

# プリフェッチを伴う連続メディアデータ放送における待ち時間短縮のためのスケジューリング手法

A Scheduling Method for Waiting Time Reduction on Continuous Media Data Broadcasting with Prefetching

義久 智樹<sup>▼</sup> 塚本 昌彦<sup>▲</sup>  
西尾 章治郎<sup>▲</sup>

Tomoki YOSHIHISA Masahiko TSUKAMOTO  
Shojiro NISHIO

近年の放送のデジタル化にともない、映像や音声といった連続メディアデータを放送型で配信する連続メディアデータ放送に対する注目が高まっている。連続メディアデータ放送では、一般に、クライアントは所望のデータが放送されるまで待つ必要がある。このため、クライアントがあらかじめデータの初めの部分を受信してプリフェッチを行うことで、待ち時間のない再生を可能にする幾つかの手法が提案されている。しかし、これらの手法では、放送帯域に制限がないため、実用性に乏しい。本稿では、プリフェッチを伴う連続メディアデータ放送において、放送帯域に制限を設けたうえで、サーバ側のスケジューリングにより待ち時間を短縮する手法を提案する。

Due to the recent digitalization of broadcast systems, broadcasting continuous media data such as video and audio has attracted great attention. In continuous media data broadcasting, generally, clients have to wait until their desired data is broadcast. In some previous methods, clients avoid this waiting time by prefetching the data in advance. These methods do not set limit to the bandwidth. However, practical systems have limit to it. In this paper, we propose a scheduling method on continuous media data broadcasting with prefetching the data. Our proposed method reduces the waiting time under the condition that the system has limit to the broadcast bandwidth.

## 1. はじめに

地上波デジタル放送や衛星放送といった近年のデジタル放送の普及にともない、映像や音声といった連続メディアデータを放送型で配信する連続メディアデータ放送に対する注目が高まっている。放送型配信では、一般に、サーバは同じデータを繰り返して放送する。複数のクライアントにま

<sup>▼</sup> 正会員 京都大学学術情報メディアセンター  
yoshihisa@media.kyoto-u.ac.jp

<sup>▲</sup> 正会員 神戸大学工学部 tuka@kobe-u.ac.jp

<sup>▲</sup> 正会員 大阪大学大学院情報科学研究科  
nishio@ist.osaka-u.ac.jp

めてデータを配信できるため、クライアント数が多い場合に有効だが、クライアントは所望のデータが放送されるまで待つ必要がある。一方、クライアントは連続メディアデータを最初から最後まで途切れなく再生できることが重要になり、この条件を考慮したうえでクライアントの待ち時間を短縮する様々な配信手法が提案されている[2, 3, 5, 6, 7, 8]。

幾つかの手法では、クライアントはあらかじめデータの初めの部分を受信してプリフェッチを行う。プリフェッチを行うことで、待ち時間のない再生が可能になるが、途切れなく再生できるように必要な帯域が大きくなる。このため、これらの手法では、データを幾つかの部分に分割し、データの再生中に残りの部分を受信できるように、サーバが分割されたデータをスケジューリングすることで、必要な帯域を削減している。しかし、変調方式やハードウェア構成といった理由から、一般に、放送帯域には制限がある。例えば、地上波デジタル放送では、システム構成の都合上、放送帯域は23Mbpsである。BS (Broadcast Satellite), CS (Communication Satellite) デジタル放送では52Mbpsである[1]。放送帯域に制限があるにも関わらず、既存手法では放送帯域に制限を設けていない。簡単な拡張で、放送帯域に制限を設けたうえでスケジューリングできるが、待ち時間が発生する。

そこで、本稿では、プリフェッチを伴う連続メディアデータ放送において、放送帯域に制限を設けたうえで、待ち時間を短縮するスケジューリング手法を提案する。提案手法では、使用できる放送帯域を考慮して分割したデータをスケジューリングすることで、既存手法を拡張した手法よりも待ち時間を短縮する。これまでに筆者らが提案してきた手法と異なる点は、プリフェッチをともなっている点である。クライアントがプリフェッチしていたデータを再生している間に残りのデータを受信することで、待ち時間を効率的に短縮できるため、これまでとは異なったデータの分割が必要になる。

