

■3 群 (コンピュータネットワーク) -4 編 (トランスポートサービス)

5 章 RTP と RTCP

(執筆者：加藤 寧, 西山大樹) [2013 年 6 月 受領]

■概要■

インターネットに代表される IP ネットワークでは、パケットの欠落、重複、破損、遅延、到着順の変化といった事象が発生する。このような IP ネットワークにおいてリアルタイムメディア転送を実現するためには、従来の TCP や UDP では不十分であり、RTP (Real-time Transport Protocol) /RTCP (RTP Control Protocol) が必要になる。RTP/RTCP は、ALF (Application Level Framing) と E2E (End-to-End) という二つの理念の下に設計されたプロトコルである。そのため、データ転送処理の細部についてはアプリケーションが判断・対処するように設計されており、RTP/RTCP そのものは柔軟性に優れたプロトコルとなっている。RTP/RTCP はリアルタイムメディア転送のための統一フレームワークを提供するものであり、様々なアプリケーションに適応可能である。

【本章の構成】

本章では、RTP/RTCP がリアルタイムメディア転送のためのフレームワークであることを意識し、個々のアプリケーションや利用形態に関する技術詳細について記述することは避け、フレームワークそのものの説明に重きを置き、RTP/RTCP によるストリーミングの概要 (5-1 節)、RTP の仕組み (5-2 節)、RTCP の仕組み (5-3 節)、誤り訂正とレート制御 (5-4 節) について述べる。

■3群 - 4編 - 5章

5-1 RTP/RTCP によるストリーミングの概要

(執筆者：加藤 寧，西山大樹) [2013年6月 受領]

本節では、RTP/RTCP を用いた一般的なストリーミングの仕組みについて述べる。まずは、プロトコルスタックについて説明する。次に、通信開始から終了までの一連のシーケンスについて説明する。最後に、プロファイルとペイロードフォーマットについて述べる。

5-1-1 プロトコルスタック

図 5・1 は IP ネットワーク上で RTP ストリーミングを実現するプロトコルスタックを示している。RTSP (Real Time Streaming Protocol) ¹⁾ はビデオやオーディオといったメディアの再生・停止・早送り・巻き戻しなどの機能を提供するプロトコルであり、信頼性に優れた TCP を下位層に用いる。なお、上位層でのセッション定義には SDP (Session Description Protocol) ²⁾ が用いられる。一方、メディアデータそのものの転送を行う RTP や、その転送を制御するための RTCP は、リアルタイム性に優れた UDP を下位層に用いる。

Video	Audio	RTCP	SDP
RTP			RTSP
UDP			TCP
IP			

図 5・1 プロトコルスタック

5-1-2 シーケンス

図 5・2 は、RTP ストリーミングの一連のシーケンスを示している。受信者は、まずメディアデータの受信に必要な接続情報 (DESCRIBE) を要求し、取得する。接続情報は SDP で記述される。次に、RTSP セッションを確立する。RTSP セッションはメディアデータの受信完了後に開放される。RTSP セッションの確立後は、PLAY (再生・早送り・巻き戻し) や PAUSE (一時停止) などの RTSP の命令に従い、RTP によるメディアデータ転送が行われる。RTP によるメディアデータ転送の制御は RTCP によって行われる。

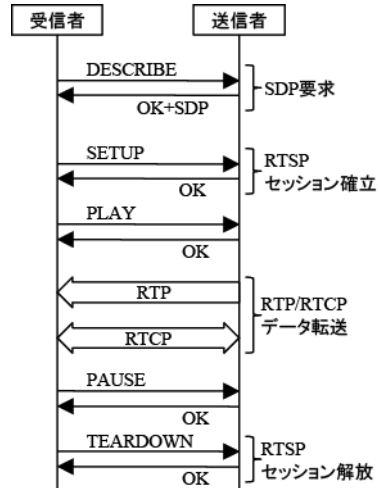


図 5・2 シーケンス

5-1-3 プロファイルとペイロードフォーマット

RTP 及び RTCP は、あくまでもリアルタイムメディア転送のフレームワークを提供するに過ぎない。そのため、実際に利用するためには、各アプリケーションに応じた詳細仕様に相当するプロファイルや、各メディアタイプに応じて定義されるペイロードフォーマットが必要になる。これらについては本章の範囲を超えるため、他に譲る。

■参考文献

- 1) H. Schulzrinne et al., "Real Time Streaming Protocol (RTSP)," IETF RFC 2326, Apr. 1998.
- 2) M. Handley et al., "SDP: Session Description Protocol," IETF RFC 4566, Jul. 2006.

