

IP 網と民生機器を用いた省コスト型 HD 映像・音声配信システムの実現

代表研究者 朝 枝 仁 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科特任准教授
 共同研究者 三 島 和 宏 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科後期博士課程

1 本研究開発の背景と目的

インターネットの高度化に伴い、インターネットを通じた高品質な映像・音声の配信が容易に行われるようになった。特に業務用機器を用いた HD 品質の配信システムでは、逐次型の配信だけでなく、純粋なリアルタイム配信を行うための商用アプリケーションやフリーアプリケーションなどが提供され、利用可能となってきた。しかし、これらのシステムでは非常に高価な機器を組み合わせてシステム構築することが前提となっており、一般ユーザが安価に利用できるシステムとは言えない。

更に、一般ユーザが現在多く利用しているストリーミング環境では、USTREAM[1]やニコニコ動画[2]のようなプログレッシブダウンロード方式[3]による受信が中心となっており、遅延が極めて低い HD 品質のリアルタイムストリーミングを既存の環境で高品位に再生するのは困難である。このような背景から、一般ユーザが気軽に利用できる機器（ここでは民生用機器と定義する）を用い、HD 品質の映像や音声のストリーミングを低コストで実現できる環境が望まれていることは明白である。

本研究開発では、一般に普及している低コストの民生用機器を用いて HD 品質の映像・音声配信を実現できるシステム要件を調査し、その知見を基に、一般ユーザが気軽に利用できる HD 品質の配信システムを実現する。本システムを用いる事により、HD 品質のリアルタイム配信を低コストに行うことが可能となり、将来多くのユーザが気軽に高品質な映像・音声配信を利用できる通信社会を目指す。

2 本研究開発を取り巻く環境

我々の研究グループでは、DVTS (Digital Video Transport System) [4][5]と呼ばれる配信アプリケーションを開発し、公開している。DVTS は、送信用アプリケーションと受信用アプリケーションからなり、Windows OS・MacOSX・UNIX OS の各 OS 環境での動作が可能なソフトウェアがオープンソースアプリケーションとして提供されている。このアプリケーションは、民生用 DV カメラを用いた高品質な映像・音声配信を行うことを目的として開発され、DV と同じ IEEE1394[6]インタフェースを用いる HDV にも対応している。

このアプリケーションの研究開発においては、IP 網において RTP[16]を用いて伝送するために、標準化団体である IETF において、RFC3189 (映像伝送に関わるプロトコル) [7]ならびに RFC3190 (音声伝送に関わるプロトコル) [8]が標準化されている。本システムは、国内外の多くの組織で利用され、現在でも遠隔講義、遠隔医療、放送ソースの伝送などといった目的で広く利用されている。

しかし、DVTS は IEEE1394 インタフェースからの入力信号を利用したシステムであり、これらのインタフェースを持つカメラなどの入力装置がなければ利用できない。昨今の環境の変化に伴い、カメラだけでなく、配信に利用する計算機環境においても、IEEE1394 インタフェースを持つ機器数が減少している。すでにメーカーでは民生向けの IEEE1394 インタフェースを持つ機器の販売が終了しており、今後の展開が不透明となっている。

これに対して、現在の民生用機器を用いた配信システムは、ブラウザをベースとしたプログレッシブダウンロード方式の配信形態が中心となっている。プログレッシブダウンロード方式は、Flash などのプラグインを用いる事で、ブラウザを介して映像・音声データを少量ずつ HTTP(TCP)にてクライアントに蓄積させ、これを再生させることで擬似的にリアルタイムに映像・音声配信が行われているように見せる配信技法である。この方式を採用している例としては、国外であれば USTREAM や国内であればニコニコ動画 (生放送) などが挙げられる。これらのサイトでは OS のキャプチャデバイスとして認識された機器であればいずれの機器でも利用でき、IEEE1394 だけでなくその他のインタフェースを通じて映像・音声データを取得する。しかし、入力機器の取り込みが出来る品質の限界や配信手法の限界から、HD 品質の高品位な配信にはほぼ利用されていない現状がある。

民生機器のカメラに搭載されたデータの入出力インタフェースはさまざまなものがある。主に搭載されるインタフェースとしては、HDMI (High-Definition Multimedia Interface) [9]・USB (Universal Serial Bus) [10]・IEEE1394・DVI (Digital Visual Interface) [11]などが挙げられる。これらのインタフェースのうち、近年発売されている機器に主に搭載されるインタフェースは、HDMI を用いることが一般的である。HDMI を搭載した HD 対応カメラはもっとも安価なものであれば 1 万円程度で購入できる機器もあり、非常に入手しやすい機器である。

また、本研究開発にて挙げている HDMI からデータを取得し IP 網を通じて配信するシステムについては、前述した DVTS が利用する国際標準の改訂版 (RFC6469[12]) をベースとした配信システムの試作版が商用システム[13]として発表されているものの、一般ユーザが広く自由に利用できるフリーアプリケーションとしての開発は行われていない。このため、既存の DVTS に代わる新たな配信システムの登場が望まれている。DVTS のコンセプトは、高品位な映像や音声を民生機器により安価に配信することで、多くのユーザにとって利用しやすいシステムの提供を行うことである。このコンセプトにのっとり、現在の機器環境に即した、新たな配信システムを実現することが急務となっている。