## 2. 関連研究

プリフェッチを伴う連続メディアデータ放送において、クライアントがデータを途切れなく再生するために必要な帯域を削減する手法が提案されている。これらの手法は、拡張することで、放送帯域に制限を設けたうえでスケジューリングできるが、待ち時間が発生する。まず、データを分割せずに放送する場合(単純繰り返し手法)を考える。クライアントが60分の映像データの初めの1%をプリフェッチすると、残り59.4分のデータを繰り返して放送することになる。データの再生レートを5Mbps (MPEG2[1]) とし、地上波デジタル放送を想定した23Mbpsの帯域を用いて放送する場合、残りのデータの放送には $59.4 \times 5M/23M = 12.9$ 分かかかるため、待ち時間は $12.9 - 0.6 = 12.3$ 分になる。

PHB-PP (PolyHarmonic Broadcasting protocol with Partial Preloading) 法[5]では、データを $n$ 個の部分に等分割して $n$ 個のチャンネルを用いて放送する。例えば、初めの7%をプリフェッチし、地上波デジタル放送を想定した13個のチャンネルを用いて放送すると、データの再生レートが5Mbpsの場合には、16Mbpsの放送帯域が必要になる。地上波デジタル放送で放送する場合、必要な帯域が23Mbps以下であるため、待ち時間はなしになる。1%のプリフェッチでは、14個以上のチャンネルが必要になり、放送スケジュールが作成できないため、先程と異なり7%のプリフェッチとした。

PHB-PP法では、 $n$ の値を大きくして多くのチャンネルを使用するほど必要な帯域を削減できるが、システムが複雑にな

という問題がある。MTB (Mayan Temple Broadcasting) 法[5]は、必要な帯域がPHB法より大きくなるものの、使用チャンネル数を抑えることができる。MTB法では、残りのデータを、データサイズの異なる  $m$  個の部分に分割して放送する。例えば、5Mbpsの60分のデータの初めの1%をプリフェッチし、各チャンネルの帯域をデータの再生レートと等しくすると、7個のチャンネルを用いることになる。23Mbpsの帯域を用いて放送する場合、データの受信開始から  $S_7$  の受信完了まで54.7分かかるため、待ち時間は  $54.7 - 38.4 = 16.3$ 分になる。

### 3. 提案手法

プリフェッチを伴う連続メディアデータ放送において、放送帯域に制限を設けたうえで、待ち時間を短縮するスケジューリング手法 AHB-PB (AHB with Prefetching considering Bandwidth) を提案する。待ち時間とは、ユーザがデータの再生を要求してから、再生が開始されるまでの時間を意味する。AHB-PB 法は、使用できる放送帯域を考慮して分割したデータをスケジューリングすることで、既存手法を拡張した手法よりも待ち時間を短縮する。AHB-PB 法のアイデアは AHB 法[7]に基づいているが、プリフェッチをともなっている点異なる。

#### 3.1 想定環境

CSやBSデジタル放送では、ユーザが好みの時間に映像を最初から最後まで途切れなく再生できるように、人気のある1作の映画をほぼ一日中繰り返して放送する場合がある。こういった放送形態は擬似オンデマンド型と呼ばれ、1つの連続メディアデータを繰り返して放送することは現実的といえる。以下に、提案手法の想定環境を箇条書きで示す。

- 放送帯域には制限がある。
- 使用チャンネル数には制限がある。
- 連続メディアデータは受信開始と同時に再生できず、再生の単位を受信しなければ再生を開始できない。
- サーバは擬似オンデマンド型の放送を行い、複数のチャンネルを用いてセグメントを繰り返して放送する。
- クライアントがデータの再生を開始すると、最後まで途切れずに再生できる。
- クライアントはバッファを持ち、受信したデータを再生している間も放送されているデータを受信し、バッファに保存できる。
- クライアントはデータをプリフェッチする。

サーバは複数のコンテンツを放送し、再生するコンテンツはユーザの嗜好によって異なる。したがって、すべてのデータをプリフェッチすると、データサイズが膨大になるため、一部のデータをプリフェッチする。

