

# 再生単位を考慮したスケジューリング手法における使用チャンネル数について

On the Number of Available Channels in a Scheduling Method Considering Units for Playing

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、音楽や映画といった連続メディアデータの放送型配信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、クライアントはデータの再生が開始されるまで待つ必要があるため、この待ち時間を短縮する様々な手法が提案されている。AHB法では、再生の単位を考慮することで待ち時間を効率的に短縮しているが、使用チャンネル数が膨大になる。しかし、ハードウェアの仕様や、処理の簡単化といった理由から使用チャンネル数には制限がある。そこで本稿では、使用チャンネル数を調整できるようにAHB法を改良する。幾つかの改良方法が考えられるため、本稿では4個の改良方法について、性能比較を行う。

Due to the recent digitization of broadcasting systems, broadcasting continuous media data such as music and movies have attracted great attention. In continuous media data broadcasting, since clients have to wait until starting playing data, various methods to reduce the waiting time are proposed. Although the AHB method reduces the waiting time effectively by considering units for playing, the number of available channels becomes massive. However, for reasons of specifications of the hardware or facilitations of the process, the number of available channels can be restricted. In this paper, we improve the AHB method to be able to adjust the number of channels. Since some improved methods are supposed, we consider four improved methods and evaluate them.

## 1. はじめに

近年の放送のデジタル化にともない、音楽や映画といった連続メディアデータの放送型配信に対する注目が高まっている[2, 8]。放送型配信では、サーバが複数のクライアントにまとめてデータを配信できるため、クライアント数が非常

<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

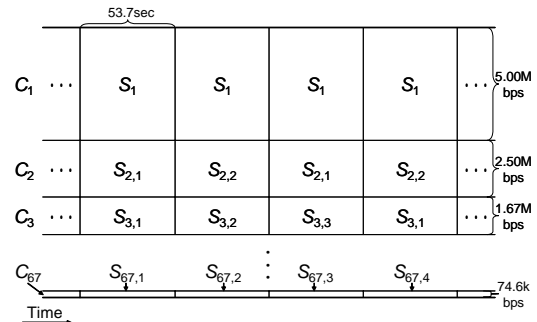


図1 HB法の放送スケジュール例  
Fig.1 An example of a broadcast schedule under the HB method

に多い場合に有効だが、一般に同じデータを周期的に繰り返して放送するため、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、クライアントがデータを途切れずに再生できることを考慮したうえで、この待ち時間を短縮する様々な手法が提案されている[4-6, 8-11]。これらの手法のほとんどは、サーバやクライアントが使用するチャンネル数に制限はないと想定しているが、使用チャンネル数に制限がある以下の状況が考えられる。

- ハードウェアの仕様上、多くの物理チャンネルから同時にデータを受信できない。
- 処理の簡単化のため、使用する論理チャンネルの数を少なくする。
- 処理速度の都合上、多くのチャンネルから同時にデータを受信できない。

これまで、待ち時間を効率的に短縮するAHB(Asynchronous Harmonic Broadcasting)法があったが、使用チャンネル数が膨大になる[9]。そこで本稿では、使用チャンネル数を調整できるようにAHB法を改良する。幾つかの改良方法が考えられるため、4個の改良手法について、各手法の性能評価を行う。筆者らは、これまで、幾つかの手法を提案してきたが、使用チャンネル数について評価・考察したものはなかった[9, 10]。評価の結果、使用チャンネル数について、多いほど平均待ち時間を短縮でき、各チャンネルの帯域幅を等しくする手法が平均待ち時間を効率的に短縮することを確認した。放送システムを作成する際の使用チャンネル数および帯域幅決定の指標になり、十分な意義がある。以下、2章で関連研究について説明し、3章で改良手法を説明する。4章で評価を行い、5章で議論を行う。最後に6章で本稿をまとめる。