3 IP 網と民生機器を用いた省コスト型 HD 映像・音声配信システム

3-1 HD 映像・音声配信システムのハードウェアコンポーネント

本研究開発では、HDMI を用いた機器から得られる映像・音声データのインターネットを介した伝送システムの開発を行う。開発に先立ち、開発に利用可能な機器構成ならびに HDMI を用いた機器から得られる映像・音声データがどのフォーマット・プロトコルによって取得可能であるかの調査を実施した。

(1) ビデオカメラ

映像・音声データの取得元となるデバイスは複数考えられるが、本研究開発では容易に利用可能なデバイスとしてビデオカメラによる映像・音声取得を行うこととした。現在、市販されるビデオカメラのうち、民生用機器として用いられる機器には、ソニー社やパナソニック社といった家電メーカーにより販売される商品と、ヤシカ社やエクゼモード社といった格安機器を販売するメーカーによる商品がある。前者のビデオカメラでは、3 万円程度から 10 万円程度までの間の価格帯で販売され、従来のビデオカメラユーザからの乗り換えに利用される。また、後者のビデオカメラでは、1 万円を切る販売価格の商品もあり、コンシューマユーザとして非常に容易に購入・利用が可能なものとなっている。

これらのカメラの多くには、HDMI 端子ならびに USB 端子が装備されている。USB 端子は主にカメラ内のフラッシュメモリに記録された静止画データや映像データのファイルとしての PC への取り込みに利用されるため、リアルタイムな配信に利用するのは難しい。これに対して、HDMI 端子は主に市販のテレビに接続し映像・音声を閲覧するために利用される用途が多い。HDMI 端子からの出力はカメラからのリアルタイムなデータ取得を可能とするため、本研究開発で用いる映像・音声データ取得元として好ましいものである。HDMI 端子から出力される映像・音声信号は、何かしらのフォーマットにて圧縮などが行われているわけではなく、非圧縮の映像・音声信号が取得できる。

(2) 入力装置 (キャプチャデバイス)

ビデオカメラから出力された映像・音声データをコンピュータに対して取り込むための装置としてキャプチャデバイスがある。先述した DVTS では、PC に付随する DV インタフェースから直接データを取得して映像・音声データとして利用するため、専用のキャプチャデバイスは必要ではない。しかし、HDMI 端子の場合、入力装置として HDMI 端子のみを持つコンピュータが存在しないため、HDMI 端子を持つキャプチャデバイスを必要とする。PC で利用可能な HDMI 端子を持つキャプチャデバイスには、BlackMagickDesign 社により発売される Intensity Pro (PCI Express カードとして搭載) もしくは Intensity Shuttle (USB3.0 インタフェースとして搭載: 2010 年当時) が代表的なものとして挙げられ、価格は 5 万円程度する。これに加えて、バルクデバイスとして販売されるキャプチャカードが複数社より発売されており、こちらの価格は 1 万円程度で購入できる。

これらのカードを Microsoft Windows OS 搭載の PC にて利用する場合、Microsoft Windows の持つマルチメディア API である DirectShow[14]の 1 デバイスとして認識され、OS からは共通のビデオキャプチャデバイスとして抽象化される。DirectShow により抽象化されて認識されるデバイスは、HDMI 端子だけでなく、従来の映像信号・音声信号取り込み用のキャプチャデバイスも同様の抽象化のもと認識される。Microsoft

Windows OS により認識されたキャプチャデバイスは、非圧縮の映像・音声信号としてコンピュータに取り込みが可能となる。

これらの機器の現状より、本研究開発が実現する HD 映像・音声配信システムは、図 1 に示すような構成にて実現する。映像・音声を送信する側は、HDMI キャプチャデバイスを搭載した PC とビデオカメラによって構成され、カメラと PC の間は HDMI 入出力端子を通じてリアルタイムにデータのやり取りを行う。また、受信する側は、配信ソフトウェアを搭載した PC にて構成され、受信した映像・音声は画面上への出力を行うことでデータを表示させる。双方の PC には、映像・音声を IP 網を通じて配信するためのアプリケーションソフトウェアを搭載し、RTP/IP にてカプセル化したデータを送受信するようにする。

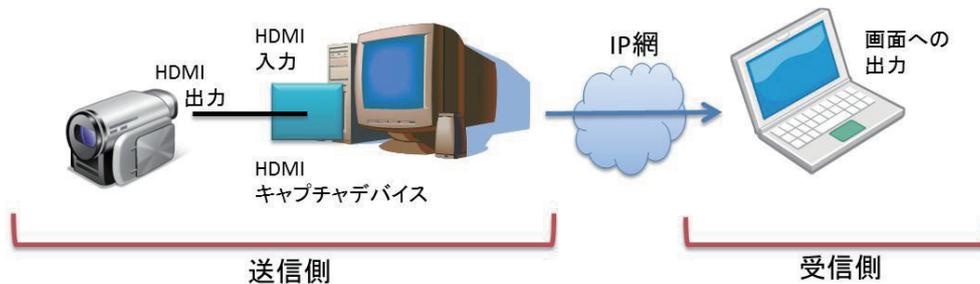


図 1：本研究開発が実現する配信システムの機器構成

図 1 に示した機器にて HDMI 端子を搭載したビデオカメラから映像・音声データを取得し、表示を行う機器構成例を図 2 に示す。本研究開発にて実現する映像・音声配信システムも同様の機器構成にて実現される。この構成例では、アプリケーションソフトウェアを実行するためのコンピュータ (Lenovo ThinkPad X220 : USB3.0 インタフェース搭載)、HDMI キャプチャデバイス (Black Magick Design Intensity Shuttle : USB3.0 経由での接続)、HDMI ビデオカメラ (SONY ハンディカム HDR-CX180) を接続した様子を示している。