#### 3.2 スケジューリング手順

連続メディアデータの再生時間を  $D$ 、再生レートを  $r$ 、使用チャンネル数を  $N$ 、プリフェッチするデータの全データサイズに対する割合を  $d$  とする。例えば、5Mbpsの60分のデータを13チャンネル用いて放送する場合 ( $D=60$ 分,  $r=5$ Mbps,  $N=13$ ),  $d=1\%$  とすると、初めの0.6分をプリフェッチすることになる。放送帯域を  $B$  とし、チャンネル  $C_i$  ( $i=1, \dots, N$ ) の帯域を  $b_i$  とする。  $B=b_1+\dots+b_N$  となる。セグメントのデータサイズを算出するための変数として、  $p_i$  および  $W$  を導入する。  $p_i$  および  $W$  は以下の式で与える。

$$p_i = (dD + W) \prod_{j=1}^{i-1} \left( 1 + \frac{b_j}{r} \right) \quad (1)$$

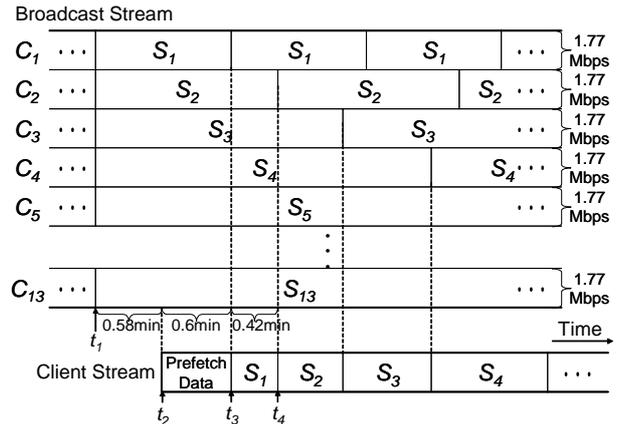


図1 AHB-PB 法の放送スケジュールの例  
Fig.1 An Example of Broadcast Schedule under the AHB-PB Method

$$W = \left( \frac{1-d}{\prod_{j=1}^N \left( 1 + \frac{b_j}{r} \right) - 1} - d \right) D \quad (2)$$

$W$  は必要な待ち時間である。  $S_i$  のデータサイズが以下になるように、  $N$  個のセグメントに分割する。

$$b_i p_i \quad (3)$$

$S_i$  のデータサイズを式(3)で与えることで、クライアントは、セグメントの再生開始時刻にそのセグメントを受信完了でき、データを最初から最後まで途切れずに再生できる。分割したデータを、  $C_1$  で  $S_1$ 、  $C_2$  で  $S_2$  といったように1個のチャンネルで1個のセグメントを繰り返して放送するようにスケジューリングする。

例えば、地上波デジタル放送を想定した23 Mbpsの帯域を用いて13チャンネルで5Mbpsの60分のデータを放送し、初めの0.6分をプリフェッチ ( $d=1\%$ ) する場合を考える。プリフェッチの割合は放送環境によって異なり、放送するコンテンツの数と必要なバッファサイズから決定される。この例の場合、プリフェッチに必要なバッファサイズは  $5M \times 0.6 \times 60/8 = 23M$  バイトとなる。近年の受信機には、数十Gバイトのハードディスクをもつものもあり、現実的と考える。放送スケジュールは図1のようになる。待ち時間は0.58分になる。

図1において、“Broadcast Stream”はサーバが放送するデータを示し、“Client Stream”はクライアントが再生するデータを示す。時刻  $t_1$  にユーザが再生ボタンを押すなどしてデータの再生を要求すると、クライアントは放送されているデータの受信を開始する。0.58分待った後、  $t_2$  からデータの再生が開始される。クライアントはまずプリフェッチしていた初めの0.6分のデータを再生する。プリフェッチしていたデータの再生が終了する  $t_3$  では、クライアントは  $S_1$  の受信を完了しているため、続けて  $S_1$  の再生を開始する。  $S_1$  の放送には1.18分かかるが、再生レートが5Mbpsなので、  $S_1$  の再生時間は0.42分になる。  $S_1$  の再生終了時刻  $t_4 = t_3 + 0.42$  分には  $S_2$  を受信完了しているため、  $S_1$  の再生終了後、続けて  $S_2$  の再生を開始する。他のセグメントについても、再生開始時刻までに受信完了できるため、クライアントは最初から最後まで途切れずに再生できる。この例では、各チャンネルの放送周期の始まりとユーザの再生要求の時刻  $t_i$  が一致しているが、そうではなく  $t_2$  でユーザが再生要求を出すような場合にも、セグメン