■3群 - 4編 - 5章

5-2 RTPの仕組み

(執筆者：加藤 寧，西山大樹) [2013年6月 受領]

本節では、メディアデータの転送を行う RTP の仕組みについて述べる。まず、RTP セッションについて述べる。次に、RTP パケットの構成を示し、RTP ヘッダを構成する各要素について説明する。

5-2-1 RTPセッション

RTP セッションとは RTP を用いて通信を行う参加者のグループを意味する。セッションはユニキャストでもマルチキャストでもよく、参加者は複数のセッションに同時に参加することもできる。各セッションにおける参加者の識別には同期ソース (SSRC: Synchronization Source) が使用される。32 ビットの整数値である SSRC はセッション参加時に参加者によって無作為に決定されるが、次節で述べるメンバシップ制御によってセッション内での一意性が担保されている。

5-2-2 RTPパケットの構成

図 5・3 に RTP パケットフォーマットを示す。転送すべきペイロードに対して RTP ヘッダが付加され、必要に応じて拡張ヘッダが追加される。RTP ヘッダは次の各要素から構成される。

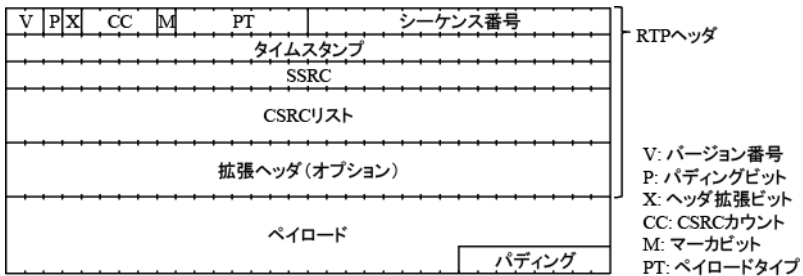


図 5・3 RTPパケットフォーマット

(1) バージョン情報

バージョン番号 (V) は RTP のバージョンを示す。現在のバージョンは 2 である。

(2) パディング

パディングビット (P) は、ペイロードがパディングされている (1) か、パディングされていない (0) かを示す。

(3) ヘッダ拡張

ヘッダ拡張ビット (X) は、拡張ヘッダが追加されている (1) か、追加されていない (0) かを示す。

(4) CSRC 情報

ペイロードが複数のメディアストリームの合成である場合、各メディアストリームの SSRC のリストが貢献ソース (CSRC : Contributing Source) リストとして格納される。なお、CSRC カウント (CC) は CSRC リストの長さを示す。

(5) マーカ

マーカビット (M) は、使用する RTP プロファイルによって定義される重要なイベントの発生を示す。ストリームの開始、再開、終了などを表すために利用される。

(6) ペイロードタイプ

ペイロードタイプ (PT) は、ペイロードデータのメディアタイプの識別に使用される*¹。

(7) シーケンス番号

パケットが送信される度に 1 ずつ増加される符号なしの 16 ビット整数値。通常初期値はランダムに設定される。パケットの欠落や整列に使用できるが、16 ビットの空間ではシーケンスがすぐに一巡してしまうため、パケットの識別子としては使用できない。なお、シーケンス番号の巡回問題への対応策としては、ビット空間が 32 ビットあるいはそれ以上に拡張された拡張シーケンス番号を用いる方法がある。

(8) タイムスタンプ

ペイロードデータの先頭がサンプリングされた瞬間を表す。メディアの再生に使用される。

(9) 同期ソース

パケット送信者の SSRC を示す。

■参考文献

- 1) H. Schulzrinne and S. L. Casner, "RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control," IETF STD 65, Jul. 2003.