## 2. 関連研究

HB(Harmonic Broadcasting)法では、連続メディアデータを $M$ 個の部分に等分割する[5]。分割したデータをセグメントと呼び、初めのセグメントから順に $S_1, \dots, S_N$ で示す。さらに $S_i (i=1, \dots, N)$ を $i$ 個のサブセグメント $S_{i,1}, \dots, S_{i,i}$ に等分割する。 $M$ 個のチャンネル $C_1, \dots, C_N$ を用い、 $C_i$ で $S_{i,1}, \dots, S_{i,i}$ を繰り返して放送する。たとえば、MPEG2で符号化された5Mbpsの60分の連続メディアデータを衛星デジタル放送を想定した24 Mbpsの帯域幅を用いて放送する場合、放送スケジュールは図1のようになる[2, 3]。この場合、 $N=67$ となり、67個のチャンネルが必要になる。

CHB(Cautious Harmonic Broadcasting)法では、 $S_j (j=1, \dots, N)$ を $j-1$ 個のサブセグメントに等分割する[6]。 $N-1$ 個のチャンネルを用い、 $C_1$ で $S_1$ 、 $C_2$ で $S_2$ と $S_3$ 、 $C_k$ で $S_{k+1} (k=3, \dots, N-1)$ を繰り返して放送する。たとえば、HB法と同じ例の場

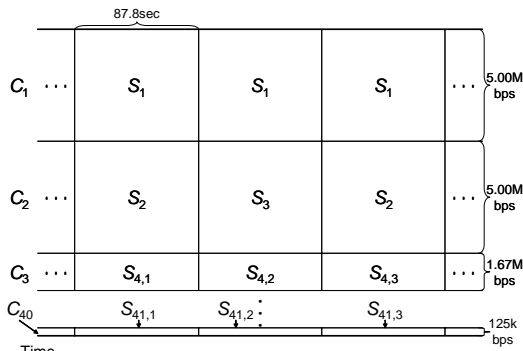


図2 CHB法の放送スケジュール例  
Fig.2 An example of a broadcast schedule under the CHB method

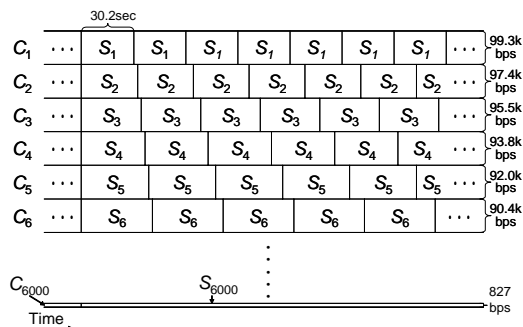


図3 AHB法の放送スケジュール例  
Fig.3 An example of a broadcast schedule under the AHB method

合、放送スケジュールは図2のようになる。この場合、 $N=41$ となり、40個のチャンネルが必要になる。

AHB法では、MPEG2のGOP(Group of Pictures)やMP3のフレームといった再生の単位を考慮してスケジューリングすることで、HB法やCHB法より平均待ち時間を短縮している[9]。再生単位ごとにデータを分割するため、使用チャンネル数は再生単位と同じ数になる。たとえば、先ほどと同じ例では、放送スケジュールは図3のようになる。再生の単位を0.6秒とすると、その数は6000個になり、使用チャンネル数も6000個と膨大になる。

AHB法でプリフェッチを導入したAHB-PB法では、放送帯域が固定のうえで分割するデータサイズを決定し、再生単位をいくつかまとめたものにデータを分割しているが、まとめ方に関する考察が行われていない[10]。本稿では、再生単位のまとめ方が異なる幾つかの手法に対して比較評価を行う点が異なる。

### 3. 改良手法

従来のAHB法では、再生単位ごとに連続メディアデータを分割するため、使用チャンネル数が多くなる。そこで、AHB法を改良し、再生単位をいくつかまとめたものにデータを分割する。使用チャンネル数に合わせて分割することで、チャンネル数に応じた放送スケジュールを作成できる。チャンネル数を任意に変更できる点で、実運用に適した手法といえ、バッファに蓄えられた分割したデータを結合して再生できる機能がクライアントに備われば、実際のVOD(Video on Demand)システムに適用できると考える。

#### 3.1 分割するデータサイズの決定手法

使用チャンネル数を $N$ 、分割するデータサイズを初めから順

に $a_1, \dots, a_N$ とする。分割したデータをセグメントと呼び、 $S_i (i=1, \dots, N)$ で表す。サーバは連続メディアデータを $S_i$ のデータサイズが $a_i$ になるように分割する。使用する帯域幅を $B$ 、連続メディアデータの再生時間を $D$ 、再生レートを $r$ とする。 $a_1 + \dots + a_N = Dr$ となる。以下に、4種類の $a_i$ の決定手法を考案する。