図 2：実際の機器による構成例

ここに示した機器だけでなく、Microsoft Windows OS を搭載した PC、HDMI 端子を搭載したキャプチャデバイス (PCI Express カードや USB 端子経由での接続デバイスなど) のうち Windows 上で DirectShow デバイスとして動作するもの、HDMI 端子を搭載したビデオカメラ (各メーカー) の組み合わせであれば、いずれの機器構成であっても、映像・音声の配信を可能とする。

3-2 HD 映像・音声配信システムのソフトウェアコンポーネント

(1) Windows アプリケーションにおける DirectShow と COM

本研究開発で実現する映像・音声配信システムは、Microsoft Windows OS 上で動作するアプリケーションソフトウェアとして実現する。Microsoft Windows OS 上でマルチメディア処理を実現するためには、Microsoft 社によるマルチメディア拡張 API である DirectShow テクノロジーを利用する必要がある。DirectShow テクノロジーを利用することにより、抽象化されたデバイスを通じて、映像・音声データの OS ならびにソフトウェア上でのやり取りが可能となる。

また、DirectShow テクノロジー上に IP 通信のためのコンポーネントを組み込むことにより、ストリーミング配信も実現できるようになる。また、ハードウェアに対して、直接描画を行うための DirectDraw 機能へのインタフェースも備えるため、ビデオカードにおける描画資源を有効に活用し、高パフォーマンスな映像・音声処理が可能である。このため、高価かつ高品質な計算機を用いることなく、ある程度以上の計算機性能を持つコンピュータで HD 品質の映像・音声データを扱うことができる。さらに、DirectShow では、ハードウェアの抽象化を行うため、前述したキャプチャデバイスなどのように多くのメーカーが存在するデバイスであっても、メーカー間のハードウェアの差異を意識することなくアプリケーション開発が可能となるため、汎用性の高いアプリケーションをより効率的に開発することができる。

DirectShow は、Microsoft Windows OS に実装されている Component Object Model (COM) [15] に基づくソフトウェアコンポーネントである。DirectShow アプリケーションでは、この COM クライアントモデルに従って実装される。また、各アプリケーションでは、DirectShow に用いられる COM に従った COM オブジェクトを実装することで、DirectShow に対する機能拡張を行うコンポーネントの開発が可能である。COM オブジェクトは、自オブジェクトへのインタフェースとしてピンが実装される。DirectShow にて用いられる COM オブジェクトの例を図 3 に示す。この例では、1 つの入力ピンと 1 つの出力ピンで構成されるオブジェクトを示している。



図 3: DirectShow フィルタ

COM オブジェクトが持つピンには、必ず CLSID(ClassID) ないしは IID(InterfaceID) を持ち、この値は一意に決められたものである。他の ID と混同しない値の定義を行う。アプリケーションは、この ID を元にピンのインタフェース検索を行う。DirectShow では、この COM オブジェクトはフィルタと呼ばれる。アプリケーション開発者は、このフィルタを独自に開発することで様々なメディアフォーマットに対応した Windows アプリケーションを実装可能である。

(2) 映像・音声配信システムのソフトウェアコンポーネント構成

本研究開発で実現する映像・音声配信を行うソフトウェアは、図 4 に示すコンポーネントにて構成される。ソフトウェアは、1) アプリケーションソフトウェア、2) RawHD/RTP 送信フィルタ、3) RawHD/RTP 受信フィルタの 3 つのコンポーネントで構成される。アプリケーションソフトウェアは、送受信のための DirectShow フィルタの制御とユーザに対するインタフェースを提供する。RawHD/RTP 送信フィルタは、送信側アプリケーションソフトウェアにて利用され、キャプチャデバイスより取得した映像・音声データを IP 網に対して送信できるデータ形式へ変換 (IP カプセル化ならびに RTP カプセル化) し、受信フィルタに対して送信を行うコンポーネントである。RawHD/RTP 受信フィルタは、受信側アプリケーションソフトウェアで利用され、送信側より送出されたデータを受信し、ビデオ出力できるデータ形式へ変換 (脱 IP カプセル化ならびに脱 RTP カプセル化) を行う。

