

2008 年度春学期 ネットワークプログラミング

氏名：_____

2007 年 5 月 31 日

1 主題と目的

本講義では、1) どのようにインターネットが構成され、大規模ネットワークとして利用されているのか、2) マルチメディアコンテンツがどのように転送され、今後どのような経過を経て発展していくのかについて学ぶ。特に、インターネットを介した映像・音声を配信するための必要な要素・技術の習得と現状の動向を学習する。

現在、インターネットインフラはイベント中継、VoIP を例とした映像・音声の伝送路としての役割を社会的に担うようになっている。しかし、End-to-End model を原則とした自律分散協調型のインターネットでは、映像・音声配信を目的とした全ての要求に応えることは難しい。規模性、消費帯域の公平性、リアルタイム性、品質保証といった様々な問題が存在する。近年、通信と放送の融合が議論されているが、インターネットを放送基盤として利用するためには、前述した問題点を解決する必要がある。

本授業では、インターネットの伝送特性を学ぶ同時に、現在流通しているマルチメディア配信技術とその特徴を正しく理解する。その上で、現在抱える問題点を技術面と法律の観点から解説する。また、実際にプログラミング課題を通じ、メディア配信システムを深く理解・考察する。最終的に、学生自身がインターネットを利用した新しいメディア配信技術やシステムモデルを考察、創造できる能力を身につける。

2 講義の概要

本講義では全 15 回の講義を 4 つに分割する。

インターネットを用いた映像・音声配信の技術・動向を理解するためには、インターネットの特性を体系的に理解する必要がある。そのため、まずはじめにインターネットの特性及び転送方式について学ぶ。その上で圧縮技術、メディアフォーマットについて学ぶ。後半のテーマでは、実際に利用されている TV 会議システム、IP 電話、IP 放送を例に、メディアフォーマットと転送方式の組み合わせ、セッション管理技術などの応用分野について学習する。最後の講義では、課題を提示し、学生同士による発表・議論を行う。以下にその詳細を示す。

インターネットとメディア配信 (第 1 回～第 7 回)

インターネット基本的なアーキテクチャを概説する。インターネットがどのように構成され、データが転送されているのかを通信プロトコルを中心に学ぶ。また、代表的な通信プロトコルを例に、輻輳回避手法、品質保証等の転送方式の特徴を体系的に学ぶ。プログラミング実習を通じ、学生自らが転送プロトコルの特徴・問題点を考察する。

メディアフォーマット (第 8 回 ~ 第 10 回)

ストリーミング技術における映像・音声の CODEC について学ぶ映像・音声・メタデータ等に分類し、代表的なコンテンツフォーマットの構造及び特性について学ぶ。また、それぞれのメディアフォーマットの特徴に適した利用手法について学ぶ。

メディア伝送技術 (第 10 回 ~ 第 13 回)

インターネットを介してメディアを配信する技術を実例を基に学ぶ。また、技術面、法律面、ビジネスの観点から、問題点と今後の展望について理解する。

まとめ・グループワーク (第 14 回 ~ 第 15 回)

授業の総括、及び課題に対し、グループワークによる学生の発表・議論を行う。

3 教材と授業方法

講義は PowerPoint 形式のプレゼンテーションを通して実施する。講義マテリアルは Web 上に公開し、授業の進行状況に応じて随時更新を行う。

配信技術の実例を紹介する際には、各々の学生に事前にアプリケーションをインストールさせ、予めこちらで用意したネットワーク機材を用いる。そのため、講義は LAN 設備が備わった教室で行い、学生は必要に応じてラップトップコンピュータを所持していなければならない。また、プログラム作成を行う際、必要な開発環境を整える必要がある。開発環境の整備に関しては、授業中に別途支持を行う。

4 評価基準

成績評価は課題の提出状況と内容、最終講義で行う学生の発表内容 (最終課題) によって評価する。また、授業での積極的な発言・質問は、学生の意欲的な取り組み、講義の活性化にあたりと判断し、評価対象とする。