##### 3.1.1 BE-AHB(Bandwidth Equivalent-AHB)法

各チャンネルの帯域幅が等しくなるように、 $a_i$ を以下の式で与える。

$$a_i = \frac{BD}{N} \times \frac{(1 + \frac{B}{Nr})^{i-1}}{(1 + \frac{B}{Nr})^N - 1} \quad (1)$$

##### 3.1.2 IE-AHB(Interval Equivalent-AHB)法

各チャンネルの放送周期が等しくなるように、 $a_i$ を与える。場合分けが多いため、ページの都合上、式は省略する。

##### 3.1.3 SE-AHB(Segment Equivalent-AHB)法

各セグメントのデータサイズが等しくなるように、 $a_i$ を以下の式で与える。

$$a_i = \frac{Dr}{N} \quad (2)$$

##### 3.1.4 DE-AHB(Density Equivalent-AHB)法

各セグメントの再生中に受信するデータサイズが等しくなるように、 $a_i$ を与える。場合分けが多いため、ページの都合上、式は省略する。

### 3.2 スケジューリング手順

3.1節のいずれかの手法で決定した $a_i$ の値を用いて、以下の手順に従って放送スケジュールを作成する。AHB法と同じスケジューリング手順ではあるが、読者の理解を深めるため、ここに記述する。

1. 連続メディアデータをデータサイズが $a_1, \dots, a_N$ の $M$ 個のセグメント $S_1, \dots, S_N$ に分割する。
2.  $M$ 個のチャンネル $C_1, \dots, C_N$ を用い、 $C_j$ の帯域幅を $b_j$  ( $j=2, \dots, N$ )の帯域幅 $b_j$ を以下の式で与える。

$$b_j = \frac{a_j}{\frac{a_1 + a_2 + \dots + a_{j-1}}{r}} \quad (3)$$

3.  $C_j$ で $S_j$ を繰り返し放送する。ただし、セグメントは途中から受信できないため、 $S_1$ と同期して受信できるように $S_j$ を $S_1$ の放送間隔と同じ間隔で放送できる幾つかのサブセグメントに分割して放送する。

$b_j$ の値は使用できる帯域幅に合わせて調整する。たとえば、MPEG2で符号化された5Mbpsの60分の動画データ( $D=60$ 分、 $r=5$ Mbps)を24Mbpsの衛星デジタル放送( $B=24$ Mbps)で3チャンネル用いて( $N=3$ )放送する場合の、各手法の放送スケジュールを図4に示す。値が等しくなる部分に濃淡をつけて示している。たとえば、BE-AHB法では、ユーザが時刻 $t_1$ で受信要求を出すと、クライアントは $S_1$ の受信開始から0.3秒後の $t_2$ から再生を開始することで最後まで途切れずに再生できる。この待ち時間はシミュレーションによって算出される。 $S_1$ の再生時間は $217\text{Mbytes} \times 8/5\text{Mbps} = 347$ 秒となり、受信にかかる時間より長く、 $S_1$ の再生終了時刻 $t_3 = t_2 + 347$ 秒となる。クライアントは $t_3$ までに $S_2$ の初めの部分を受信完了しており、 $S_1$ の再生終了後も再生を続けられる。

### 4. 評価

評価には60分の連続メディアデータをMPEG2で符号化した5Mbpsのデータを用い、GOPごとに再生できるため、

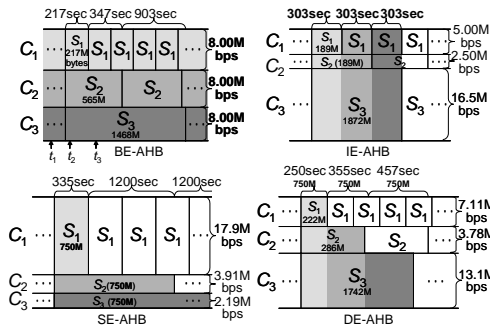


図4 改良案手法の放送スケジュール例  
Fig.4 Examples of broadcast schedules under improved methods