*¹ 一般に Audio/Video Profile¹⁾ と呼ばれる RTP プロファイルでは、ペイロードタイプ番号とペイロードフォーマットの静的割当が定義されている。

■3群 - 4編 - 5章

5-3 RTCP の仕組み

(執筆者：加藤 寧，西山大樹) [2013年6月 受領]

本節では、RTP によるメディアデータ転送を制御する RTCP の仕組みについて述べる。RTCP は各メディアストリームの通信品質制御、複数メディアストリームの同期制御、セッションのメンバシップ管理などに必要不可欠な情報を交換するためのプロトコルである。受信レポート、送信レポート、ソース記述、メンバシップ管理、アプリケーション定義の5種類の RTCP パケットが存在し、それぞれ伝達する情報の種類が異なる。RTCP パケットはレポートインターバルに従って定期的に送信される。

5-3-1 RTCP パケットの構成

RTCP の5種類のパケットは伝達する情報(ペイロード)が異なるだけで、パケットヘッダは共通している。図5・4に示すとおり、RTCP パケットは必ず複数個まとめられて一つの複合パケットとして転送される。通常はUDPパケットにカプセル化され、複合パケットの暗号化が行われる場合にはUDPヘッダと一つ目のRTCPパケットの間に32ビットの乱数値が付加される。

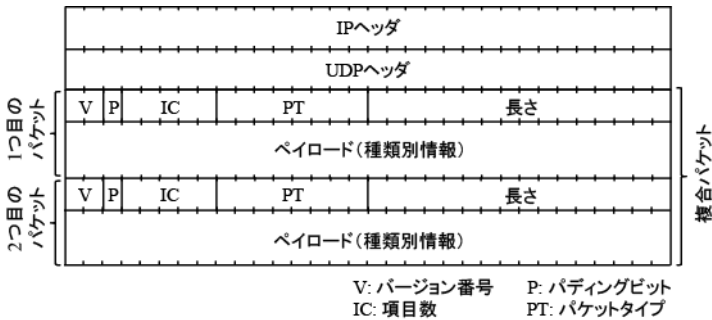


図5・4 RTCP 複合パケットのフォーマット

(1) バージョン情報

バージョン番号 (V) は RTP のバージョンを示す。現在のバージョンは2である。

(2) パディング

パディングビット (P) は、ペイロードがパディングされている (1) か、パディングされていない (0) かを示す。

(3) 項目数

項目数 (IC) は、ペイロードに複数の項目がリスト形式で含まれている場合、その項目の数を示す。パケットの種類によっては別の目的で使用されることもある。

(4) パケットタイプ

パケットタイプ (PT) は RTCP パケットの種類を示す。

(5) 長さ

32 ビットを 1 単位としたペイロード長を示す。

5-3-2 受信レポート

受信レポートパケットは、メディアストリームの受信品質に関する情報を伝達するために受信者から発信される。レポートには、パケットの欠落や転送遅延に関する情報が含まれており、これらの情報からレポートの受信者はネットワークの状態を推測することができる。

図 5・5 に受信レポートパケットのフォーマットを示す。



図 5・5 受信レポートパケットのフォーマット

ヘッダの次にレポート作成者の SSRC が付加され、その後ろに受信レポートブロックが続く。受信レポートパケットの PT は 201 であり、IC フィールドには受信レポートブロック数が格納される。受信レポートブロックに含まれる情報を以下に示す。

(1) レポート対象者の SSRC

受信レポートブロックがどの参加者に対するものであるかを示す。

(2) 欠落率

レポートインテリバル内で計算された欠落率を示す。

(3) 累積欠落パケット数

セッション開始後の全期間に渡って計算された欠落パケット数を示す。

(4) 最大拡張シーケンス番号

セッション開始以降に受信した RTP パケットの拡張シーケンス番号の最大値を示す。

(5) パケット間隔ジッタ

RTP パケットの転送時間のバラツキを統計的に見積もった値を示す。

(6) 最新送信レポートのタイムスタンプと経過時間

タイムスタンプフィールドには、受信レポート対象者から受信した最新の送信レポートに含まれていたタイムスタンプ情報の一部が格納される。経過時間フィールドには、受信レポート対象者からの最新の送信レポートを受信してから経過した時間が格納される。これらの情報を用いると、受信レポート対象者は自身と受信レポート作成者との間の往復遅延時間 (RTT : Round Trip Time) を導くことができる。RTT の導出が可能であることは、アプリケーションにとって非常に有用性が高い。ネットワークの輻輳や通信経路の変化に

よる RTT の大幅変動はメディアストリームの受信品質に悪影響を与えることが指摘されており²、アプリケーションにとって RTT の値及びその時間変動を把握することは極めて重要と言える。