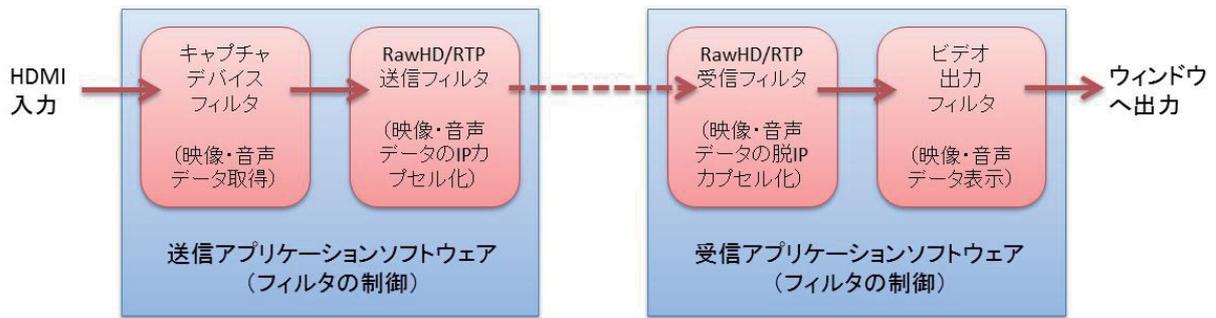


図 4 : アプリケーションソフトウェアのコンポーネント構成

送受信ノード間のデータ伝送には、RTP(Real-time Transport Protocol)を用いる。RTPは、インターネット上で映像や音声などのリアルタイム性が重視されるデータの転送に利用されるプロトコルである。RTPは、RFC3550[16]としてIETFにて定義されている。RTPの持つサービスとしては、以下の5つの機能がある。

- ペイロードタイプ識別
- シーケンス番号付与
- タイムスタンプ付与
- ジッタ対策
- パケット喪失対策

RTPは、主にUDP上で動作するプロトコルとして設計されているが、UDP以外のプロトコル上でも動作可能である。RTPは、マルチキャストにも対応している。RTP自身は、到着時間の保証といったQoS制御は行わない。また、RTPは配送や配送の到達順序自体を保証するプロトコルではない。RTPパケットの受信者は、RTPパケットに含まれるシーケンス番号を利用して、パケットの並び替えや喪失の検知を行うことができる。

また、送信側におけるフィルタの接続構成を図5に示す。また、受信側におけるフィルタの接続構成を図6に示す。

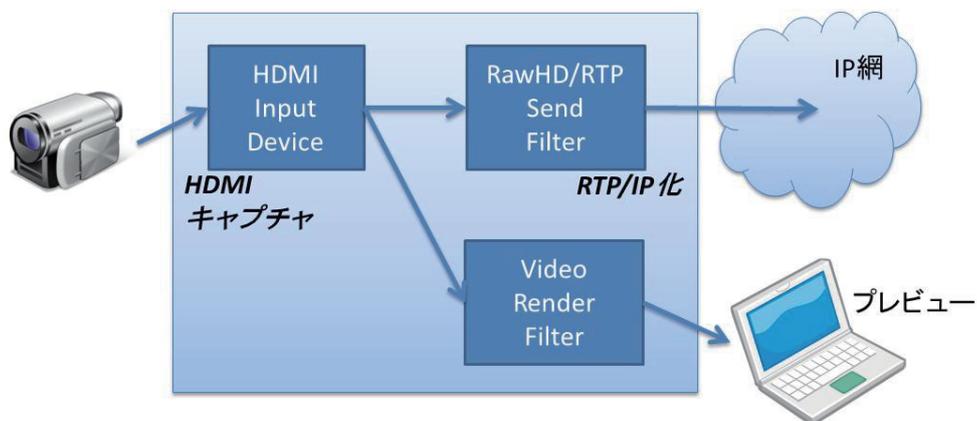


図 5 : 送信側コンピュータにおけるフィルタ構成

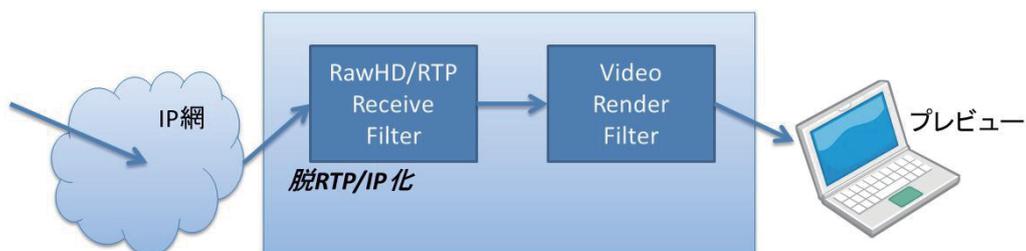


図 6 : 受信側コンピュータにおけるフィルタ構成

HDMI キャプチャデバイスから入力されたデータは、HDMI キャプチャデバイスを抽象化したフィルタを介して取得可能である。入力（キャプチャ）デバイスフィルタは、直接ハードウェアを制御する。キャプチャデバイスから入力されたデータは、RawHD/RTP 送信フィルタを介して IP パケット化され、ネットワークを通じて受信ノードに到達する。また、この例では、送信データのプレビューを行うために、受信データを複製し、ビデオ出力フィルタを通してモニタにデータを表示させる場合のフィルタ構成例である。受信ノードでは、ネットワークを通じて受信した IP パケットを、一度 RawHD/RTP 受信フィルタに入力させる。その上で、映像・音声データを画面上のウィンドウ（出力デバイス）に対してデータが送信させる。これにより、受信データの表示が行われる。