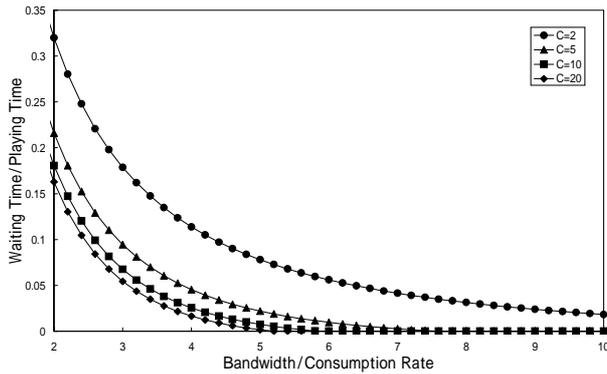


図2 AHB-PB法の放送帯域と待ち時間

Fig.2 The Broadcast Bandwidth and the Waiting Time under the AHB-PB Method

トを途中から受信することで、クライアントは最初から最後まで途切れずに再生できる。

#### 4. 評価

地上波デジタル放送では、すべてのチャンネルの帯域は等しいため、 $b_1 = \dots = b_N = B/N$ とした。再生の単位として、実際にMPEG2で符号化した60分の映像データのGOP[7]を用いた。評価結果は計算機シミュレーションによる理論値である。

##### 4.1 放送帯域と待ち時間

AHB-PB法の性能を評価するため、放送帯域によって待ち時間がどの程度になるかを示す。d=1%の場合の放送帯域と待ち時間の関係を図2に示す。縦軸は待ち時間をデータの再生時間で除した値、横軸は放送帯域をデータの再生レートで除した値とする。“C=i” (i=2, 5, 10, 20) は使用チャンネル数がi個の場合の待ち時間を示す。放送帯域が大きいほど待ち時間が短くなっているのは、放送帯域が大きいほどデータの放送にかかる時間が短くなるためである。例えば、23Mbpsの帯域を用いて、10チャンネルで5Mbpsの60分のデータを放送する場合、d=1%とすると、待ち時間は0.78分になる。

##### 4.2 比較

本節では、既存手法で、各チャンネルの帯域を数倍し、放送帯域を考慮するように拡張した手法と比較し、提案手法の有効性を示す。例えば、MTB法で、d=1%とし、13チャンネルまで用いて5Mbpsの60分の映像データを放送する場合、32.8Mbpsの放送帯域が必要になる。放送帯域を考慮して23Mbpsで放送する場合、各チャンネルの帯域を0.7倍することで、23Mbpsで放送できる。しかし、放送帯域を考慮せずに32.8 Mbps用いて放送する場合とは異なり、待ち時間が発生する。この場合、待ち時間は16.3分になる。

そこで、提案手法AHB-PB法と既存手法を拡張した手法の待ち時間を比較する。d=1%とし、13チャンネルまで用いてデータを放送する場合の待ち時間を図3に示す。縦軸は待ち時間をデータの再生時間で除した値、横軸は放送帯域をデータの再生レートで除した値とする。“AHB-PB”は提案手法、“Simple”は2章で述べた単純繰り返し手法、“拡張MTB”はMTB法を拡張した手法の待ち時間を示す。PHB-PP法では、プリフェッチの割合が少なく、放送スケジュールを作成できないため、図中に含まれていない。MTB法における各チャンネルの帯域は、データの再生レートと等しくした。

このグラフより、AHB-PB法の待ち時間が最も短いことが分かる。これは、AHB-PB法では、セグメントの受信完了時刻がそのセグメントの再生開始時刻と同時になるように、効

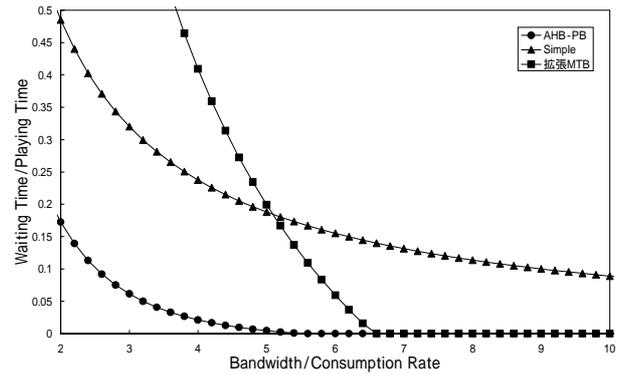


図3 待ち時間の比較

Fig.3 The Comparison of Waiting Time

率的にスケジューリングしているためである。セグメントの受信開始から再生開始時刻までの時間全体を使ってセグメントを放送するため、帯域の削減につながり、待ち時間を効率的に短縮できる。他の既存手法では、単純に帯域を数倍しているため、セグメントの再生開始時刻以前に受信完了できており、放送帯域を有効に利用できておらず、待ち時間が長くなる。例えば、23Mbps用いて5Mbpsの60分の映像データを放送する場合、AHB-PB法の待ち時間は0.58分、単純繰り返し手法では12.3分、拡張MTB法では16.3分となっている。