- 課題 (プログラミング実習を含む) 30%
- 最終課題 50%
- 授業出席・貢献 20%

5 履修上の注意

履修に当たり、基本的なインターネットについての知識を身につけていることが望ましい。また、プログラミング実習を行うため、C 言語または C++ 言語のプログラミング知識・経験があることを前提とする。

6 講義計画

第1回：イントロダクション

目的 インターネットを介したメディア伝送技術を深く理解するため，インターネットの基本的なアーキテクチャを理解する．

概要 自律分散協調型のインターネットでは，データは基本的に End-to-End モデルに基づきパケット交換方式によって転送される．本講義ではデジタル化のコンセプト及び基本プロトコルである TCP/UDP の概要を分かりやすく概説する．また，VoIP やストリーミングシステムの歴史の変遷をインターネットの歴史と併せて解説する．

keyword 回線交換/パケット交換方式，OSI 参照モデル，TCP，UDP，マルチキャスト，ストリーミング

参考文献

- 文献 [1] 第1章 イントロダクション
- 文献 [2] 第1章 ネットワークの基本概念
- 文献 [3] 第2章 ネットワークのアーキテクチャ
- 文献 [4] 第1章 ネットワークプロトコル, 第2章 TCP/IP の概要

第2回：ネットワークアーキテクチャ

目的 大規模なネットワークの集合体であるインターネットがどのように自律的に運用され，協調しているのかを理解する．また，そのようなネットワーク上でストリーミングを行う際に発生する輻輳問題について理解する．

概要 概要:大規模なネットワークであるインターネットの階層構造について解説を行う．OSI 参照モデルに当たるレイヤー 2,3 を中心にルーティングプロトコル，ピアリング等を解説する．さらに，インターネットの構造，規模性，多様性，及びパケット交換方式に起因するストリーミングの輻輳制御，品質保証等の課題について解説する．

keyword 階層構造，ルーティング，輻輳制御，QoS(Quality of Service)

参考文献

- 文献 [1] 第3章 インターネットプロトコル, 第9章 IP ルーティング
- 文献 [2] 第2章 データリンク層
- 文献 [3] 第3章 ネットワーク技術
- 文献 [5] 第1章 IP とルーティング, 第2章 ルーティングの概要, 第5章 BGP

第 3 回：Real-Time Transport Protocol

目的 ストリーミングを行うために必要な RTP/RTCP の動作について理解する。

概要 ストリーミングを行う上で最も重要な要素として、データパケットが必要時間内に確実に届くことが挙げられる。メディアデータを配信する場合、1) スループットを重視する、2) 再送処理の必要がないため、トランスポートプロトコルには、UDP が多く用いられる。そのため、パケットの到達順序の整合性の保障、ネットワーク状態指標としてのパケットロス率等の把握をアプリケーションレベルで行わなければならない。こうしたシステムの一例として RTP(Real-Time Transport Protocol) を取り上げる。また、RTP と併用される RTCP(RTP Control Protocol) の構造・動作を解説する。実際に RTP/RTCP を用いたプログラムを解説し、基本的な雛形を受講者に提示する。学生は提示されたプログラムに必要なモジュールを組み込み、プログラムを次の講義までに完成させる。

課題 RTP/RTCP を使用し、パケットロス率を基に使用帯域幅を変更させるプログラムを完成させる。

keyword RTP/RTCP, RTT, パケットロス, ジッタ

参考文献

- 文献 [6] 第 1 部 マルチメディアネットワークの基礎, 第 10 章 輻輳制御
- 文献 [7],[8]

第 4 回：輻輳制御

目的 TCP 及び UDP を用いたストリーミングシステムの特徴とその差異を理解する。また、TCP-Friendly を用いた輻輳制御について理解する。

概要 TCP 及び UDP をトランスポートプロトコルに用いている Windows Media, Real Video 等のストリーミングシステムを実際に紹介しながら、その特徴について説明する。TCP の動作を詳しく解説するとともにまた、UDP を用いた輻輳制御を行うための指標である TCP-Friendly について解説する。課題を行うための実験環境を講義の後半で提示する。