4 HD 映像・音声配信システムの実現と評価

4-1 映像・音声配信アプリケーション

本研究開発にて実装を行った HD 映像・音声配信システムのうち、「アプリケーションソフトウェア」に当たるソフトウェアの実行ウィンドウを図 7 に示す。前述したとおり、本アプリケーションは、送信側 PC にてカメラからの入力データを処理するフィルタの制御を行ったり、受信側 PC にて受信データを画面上に表示させるフィルタの制御を行ったりするものである。また、ユーザの利便性を考慮し、システムの利用に必要な機能をすべて 1 つのウィンドウ内で実現し、送信側アプリケーションとしても、受信側アプリケーションとしても動作するようになっている。本アプリケーションは、Microsoft Visual Studio 2010 に含まれる C++ にて開発が行われており、MFC(Microsoft Foundation Class) フレームワークが用いられており、Windows OS が動作するコンピュータであれば機種ならびに 32bit/64bit 環境を問わず動作する。



図 7：アプリケーションソフトウェア

映像・音声の送信を行いたいユーザは、本アプリケーションを起動し、送信に利用するキャプチャデバイスを選択し、送信を行いたい相手の IP アドレス情報を入力し、送信開始ボタンを押すことにより、データの送信を開始する。送信に当たってのパラメータは、図 7 に示したウィンドウから設定できる項目のみとなっており、今後さらなる利便性を高めるために、送信時のパラメータ（送信フレームレートや解像度など）の変更への対応を行う必要があると考えている。

次に、送信された映像・音声を受信したいユーザは、本アプリケーションを起動し、受信開始ボタンを押すことでデータの受信と画面への表示を行う。本研究開発での配信システムでは、送信側が送信したデータではパラメータを変更することで柔軟なデータ配信が可能になるが、受信側で行うことができるパラメータ変更は特に存在しないため、設定できる項目は非常に限られている。今後、画面への表示以外にデバイスへの出力への対応を行う場合には、追加される設定項目の検討・インターフェースの見直しが必要である。

本アプリケーションは、設定項目が少ないことにより、シンプルなウィンドウ構成にて実現できている。しかし、すでに公開されている DVTS では、多くのオプションが存在することから非常に複雑なウィンドウ構成となっている。このことから、今後設定可能なオプション項目の増加に伴い、ユーザの利便性を高めるためのユーザインターフェースの改善などは随時行っていく必要があると考えている。

4-2 RawHD/RTP 送信フィルタ

RawHD/RTP 送信フィルタは、本研究開発にて実装を行った HD 映像・音声配信システムのうち、「送信を行うコンポーネント」に当たる。本フィルタは、前述した DirectShow における Transition フィルタとして動作するオブジェクトであり、HDMI キャプチャデバイスから取得したデータを RTP ならびに IP にてカプセル化を行い、指定された受信ノードに対してデータを UDP にて送信する。本フィルタは、Microsoft Visual Studio 2010 に含まれる C++にて開発が行われており、DirectShow を利用するためのライブラリとして Microsoft Windows SDK Version. 7.1 を用いている。RawHD/RTP 送信フィルタが持つ CLSID ならびに IID は以下の通りである。

```
// CLSID_RawHDRTPSendFilter
// {74D4EC5D-E83B-46a1-AD78-A9290DEC79EA}
DEFINE_GUID(CLSID_RawHDRTPSendFilter,
0x74d4ec5d, 0xe83b, 0x46a1, 0xad, 0x78, 0xa9, 0x29, 0xd, 0xec, 0x79, 0xea);
// IID_IRawHDRTPSendFilter
// {FBD5540F-376C-45a8-A458-0DB50B8A3DB1}
DEFINE_GUID(IID_IRawHDRTPSendFilter,
0xfbd5540f, 0x376c, 0x45a8, 0xa4, 0x58, 0xd, 0xb5, 0xb, 0x8a, 0x3d, 0xb1);
// CLSID_RawHDRTPSendFilterProperty
// {720C47A9-F84E-4ea1-8E89-9C97E62B0165}
DEFINE_GUID(CLSID_RawHDRTPSendFilterProperty,
0x720c47a9, 0xf84e, 0x4ea1, 0x8e, 0x89, 0x9c, 0x97, 0xe6, 0x2b, 0x1, 0x65);
```

本フィルタでは、送信先アドレスならびに送信先ポート番号がオプションとして設定できる。これらのオプションの変更は、制御を行うアプリケーションソフトウェアならびにフィルタ単体のプロパティとして設定することが可能となっている。図8にDirectShowの付属ツールであるGraphEditによりフィルタを構成し、そのプロパティを表示させたものを示す。