#### 5. 考察

##### 5.1 プリフェッチするデータの配信手法

本稿では、クライアントは全データのd%のデータをあらかじめプリフェッチしている。プリフェッチするデータの配信手法として「別チャンネル配信手法」と「別時間配信手法」の2種類提案する。

###### 5.1.1 別チャンネル配信手法

放送帯域の一部をプリフェッチするデータの配信に用いる手法である。プリフェッチしていないクライアントも、プリフェッチを完了するまで待つことで最初から最後まで途切れずに再生できるが、プリフェッチされないデータの放送のために使用できる帯域が少なくなる。

###### 5.1.2 別時間配信手法

ユーザがデータを再生する時間帯は、ほとんどの場合、限られている。例えば、ユーザは起床時刻から就寝時刻までの間でデータを再生する。現在の地上波放送では、主に午前5時から翌日の午前3時の間でデータを放送し、ユーザが就寝していると考えられる時間帯ではデータを放送していない。そこで、別時間配信手法では、ユーザがデータを再生しないと考えられる時間帯にプリフェッチするデータを配信し、他の時間帯では残りのデータを配信する。放送帯域すべてをプリフェッチされないデータの放送に割り当てられるが、プリフェッチしていないクライアントは、初めから再生できない。

クライアントのデータの受信方法によってどちらの手法を用いるか異なる。例えば、クライアントが放送されているデータを常に受信しており、プリフェッチするデータを必ず受信できる場合には、別時間配信手法を用い、そうでない場合には別チャンネル配信手法を用いることが考えられる。

##### 5.2 帯域の計算手法

AHB-PB法では、各チャンネルの帯域を任意に与えることができるが、一般に、すべてのチャンネルの帯域は等しい。このため、4章では $b_1 = \dots = b_N = B/N$ とした。本節では、すべてのチャンネルの帯域が等しくない場合の性能に関して考察する。比

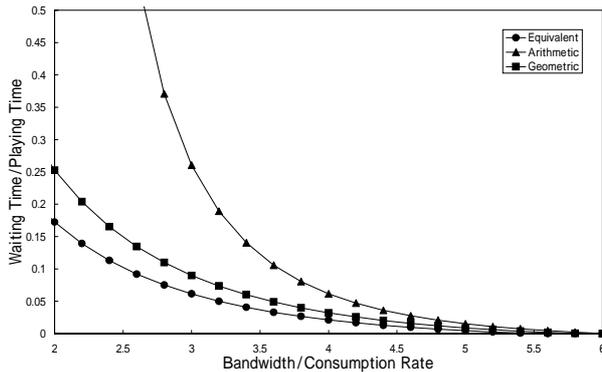


図4 帯域計算手法と待ち時間

Fig.4 Methods for Calculating Bandwidth and the Waiting Time under the AHB-PB Method

較対象として、等差数列および等比数列で各チャンネルの帯域を与える。図4に、帯域の計算手法を変更した場合の待ち時間を示す。d=1%, N=13とした。“Equivalent”は4章と同じく、すべてのチャンネルの帯域を等しくした場合の待ち時間を示す。“Arithmetic”は、 $b_i=r$ とし、 $b_i (i=1, \dots, N)$  を等差数列になるように  $b_i+a(i-1)$  で与えた場合の待ち時間を示す。公差aは、 $b_1+\dots+b_N=B$ となるように算出した。“Geometric”は、 $b_i=r$ とし、等比数列になるように  $b_i=b_1b^{i-1}$  と与えた場合の待ち時間を示す。公比bは、 $b_1+\dots+b_N=B$ となるように算出した。

このグラフより、すべてのチャンネルの帯域を等しくした場合の待ち時間が最も短いことが分かる。これは、あるチャンネルの帯域が小さいと、そのチャンネルで放送するセグメントの配信に時間がかかり、待ち時間が長くなるためである。ArithmeticやGeometricは、 $b_1+\dots+b_N=B$ となるようにaおよびbを算出したため、 $b_N$ の帯域が比較的小さくなり、待ち時間が長くなったと考えられる。