課題 TCP-friendly を用いた転送方式と自身で組み込んだ転送方式 (第 3 回講義での課題) の違いを述べ、最大使用帯域幅が異なる 2 つのフローを競合させた場合の結果・考察を述べよ。(経路上の利用可能帯域幅を変更することとする)

keyword TCP-Friendly

参考文献

- 文献 [1] 第 17 章～第 24 章 TCP:トランスミッション・コントロール・プロトコル
- 文献 [9] WindowsMedia
- 文献 [10] Real Video
- 文献 [11]

第 5 回：QoS

目的 QoS を行うプロトコルの動作とその特性を理解する。

概要 パケットロス等によって起こる映像・音声品質の劣化を防ぐ手法として QoS がある。帯域予約，優先制御等を行うプロトコルである RSVP，CBQ，802.1p 等を解説する。また，併用して用いられる FEC について解説する。並びに，End ノードが中継ノードと協調して輻輳制御を行う手法として ECN の解説をする。。

keyword QoS, RSVP, CBQ, ECN, FEC

参考文献

- 文献 [6] 第 9 章 誤り訂正
- 文献 [12], [13], [14]

第 6 回：大規模配信システム

目的 ユニキャストの問題点，大規模配信を行う際に必要なマルチキャスト，CDN(Contents Delivery Network) について理解する。

概要 ユニキャストの問題点として”Single Point of Failure”を取り上げる。さらに，ボトルネックの解消アプローチとして，サーバー分散配置，DNS，キャッシュを利用した負荷分散手法を説明する。また，大規模配信システムに利用されるマルチキャスト，CDN 技術を解説する。

keyword ユニキャスト，マルチキャスト，レイヤードマルチキャスト，オーバーレイマルチキャスト，CDN

参考文献

- 文献 [15] 第 2 章 IP マルチキャスト技術の概要
- 文献 [16] 第 1 章 CDN 入門，第 9 章 サーバー負荷分散

第 7 回：新しいトランスポートプロトコル

目的 新しいトランスポートプロトコルである SCTP，DCCP のアプローチと動作を理解する。

概要 ストリーミングアプリケーションに対し，データ損失，輻輳制御開発対策への取り組みとして SCTP, DCCP について解説する。

keyword SCTP , DCCP

参考文献

- 文献 [17],[18]

第 8 回：メディア圧縮技術 (1)

目的 多様な音声フォーマットの圧縮・伸張方式，適した使用方法，メリット・デメリットを理解する．

概要 ビットレート及びサンプリング周波数，離散コサイン変換，可逆・不可逆圧縮について概説し，MP3 の音声圧縮方式を解説する．また，現在多様されている AAC，G.726 について解説し，各々の圧縮方式のメリット・デメリットについて解説する．

keyword 音声圧縮，MP3，AAC，G.726

参考文献

- 文献 [19] 第 1 章 Layer3 エンコーダー，第 2 章 Layer3 デコーダー
- 文献 [20] 第 5 章 ハイファイオーディオから電話音声までの汎用符号化企画

第 9 回：メディア圧縮技術 (2)

目的 多様な映像フォーマットの圧縮・伸張方式，適した使用方法，メリット・デメリットを理解する．

概要 映像の再生方式の基礎を概説すると同時に，フレーム間圧縮方式，フレーム内圧縮方式について説明する．また，民生用の映像機器で取り扱われる，DV，MPEG2 等の映像フォーマットの特長，使用用途について解説する．さらに，各々のフォーマットのメリット・デメリットについて解説する．

keyword DV，MPEG2，MPEG4，H.264

参考文献

- 文献 [21] 第 2 章 帯域圧縮技術とは，第 3 章 高密度記録とは，第 4 章 デジタルビデオの仕組み
- 文献 [22] 第 5 章 デジタル放送とビデオ圧縮技術その 1，第 6 章 デジタル放送とビデオ圧縮技術その 2

