音声と画像を同時に評価することによって、どちらか一方の評価が他方より影響を受けないことが確認された。

試験に用いた2種類の映像の評価結果を平均すると、 $DMOS \geq 3.5$ ($DMOS = 3.5$ は50%の評価者が $DMOS \geq 4$ と採点)を満足するためには、音声パケット損失率は約2%以下、画像フレームレートは約10フレーム/秒以上が必要となった。

3.3 音声・画像の単独品質と総合品質の関係

音声と画像を単独で評価した場合の品質(単独品質)と両メディアを総合して評価した品質(総合品質)の関係を図4に示す。ここで、音声のDMOS、画像のDMOS、あるいは両者のDMOSが共に1に近い領域では、実験条件の枠組み(変域)に影響を受けてやすくなるため、図4のその領域の評点分布は破線で示した。

図4より、ほとんど全ての条件で、総合品質は音声あるいは画像の単独品質の悪い方よりも良くなっ

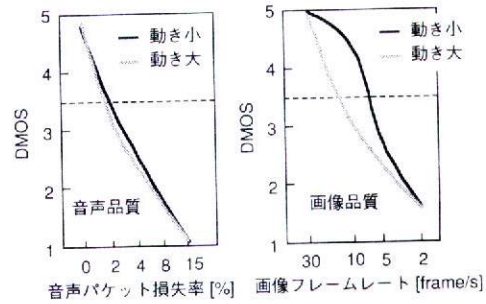


図3 音声パケット損失率及び画像フレームレートと主観品質の関係

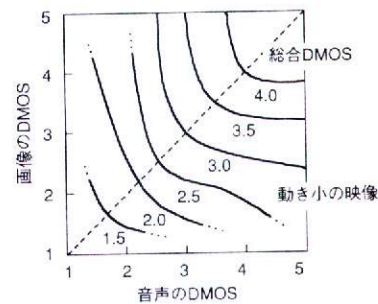


図4 音声・画像の主観品質と総合主観品質の関係

ていた。即ち、両メディアから同時に受ける妨害が、総合的な妨害感を増大させることはなかった。また、音声品質と画像品質が異なる場合について見ると、総合 $DMOS \geq 3.0$ では評点分布が45度の線で対称となった。音声が全く聞き取れない、あるいは画像が完全に止まってしまう等、音声品質と画像品質に非常に極端な差がある場合には、画像メディアよりも音声メディアの方が重要視されることが予想される。しかし、総合品質が“品質劣化がわずかに気になる”以上の範囲 ($DMOS \geq 3.0$) では、音声・画像品質の重要度に相違がないことが分かった。これらの結果は、映像の動きの大きさが変化しても同様であった。

4. まとめ

本稿では、音声・画像IPパケット損失及び画像フレームレート低下が、MPEG1アプリケーションの主観品質に及ぼす影響について評価した。その結果、

- (1) IPネットワークでMPEG1画像を帯域保証して通信する場合、わずか数%のパケット損失でも品質劣化が妨害となるレベルに達する。このため、MPEG1画像通信を行う場合には、パケット損失が全く発生しないように帯域保証を適用する必要がある；

- (2) 30フレーム/秒の画像に画像バケット損失が発生した場合は、これよりもデータ転送量の少ない10フレーム/秒でバケット損失が発生しない場合よりも品質が悪くなる。通信帯域を完全に保証できない場合には、画像バケット損失が発生しないように、画像フレームレートを低下させて通信帯域を抑えることにより、品質劣化を軽減できる範囲がある；
- (3) 画像フレームレートが30フレーム/秒と10フレーム/秒の場合に同率のバケット損失が発生した場合には、品質に有意な差がなかった。これは、30フレーム/秒の場合に発生するバケット損失による品質劣化が、10フレーム/秒の場合のそれよりも大きいことを示している；
- (4) 画像バケット損失の方が音声バケット損失よりも、総合品質に対して影響が大きくなった(実験で使ったMPEG1アプリケーションでは、音声と画像のバケットサイズはほぼ等しいものであった)。また、使ったMPEG1アプリケーションでDMOS ≥ 3.5 を満足するためには、音声バケット損失率約2%、画像フレームレートは約10フレーム/秒以上が必要となった(画像バケット損失率については、DMOS ≥ 3.5 を満足する実験条件がなかった)；
- (5) MPEG1の総合品質は、音声品質あるいは画像品質の悪い方よりも良くなり、両メディアから同時に受ける妨害が、総合的な妨害感を増大させることはない；
- (6) 音声品質と画像品質が異なる場合に、総合品質がDMOS ≥ 3.0 の範囲では、音声・画像メディアの重要度(貢献度)には相違がないことが分かった。
- 今回の検討では、片方向映像通信に対する評価結果であった。今後は、テレビ会議等の双方向通信や協調作業(CSCW: Computer Supported Collaboration Work)等の多地点間通信において、各メディアに要求される品質、各メディアの重要度の違い、帯域保証技術を適用する上での留意点等について検討していく予定である。
- 謝辞 本研究を進めるにあたり、品質評価試験にご協力して頂いた方々に深く感謝致します。

参考文献

- [1] B. Braden et al., "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) -- Version 1 Functional Specification," IETF, RFC2205, Sep., 1997
- [2] 長瀬裕実, 北脇信彦, "ATM網においてセル損失を生じた符号化音声の品質評価," 信学論A, J74-

A, 11, pp.1615-1622, 1991.11

- [3] 井合知, 北脇信彦, "ATM網におけるセル廃棄が映像品質に及ぼす影響," 信学論B-I, J74-B-I, 12, pp.1086-1094, 1991.12
- [4] 青木仁志, 井合知, "ATMセル損失がMPEG2映像品質に及ぼす影響の評価," 信総大B-11-3, 1998.3
- [5] 山崎哲朗, 井合知, 住本順一, "インターネット電話音声の受聴品質測定結果," 信総大SB-11-6, 1998.3
- [6] ITU-R BT.500-7, "Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures."
- [7] 林孝典, 井合知, "フレームレートの変化が映像品質に及ぼす影響," 信学論A, J79-A, 4, pp.991-1000, 1996.4
- [8] 林孝典, 岡田康義, 佐久間博, "TCP/IP映像会議の階層的品質分析," 信総大SB-11-2, 1997.3