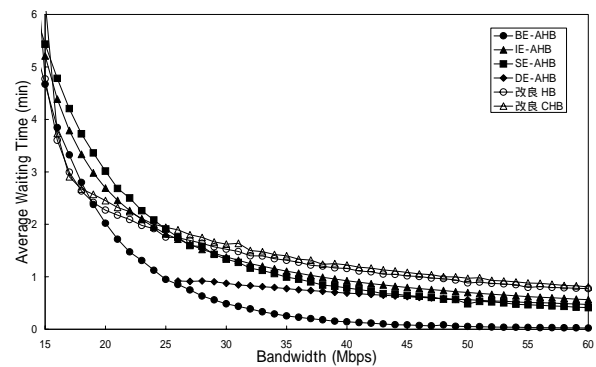


図6 帯域幅と平均待ち時間  
Fig.6 Available bandwidth and the average waiting time

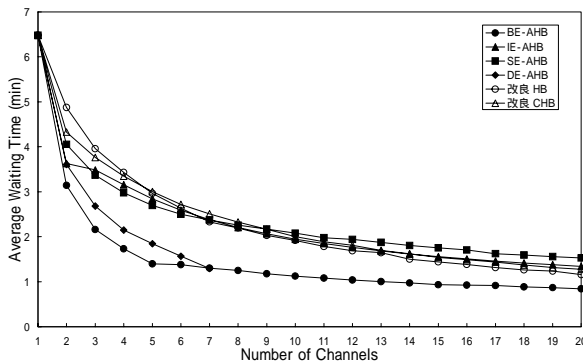


図5 使用チャンネル数と平均待ち時間  
Fig.5 The number of available channels and the average waiting time

GOP を再生単位とした。

#### 4.1 使用チャンネル数

24Mbpsの帯域幅を用いて放送する場合の平均待ち時間を図5に示す。横軸は使用チャンネル数とし、縦軸は平均待ち時間とした。使用チャンネル数が7より大きい場合には、DE-AHB法において $a_i$ が算出できず、放送スケジュールが作成できないため7までしか描かれていない。改良HBは、使用チャンネル数を指定できるように改良したHB法であり、使用する帯域幅に合わせて各チャンネルの帯域幅を数倍している。たとえば、HB法の放送スケジュールが図1になる例の場合、改良HB法で3チャンネル用いて放送すると、 $b_1=13.1\text{Mbps}$ 、 $b_2=6.55\text{Mbps}$ 、 $b_3=4.37\text{Mbps}$ となる。また、従来のHB法とは異なり、平均待ち時間を短縮するために再生単位に合わせて分割位置を調整している。改良CHBも、改良HB法と同様に、使用チャンネル数を指定できるように改良した手法で、CHB法の各チャンネルの帯域幅を数倍して帯域幅を調整し、再生単位に合わせて分割位置を調整している。グラフより、使用チャンネル数について、多いほど平均待ち時間を短縮でき、BE-AHB法が平均待ち時間を最短にすることが分かる。

#### 4.2 帯域幅

10個のチャンネルを用いて放送する場合の平均待ち時間を図6に示す。横軸は帯域幅とし、縦軸は平均待ち時間とした。帯域幅が26Mbpsより小さい場合には、DE-AHB法において $a_i$ が算出できず、放送スケジュールが作成できないため26からしか描かれていない。このグラフより、使用する帯域幅は多いほど平均待ち時間を短縮でき、ほとんどの場合BE-AHB法が平均待ち時間を最短にすることが分かる。

表1 各統計値の順位 ( $N=10$ )

Tab.1 The rank order of each statistic ( $N=10$ )

順位	平均値	最小値	最大値	分散
1	BE-AHB	SE-AHB	BE-AHB	BE-AHB
2	DE-AHB	改良HB	DE-AHB	DE-AHB
3	SE-AHB	改良CHB	IE-AHB	IE-AHB
4	IE-AHB	DE-AHB	SE-AHB	SE-AHB
5	改良HB	IE-AHB	改良HB	改良HB
6	改良CHB	BE-AHB	改良CHB	改良CHB