第 10 回：メディア伝送におけるデータ欠損

目的 様々な音声・映像フォーマットを取り上げ，データ損失が品質に対してどのように影響を及ぼすかを深く理解する．

概要 第 8,9 回で取り扱ったフォーマットを用い，仮想ネットワーク上でパケットロスを発生させ，再生品質への影響具合を実演しながら解説する．また，客観的な劣化指数を用いてフォーマットの特長を解説する．

keyword パケットロス，dummynet，SNR

課題 与えられた映像フォーマットを実際にネットワークに転送し，パケットロスが起きた際の SNR の値と映像の見え方について，フォーマット差異の観点から考察せよ．また，それぞれのフォーマットにあった利用用途を提示し，理由を述べよ．

参考文献

- 文献 [23]

第 11 回：TV 会議システムと IP 電話

目的 TV 会議システムや IP 電話に用いられるセッション管理，メタデータ概念を理解する．

概要 現在利用されている TV 会議システムや IP 電話の仕組みを説明するとともに，セッションプロトコルとして H.323, SIP を取り上げ解説する．また，SIP と関わる SDP のシステムについても解説し，それらの抱える課題を説明する．

keyword VoIP , DVTS , H.323 , SIP , SDP

参考文献

- 文献 [24] 第 2 部 VoIP のテクノロジー，第 3 部 IP シグナリングプロトコル
- 文献 [25] 第 3 章 H.323 による会議・会話システム，第 6 章セッション開始プロトコル「SIP」
- 文献 [26]

第 12 回：インターネット放送

目的 IP-TV のシステムについて理解する．また，デジタル地上放送の内容，インターネットでの再送信手法について理解する．

概要 IP-TV サービス，CATV システムについて解説し，さらにデジタル地上放送の特性及びメタデータである EPG や BML について解説する．また，インターネットを用いた地上波デジタル放送の再送信を取り上げ，インターネット上でのデジタル放送について解説する．

keyword 地上波デジタル放送，ワンセグ放送，IP-TV 放送

参考文献

- 文献 [22] 第 8 章 デジタル放送とマルチメディア符号化企画「BML」第 10 章 デジタル放送時代に実現するインターネット放送
- 文献 [27] 第 9 章 デジタル化するケーブルテレビ，第 10 章 デジタル放送時代のビデオとホームサーバ
- 文献 [28] 第 5 章 MPEG7 が実現するマルチメディア用メタデータ標準

第 13 回：メディア配信の進化と発展

目的 インターネットでの公共的な放送を行うには技術面・法律面で課題があることを理解する。

概要 放送と通信の融合には、技術面だけの問題ではなく、法制度が複雑に絡み合う問題である。伝統的な放送と通信の違い、及び放送法、電気通信事業法、著作権法を説明すると共に、第 12 回で講義したシステムの課題について解説する。また、著作権法が放送に対して権利者、並びに利用者としての 2 面からメリットを与えてきたことを説明し、著作権に関わる身近な実例を紹介する。

keyword 通信と放送の融合、放送法、電気通信事業法、DRM

参考文献

- 文献 [29] 第 10 章 DRM の統合、第 11 章その他の DRM ソリューション
- 文献 [30] 第 1 章 情報の伝送-ネットワークの参加と離脱