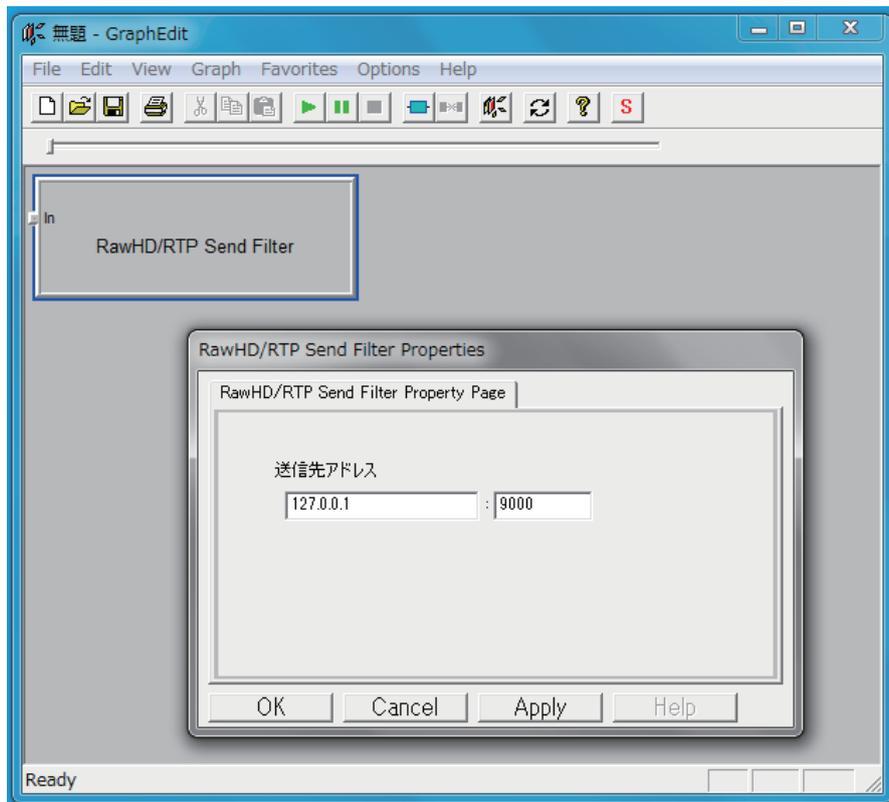


図 8 : RawHD/RTP 送信フィルタ

4-3 RawHD/RTP 受信フィルタ

RawHD/RTP 受信フィルタは、本研究開発にて実装を行った HD 映像・音声配信システムのうち、「受信を行うコンポーネント」に当たる。本フィルタは、前述した DirectShow における Source フィルタとして動作するオブジェクトであり、IP 網を通じて送信された映像・音声データを脱カプセル化し、受信アプリケーションに対して送信する機能を持つ。本フィルタは、Microsoft Visual Studio 2010 に含まれる C++にて開発が行われており、DirectShow を利用するためのライブラリとして Microsoft Windows SDK Version. 7.1 を用いている。RawHD/RTP 受信フィルタが持つ CLSID ならびに IID は以下の通りである。

```
// CLSID_RawHDRTPRecvFilter
// {85B97576-14D2-415b-A08E-8529B6FBE4BE}
DEFINE_GUID(CLSID_RawHDRTPRecvFilter,
0x85b97576, 0x14d2, 0x415b, 0xa0, 0x8e, 0x85, 0x29, 0xb6, 0xfb, 0xe4, 0xbe);
// IID_IRawHDRTPRecvFilter
// {E3AE5F72-B0D2-4dbc-ADAD-9FF4A48B6377}
DEFINE_GUID(IID_IRawHDRTPRecvFilter,
0xe3ae5f72, 0xb0d2, 0x4dbc, 0xad, 0xad, 0x9f, 0xf4, 0xa4, 0x8b, 0x63, 0x77);
// CLSID_RawHDRTPRecvFilterProperty
// {1204973A-D22C-4efd-8E31-C600FDC1BCEC}
DEFINE_GUID(CLSID_RawHDRTPRecvFilterProperty,
0x1204973a, 0xd22c, 0x4efd, 0x8e, 0x31, 0xc6, 0x0, 0xfd, 0xc1, 0xbc, 0xec);
```

本フィルタでは、受信ポート番号がオプションとして設定できる。このオプションの変更は、制御を行うアプリケーションソフトウェアならびにフィルタ単体のプロパティとして設定することが可能となっている。図 9 に DirectShow の付属ツールである GraphEdit によりフィルタを構成し、そのプロパティを表示させたものを示す。