5-3-3 送信レポート

送信レポートパケットは、送信されたメディアストリームに関する情報を伝達するために、送信者から発信される。レポートには、タイムスタンプやパケットカウントに関する情報が含まれており、これらは受信者が複数のメディアストリームを同期する際²に利用される。また、送信レポートさえ受信すれば、実際のメディアストリームを受信することなくメディアストリームのレートなどを推測することができる。図 5・6 に送信レポートパケットのフォーマットを示す。



図 5・6 送信レポートパケットのフォーマット

ヘッダの次にレポート作成者の SSRC が付加され、その後ろに各種情報が続く。なお、送信者が別のメディアストリームの受信者でもある場合は、更にその後ろに受信レポートブロックが付加される。送信レポートパケットの PT は 200 であり、IC フィールドには受信レポートブロック数が格納される。送信レポートに含まれる情報を以下に示す。

(1) NTP タイムスタンプ

送信レポートが送信された時間を NTP タイムスタンプフォーマットで示す。

(2) RTP タイムスタンプ

NTP タイムスタンプと同じ時間を RTP メディアクロックを用いて表す。

(3) パケットカウント

セッション開始以降に生成された RTP パケットの数を示す。

(4) オクテットカウント

セッション開始以降に生成された RTP パケットに含まれていたペイロード(ヘッダとパディングを除く)のオクテット数を示す。

5-3-4 ソース記述

ソース記述パケットは、参加者に関する情報を伝達するために使用される。図 5・7 にソー

*2 ビデオストリームとオーディオストリームの同期(リップシンク)など。

ス記述パケットのフォーマットを示す。ヘッダの後ろには、記述対象の参加者の SSRC とその参加者に関する情報項目リストが組になって続く。ソース記述パケットの PT は 202 であり、IC フィールドには情報項目リストの数が格納される。情報項目としては名前、場所、メールアドレス、電話番号などがあり、これらは参加者の識別などに利用される。



図 5・7 ソース記述パケットのフォーマット

5-3-5 メンバシップ制御

メンバシップ制御パケットは、参加者のセッションからの離脱 (SSRC の変更を含む) を伝達するために使用される。図 5・8 にメンバシップ制御パケットのフォーマットを示す。ヘッダの後ろにはセッションを離脱する参加者の SSRC が続く。場合によっては、パケットの最後にセッションを離脱する理由が付加される。なお、アプリケーションによってはセッション離脱の際にメンバシップ制御パケットを送信しない場合もある。メンバシップ制御パケットの PT は 203 であり、IC フィールドには SSRC の数が格納される。



図 5・8 メンバシップ制御パケットのフォーマット

5-3-6 アプリケーション定義

アプリケーション定義パケットは、アプリケーションでの機能拡張を実現するために使用される。図 5・9 にパケットフォーマットを示す。アプリケーション定義パケット名は拡張機能を識別するために使用される。アプリケーション定義パケットの PT は 204 である。IC フィールドにはサブタイプと呼ばれる値が格納され、アプリケーション定義パケット名と組み合わせて利用される。

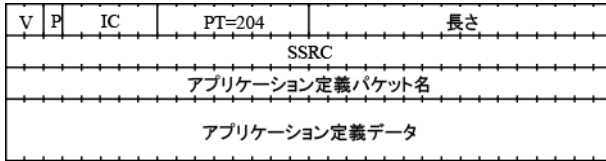


図 5・9 アプリケーション定義パケットのフォーマット

5-3-7 レポートインターバル

参加者は RTCP 複合パケットを定期的送信するが、その平均時間間隔をレポートインターバルと呼ぶ。レポートインターバルは、セッション帯域幅に対する RTCP トラフィックの割合が一定に保たれるように適切に算出される。レポートインターバルの値に影響を与える要素としては次のようなものがあげられる。

- (a) RTCP に割り当てられるセッション帯域幅の割合^{*3}。
- (b) RTCP に割り当てられる帯域幅。
- (c) RTCP パケットの平均サイズ。
- (d) 参加者総数。
- (e) 送信者の割合。

これらの情報はアプリケーションによって保持される参加者データベースから知ることができる。

■参考文献

- 1) S. Prabhavat, H. Nishiyama, N. Ansari, and N. Kato, "Effective Delay-Controlled Load Distribution over Multipath Networks," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems.
- 2) C. Perkins, "マスタリング TCP/IP RTP 編," オーム社, Apr. 2004.