第 14 回：グループワーク

目的 これまでの講義を踏まえ、与えられた課題に対し、学生同士が議論を行うことにより、考察・発案を行う。

概要 3,4 名程度のグループを構成し、議論を行う。最終的に、意見をまとめたスライドを作成する。

課題 今後重要となってくるであろうメディア配信のキラーアプリケーション、あるいはシステムモデルを提案せよ。技術面、法律面、ビジネスの観点を踏まえて考察すること。

keyword キラーアプリケーション、配信モデル

第 15 回：グループワーク発表

目的 各グループ別に発表を行う。

概要 各グループ同士が必ず質疑・応答を行い、議論を行う。

参考文献

- [1] W.Richard Stevens 著，橘康雄訳，井上尚司監訳，“詳解 TCP/IP”，ソフトバンク，1997
- [2] Radia Perlman 著，加藤朗監訳，『Interconnections 第二版』，ソフトバンク，2001
- [3] Stephen A.Thomas 著，『TCP/IP 入門』，ソフトバンク，2001
- [4] 吉田茂樹著，『次世代 TCP/IP 技術解説』，翔泳社，2001
- [5] 友近 剛史，池尻 雄一，小早川 知昭著，『インターネットルーティング入門』，翔泳社，2001
- [6] Colin Perkins 著，小川晃通通訳『マスタリング TCP/IP RTP 編』，オーム社，2004
- [7] “RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications”，RFC3550，2003
- [8] “RTP profile for audio and video conferences with minimal control”，RFC3551，2003
- [9] “Microsoft Windows Media”，<http://www.microsoft.com/windows/windowsmedia/knowledgecenter/>

- [10] “Sure stream”, <http://www.service.jp.real.com>.
- [11] M.Handley, J.Padhye, S.Floyd, and J.Widmer . Tcp friendly rate control :protocol specification, 2003. RFC3448.
- [12] R.Braden, Ed.,L. Zhang,S.Berson, S.Herzog, and S.Jamin, “Resource ReSerVation Protocol(RSVP)” RFC 2205, 1997
- [13] K.Ramakrishnan and S.Floyd. A proposal to add explicit congestion notification(ecn) to ip, RFC 2481, 1999
- [14] “Recommendations on Queue Management and Congestion Avoidance in the Internet ”, RFC2309, 1998
- [15] Thomas A. Maufer 著 , 楠本 博之翻訳 ,『IP マルチキャスト入門』 , 共立出版 , 2001
- [16] Scot Hull 著 , トップスタジオ訳 ,『CDN プロトコル入門』 , 日系 BP 社 , 2003
- [17] “SCTP:Stream Control Transmission Protocol”, RFC2960, 2000
- [18] “DCCP:Datagram Congestion Control Protocol”, RFC4340, 2006
- [19] 浦田 敏道著 ,『詳細 MP3 マニュアル』 , 筑波出版会 , 1999
- [20] 藤原 洋著 ,『画像&音声圧縮技術のすべて』 , CQ 出版 , 2000
- [21] 久保田 幸雄著 ,『図解デジタルビデオ読本』 , オーム社 , 1995
- [22] 亀山 渉 , 花村 剛著 ,『デジタル放送教科書 (上) MPEG-1/2/4 H.264/AVC』 , インプレス , 2004
- [23] “Dummynet””, <http://info.iet.unipi.it/luigi/ip-dummynet/>
- [24] Jonathan Davidson , James Peters 著 , 風工舎訳 , シスコシステムズ株式会社監修 『VoIP 基本ガイド IP ベースの音声データサービス機能を理解する』 , ソフトバンクパブリッシング , 2001
- [25] 大久保 榮 , 川島 正久著 , 『要点チェック式 H.323/MPEG4 教科書』 , IE インスティテュート , 2001
- [26] “DVTS(Digital Video Transport System)””, <http://www.sfc.wide.ad.jp/DVTS/>
- [27] 河村 正行著 ,『よくわかるデジタル放送 , 地上デジタルも , BS・110 度 CS デジタルも』 , 電波新聞社 , 2003
- [28] 亀山 渉 , 花村 剛著 ,『デジタル放送教科書 (下) MPEG-7/MPEG21/TV-Anytime』 , インプレス , 2004
- [29] Bill Rosenblatt, Stephen Mooney, Bill Trippe 著 , ネクサスインターコム訳 ,『デジタル著作権管理-ブロードバンド時代のパブリッシング』 , ネクサスインターコム , 2004
- [30] 木村順吾著 ,『情報政策法-ネットワーク社会の現状と課題』 , 東洋経済新報社 , 1999