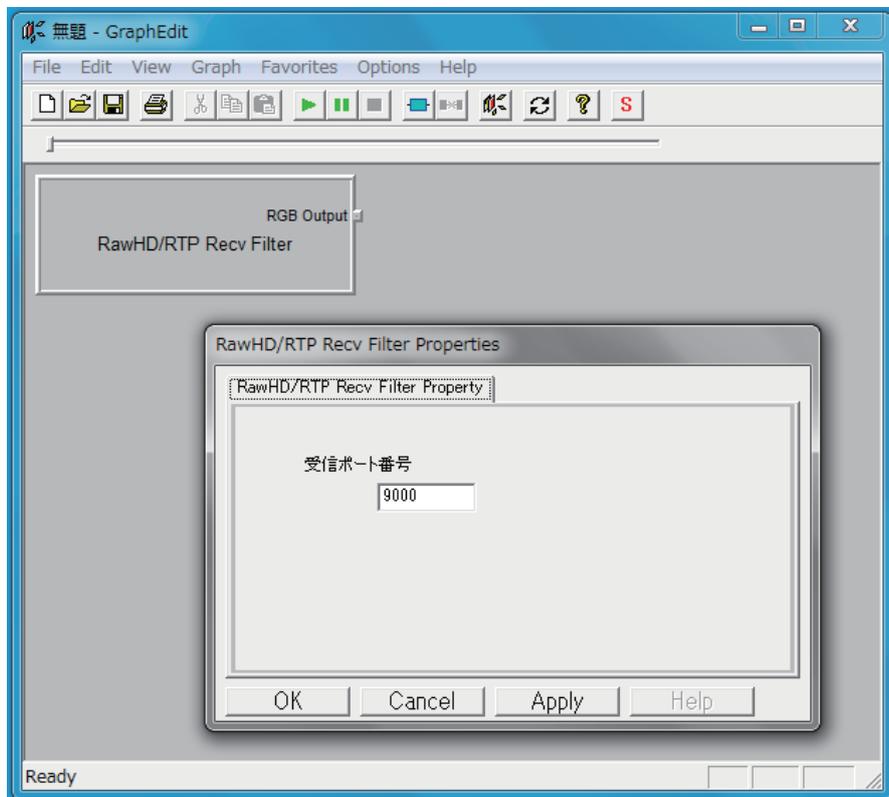


図 9 : RawHD/RTP 受信フィルタ

4-4 HD 映像・音声配信システムの動作（定性評価）

本研究開発では、IP 網と民生機器を用いた省コスト型 HD 映像・音声配信システムの開発を行った。本配信システムでは、以下の機能を実現した。

- HDMI 端子を搭載した民生用ビデオカメラを利用した非圧縮 HD 映像・音声配信の実現
 - ▶ HDMI キャプチャデバイスから取得した映像・音声データの IP ネットワークを介した送信
 - ▶ IP ネットワークを介して送信された映像・音声データの受信
 - ▶ IPv4/IPv6 での映像・音声データの配信
- Windows OS 上で動作する送受信フィルタと制御アプリケーションの実現

動作の検証においては、以下に挙げる計算機環境において評価を実施した。

CPU (送信)	Intel Core i5-650 3.2GHz
メモリ (送信)	8GB
ハードディスク (送信)	250GB
NIC	Intel 82578DM 1Gbps NIC
映像・音声機器 (キャプチャ・送信)	Black Magic Design Intensity Pro
映像・音声機器 (カメラ・送信)	SONY HDR-CX180

CPU (受信)	Intel Core i7-2640M 2.8GHz
メモリ (受信)	8GB
ハードディスク (受信)	320GB
NIC(受信)	Intel 1Gbps NIC

本配信システムでは、HDMI より取得した映像・音声データを非圧縮にて送受信ノード間にてやり取りを行う。Windows OS に搭載されているタスクマネージャに含まれるネットワークパフォーマンスステータスより配信時の使用帯域を調査したところ、1Gbps の通信速度を持つインタフェースにおいて、ネットワーク使用率が約 40%程度となっており、約 400Mbps~500Mbps の帯域幅を必要とすることが確認された。従来の DVTS で必要とする帯域幅が 30Mbps 程度であり、非常に高速なネットワークを要することが確認できる。このことから、本システムの利用可能なネットワーク環境には現時点では制約があるため、映像・音声データの圧縮などの検討が必要となる。しかし、映像・音声の圧縮は、処理のための遅延時間を生じさせる結果となることから、使用する圧縮方式などを十分に検討する必要がある。これらの機能の検討ならびに実現については、今後の研究開発の課題として考えることができる。

5 本研究開発のまとめと今後の課題

本研究開発では、一般に普及している低コストの民生用機器を用いた高品質な映像・音声の IP 網を通じた配信を行うためのシステムの実現を目指した。高品質な映像・音声配信に広く利用されている DVTS は、IEEE1394 インタフェースからの入力信号を利用したシステムであり、昨今の環境の変化に伴い、カメラだけでなく、配信に利用する計算機環境においても、IEEE1394 インタフェースを持つ機器数が減少し、今後の展開が不透明となっている。このため、次世代の配信システムを担うべく、HD 品質の映像・音声配信を実現できるシステム要件を調査し、その知見を基に、一般ユーザが気軽に利用できる HD 品質の配信システムの実現をめざす必要が生じた。そこで、現在市販される民生用ビデオカメラで広く利用されている HDMI を用いた映像・音声配信システムを検討し、実装した。

配信システムの実現に先駆けて、HDMI を利用したシステムの調査を実施し、1) カメラ、2) 入力装置 (キャプチャデバイス) の各ハードウェアについて、現在の市場状況ならびに HDMI を用いた機器から得られる映像・音声データがどのフォーマット・プロトコルによって伝送されるかどうかについて調査を行った。これにより、Windows OS を搭載した PC においては、Windows のマルチメディア API である DirectShow で利用可能な機器として各デバイスが認識され、OS として抽象化された状態で利用可能であることが確認できた。

これに基づき、実際に配信を行うシステムを設計し、実装した。システムの設計ならびに実装においては、我々の研究グループにて開発された DVTS の Windows 版で得られた知見も応用した。本システムは、Windows OS

上で動作するソフトウェアとして実現され、DirectShow の機能を利用する。また、本システムは、1) アプリケーションソフトウェア、2) RawHD/RTP 送信フィルタ、3) RawHD/RTP 受信フィルタの3つのコンポーネントで構成される。IP 網を通じた伝送にあたっては、インターネット上でリアルタイムな映像・音声データの配信に用いられる RTP を利用する。さらに、本システムが実現した機能についてまとめ、各コンポーネントの実際の構成ならびにシステムの動作について定性的に評価を実施した。