^{*3} 通常は 5%。

■3 群 - 4 編 - 5 章

5-4 誤り訂正とレート制御

(執筆者：加藤 寧，西山大樹) [2013年6月 受領]

本節では、RTP/RTCP のフレームワークを利用した誤り訂正とレート制御について述べる。誤り訂正法としては FEC (Forward Error Correction) と再送のそれぞれについて、レート制御法としては TCP との親和性を考慮した手法について述べる。

5-4-1 パリティ FEC による誤り訂正

パリティ FEC¹⁾ では、RTP パケットからパリティパケットを作成し、それを別の RTP ストリームとして送信する。受信者は、パリティパケットを利用して欠落したデータを回復することができる。パリティ FEC は汎用性に優れており、RTP パケットのどのペイロードタイプにも適用可能である。最も単純なパリティパケットの作成方法は、連続する $(N-1)$ 個の RTP パケットから 1 個のパリティパケットを作成する方法であり、この場合、 N 個のうちの 1 個まで欠落パケットを回復できる。

5-4-2 再送による誤り訂正

RTCP の新たなパケットタイプとして否定確認応答や肯定確認応答を定義することにより、欠落した RTP パケットの再送が可能になる²⁾。否定確認応答では欠落したパケットの情報が、肯定確認応答では正しく受信されたパケットの情報が受信者から送信者へと伝達され、送信者は確認応答情報に基づいて必要な再送制御を行う。RTCP パケットは通常はレポーティングインターバルに従って定期的に送信されるが、確認応答の場合はその限りではない。

5-4-3 レート制御

UDP ベースのリアルタイムメディア転送のためのレート制御法の一つに、TCP との親和性を考慮した TFRC (TCP Friendly Rate Control)³⁾ がある。TCP のレート制御法が AIMD (Additive Increase Multiplicative Decrease)⁴⁾ アルゴリズムであることは広く知られており、その平均スループット (T) は次式で表され、TFRC ではこの式に従ったレート制御が行われる。

$$T = \frac{S}{d\sqrt{\frac{2p}{3}} + 3p(1+32p^2) \cdot R\sqrt{\frac{3p}{8}}} \quad (5 \cdot 1)$$

ここで、 S はパケットサイズ、 R は TCP の再送タイムアウト値、 d は送受信者間の往復遅延時間 (RTT)、 p はパケット欠落率である。式(5・1)は TFRC をはじめとした様々な制御法での利用が提案されているが^{5),6)}、実際にレート制御を行うためには RTT とパケット欠落率を知る必要がある。一方、これらの値は RTCP の受信レポートに含まれる情報から簡単に推測することができる。つまり、RTP/RTCP を利用すれば、アプリケーションレベルでの特別な計測などを必要とすることなく TFRC によるレート制御を行うことができる。

■参考文献

- 1) A. H. Li, "RTP Payload Format for Generic Forward Error Correction," IETF RFC 5109, Dec. 2007.
- 2) J. Ott et al., "Extended RTP Profile for Real-time Transport Control Protocol (RTCP)-Based Feedback

- (RTP/AVPF),” IETF RFC 4585, Jul. 2006.
- 3) S. Floyd et al., “TCP Friendly Rate Control (TFRC): Protocol Specification,” IETF RFC 5348, Sep. 2008.
 - 4) H. Nishiyama, N. Ansari, and N. Kato, “Wireless Loss-Tolerant Congestion Control Protocol Based on Dynamic AIMD Theory,” IEEE Wireless Communications, vol.17, no.2, pp.7-14, Apr. 2010.
 - 5) K. Kashibuchi, A. Jamalipour, and N. Kato, “Channel Occupancy Time Based TCP Rate Control for Improving Fairness in IEEE 802.11 DCF,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol.59, no.6, pp.2974-2985, Jul. 2010.
 - 6) H. Nishiyama, Z. Md. Fadlullah, and N. Kato, “Inter-Layer Fairness Problem in TCP Bandwidth Sharing in 10G-EPON,” IEEE Systems Journal, vol.4, no.4, pp.432-439, Dec. 2010.