## 6. まとめと今後の課題

プリフェッチを伴う連続メディアデータ放送において、放送帯域に制限を設けたうえで、待ち時間を短縮するスケジューリング手法AHB-PB法を提案した。AHB-PB法は、使用できる放送帯域を考慮して分割したデータをスケジューリングすることで、待ち時間を短縮する。既存手法で放送帯域を考慮するように拡張した手法と比較した結果、これらの手法よりも待ち時間を短縮できることを確認した。今後、途中から再生する場合の手法や、複数のデータを放送する場合のアクセス頻度を考慮した手法を考えている。また、グリッドコンピューティングへの応用を考えている。

### [謝辞]

本研究は、文部科学省21世紀COEプログラム「ネットワーク共生環境を築く情報技術の創出」、および科学研究費補助金(基盤研究(B)(2))「大規模な仮想空間システムを構築する放送型サイバースペースに関する研究」(プロジェクト番号: 15300033)の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

### [文献]

[1] 藤原洋: “最新MPEG教科書”, マルチメディア通信研究会, アスキー出版局, 東京, p. 152 (1997).  
 [2] Hua, K. A. and Sheau, S.: “Skyscraper broadcasting: a new broadcasting scheme for metropolitan

video-on-demand systems”, in Proc. of the ACM SIGCOMM, pp. 89-100 (1997).  
 [3] Juhn, L.-S. and Tseng, L. M.: “Harmonic broadcasting for video-on-demand service”, IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 43, No. 3, pp. 268-271 (1997).  
 [4] NHK放送技術研究所: 研究年報2000, p. 13 (2000).  
 [5] Paris, J.-F., Long, D. D. E., Mantey, P. E.: “Zero-delay broadcasting protocols for video-on-demand”, in Proc. of the ACM Multimedia'99, pp. 189-197 (1999).  
 [6] Viswanathan, S. and Imilelinski, T.: “Pyramid broadcasting for video on demand service”, in Proc. of the SPIE Multimedia Computing and Networking Conf. (MMCN'95), pp. 66-77 (1995).  
 [7] 義久智樹, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “データの分割に関する制約を考慮した連続メディアデータ放送におけるスケジューリング手法”, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol. 44, No. SIG3(TOD17), pp. 33-42 (2003).  
 [8] 義久智樹, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “早送りを考慮した連続メディアデータ放送におけるスケジューリング手法”, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol. 45, No. SIG7(TOD22), pp. 179-188 (2004).  
 [9] 郵政省: “地上デジタル音声放送の導入へ向けて”, [http://www.soumu.go.jp/joho\\_tsusin/pressrelease/japanese/housou/000922j702.html](http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/pressrelease/japanese/housou/000922j702.html) (2000).

### 義久 智樹 Tomoki YOSHIHISA

2002年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。2003年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士前期課程修了。2005年同専攻博士後期課程修了後、京大大学術情報メディアセンター助手となり、現在に至る。博士(情報科学)。地上波デジタル放送に興味をもつ。日本データベース学会正会員、情報処理学会、電子情報通信学会、各会員。

### 塚本 昌彦 Masahiko TSUKAMOTO

1987年京都大学工学部数理工学科卒業。1989年同大学院工学研究科博士前期課程修了。同年、シャープ(株)入社。1995年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師、1996年同専攻助教授、2002年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授、2004年神戸大学工学部電気電子工学科教授となり、現在に至る。工学博士。NPO法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構の理事長を務める。ウェアラブルコンピューティング・ユビキタスコンピューティングに興味を持つ。ACM, IEEEなど8学会の会員。

### 西尾 章治郎 Shojiro NISHIO

1975年京都大学工学部数理工学科卒業。1980年同大学院工学研究科博士後期課程修了。工学博士。京都大学工学部助手、大阪大学基礎工学部および情報処理教育センター助教授、大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻教授を経て、2002年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻教授となり、現在に至る。2000年より大阪大学サイバースペースセンター長、2003年より大阪大学大学院情報科学研究科長を併任。この間、カナダ・ウォータールー大学、ピクトリア大学客員。データベース、マルチメディアシステムの研究に従事。現在、Data & Knowledge Engineeringなどの論文誌編集委員。本学会監事、情報処理学会フェロー、電子情報通信学会フェローをはじめ、ACM, IEEEを含め8学会の会員。