本研究開発における今後の課題としては以下のものが挙げられる。

- 配信システムが設定可能な品質パラメータの検討と機能向上
本研究開発において実装を行った配信システムでは、映像・音声の配信時に取りうる品質パラメータがごく限られたものとなっている。多様なネットワーク環境に対して柔軟に適用していくシステムを目指すためには、フレームレートやビットレートなどのパラメータを調整することにより、使用する帯域など細やかな調整が可能となる。しかし、品質パラメータは映像・音声の品質に直結するものであり、配信される映像・音声を閲覧するユーザの感性に影響するものであるため、オプションとして取り入れるものについては十分な検討が必要となる。これらの検討とシステムに対する必要機能の拡充が今後の課題として挙げられる。
- 機能向上に伴うユーザインタフェースの見直し
現在のアプリケーションソフトウェアでは、必要最低限のオプションが存在することが想定されているため、非常にシンプルなユーザインタフェースとなっている。パラメータ変更を可能とするシステムとする場合、このインタフェースに対しても手を加える必要があり、あまり多くの機能を加えるとユーザビリティが低下する可能性がある。従来の DVTS のユーザインタフェースはある程度高度な知識を持ったユーザを対象としたものであり、分かりにくいという場面もあった。そこで、これらの知見を含めたユーザインタフェースの検討も必要であると考えられる。
- 高帯域なネットワークを必要とする現アーキテクチャの再検討
本配信システムは非常に高帯域なネットワーク環境を要する。ユーザの環境を想定し、非常に大きな帯域を必要としない配信システムの構築も必要である。そこで、現在のシステムに、映像・音声の圧縮を行うフィルタを加えることで、高品質かつ必要十分なネットワーク帯域で配信を行えるようにする機能の拡充を検討する。しかし、データの圧縮では処理時間が必要となるため、配信のリアルタイム性が低下する可能性が考えられる。これらの状況も考慮し、システムに対してより良い改善を加えていくことを検討する。
- さらに改善と広いデプロイメント活動の継続
本研究開発では、ネットワーク技術者が集まる国際会議での登壇やそのほかのコミュニティに対する働きかけを行ってきた。本システムをより広く活用してもらえるようにするべく、上述した検討課題を含めた機能改善を行うことと、さらなるデプロイメント活動の継続が重要であると考えられる。このため、継続してこれらの活動を行っていく。この研究開発では、ターゲットとする環境が Windows OS に絞られているが、MacOSX や UNIX 環境でのシステムの開発も行う必要があると考えている。マルチプラットフォーム化を推進するための活動についても継続的に行っていきたい。

また、研究的側面から、高帯域かつリアルタイム性の高い映像・音声配信における動的配信制御の検討についても考えられる。本研究プロジェクトでは、この研究開発とは異なるプロジェクトとして、TCP 親和性を持つ UDP トラフィック制御や誤り訂正技術を用いたトラフィック制御技術など動的配信制御技術の研究開発も継続的に行っている。これらの技術の今回開発されたシステムへの技術適用を行っていくことは、システムのさらなる高度化ともつながるため、検討課題の1つとして考えられる。このように、本助成による研究開発は、システム開発による初期段階での研究開発ならびにそれを用いた応用研究まで幅広い可能性を秘めており、今後の継続的な研究開発活動を行っていきたく考えている。

【参考文献】

- [1] USTREAM, <http://www.ustream.tv/>
- [2] ニコニコ動画, <http://www.nicovideo.jp/>
- [3] Zeki Yetgin, Gamze Seckin, "Progressive Download for Multimedia Broadcast Multicast Service," IEEE Multimedia, pp. 76-85, April-June, 2009
- [4] DVTS Project Web Page, <http://www.sfc.wide.ad.jp/DVTS/>
- [5] A.Ogawa, K.Kobayashi, K.Sugiura, O.Nakamura, J.Murai, "Design and Implementation of DV based video over RTP", May 2000, PacketVideo Workshop 2000
- [6] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. IEEE Std 1394-1995 High Performance Serial Bus. Aug 1996.
- [7] IETF, RTP Payload Format for DV (IEC 61834) Video, RFC3189, Jan 2002, IETF RFC
- [8] IETF, RTP Payload Format for 12-bit DAT Audio and 20- and 24-bit Linear Sampled Audio, RFC3190, Jan 2002, IETF RFC
- [9] HDMI Licensing, LLC, HDMI Specification Version 1.4a, <http://www.hdmi.org/manufacturer/specification.aspx>, 2010
- [10] USB Implementers Forum, Inc., Universal Serial Bus Revision 2.0 specification, <http://www.usb.org/developers/docs/>, 2000
- [11] Digital Display Working Group, DVI 1.0 Specification, http://www.ddwg.org/lib/dvi_10.pdf, 1999
- [12] IETF, RTP Payload Format for DV (IEC 61834) Video, RFC6469, Dec 2011, IETF RFC
- [13] <http://www.isid.co.jp/news/back/071119MacB.html>
- [14] Microsoft Corporation. Microsoft DirectX. <http://www.microsoft.com/windows/directx/>.
- [15] Microsoft Corporation. COM: Component Object Model Technologies. <http://www.microsoft.com/com/>.
- [16] IETF, RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications, RFC3550, July 2003, IETF RFC

〈発表資料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
HDm (New HDCAST Application)	UMECOT BoF: Post DVTS Collaboration, 2011 Fall Internet2 Member Meeting, Internet2, Raleigh, USA	2011年10月