### 5. 議論

#### 5.1 改良手法とAHB法の相異点

AHB法では再生単位のデータサイズを $a_1, \dots, a_N$ としているが、改良手法では再生単位をいくつかまとめて $a_1, \dots, a_N$ とし、使用可能なチャンネル数に合わせデータの分割数を決定している。改良手法では、クライアントが最後まで途切れずにデータを再生できるようになるまでの待ち時間を知る必要があり、AHB法よりも平均待ち時間は長くなるが、使用チャンネル数を少なくできる。使用可能なチャンネル数はシステムによって異なり、複数のチャンネルを論理チャンネルで実現する場合には数十、物理チャンネルで実現する場合には数個のチャンネルを用いると考える。BSデジタルテレビ放送では、スロットと呼ばれる論理チャンネルを多くて22個、少なくとも6個使用している[1]。地上波デジタル放送では、セグメントと呼ばれる論理チャンネルを13個使用している[2]。

#### 5.2 各手法の比較

$N=10$ の場合の待ち時間の各種統計値をまとめて表1に示す。値が小さいほど上位に位置している。BE-AHB法は最小値以外の項目については高い性能を示しているが、最小値は最長である。これは、図7に示すように、 $N$ が5以上の場合、BE-AHB法の $C_1$ の帯域幅 $b_1$ が最小になっており、再生単位を受信完了するまでの時間が最長になるためである。たとえば、初めの再生単位が300kバイトの場合、 $N=10$ のBE-AHB法では $b_1=2.4\text{Mbps}$ であるため、このデータの受信に1秒かかるが、SE-AHB法では $b_1=12.2\text{Mbps}$ であるため、0.2秒で受信できる。このため、 $b_1$ が小さいほど待ち時間の最小値が長いといえる。

IE-AHB法はいずれの項目においてもDE-AHB法より性能が低い。各チャンネルの放送周期が等しいため、放送する際に各チャンネルの送受信タイミングが合わせやすく、簡単なシステムに向いている。

SE-AHB法は、待ち時間の最小値を最短にしている。ただし、他の項目についてはBE-AHB法やDE-AHB法よりも

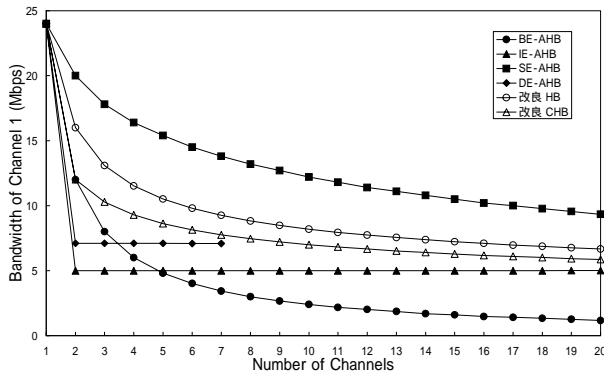


図7 使用チャンネル数とチャンネル1の帯域幅( $B=24\text{Mbps}$ )  
 Fig.7 The number of available channels and the bandwidth of channel 1 ( $B=24\text{Mbps}$ )

性能が低い。

DE-AHB 法はいずれの項目においても平均的な性能を示している。

以上より、平均待ち時間を最短にする場合には BE-AHB 法、送受信処理を簡単化するには IE-AHB 法、待ち時間の最小値を BE-AHB 法より短くする場合には DE-AHB 法、他の性能は低くても最小値を最短にする場合には SE-AHB 法が有効であると考えられる。

## 6. まとめ

再生単位を考慮した手法 AHB 法では、使用チャンネル数が膨大になる。しかし、ハードウェアの仕様や、処理の簡単化といった理由から、一般に、使用チャンネル数には制限がある。そこで、本稿では、使用チャンネル数を調整できるように AHB 法を改良し、評価を行った。評価の結果、表 1 より、使用チャンネル数を考慮した手法の中では、各チャンネルの帯域幅を等しくする手法 (BE-AHB 法) が平均待ち時間の短縮に関して有効であることを確認した。放送システムを作成する際の使用チャンネル数および帯域幅決定の指標となる。今後、選択クイズ番組のようにクライアントが再生するコンテンツを選択する場合や、実システムによる評価を考えている。

## 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] 映像情報メディア学会：“デジタル放送局システムのしくみ”，オーム社，東京（2001）。

[2] 橋本和彦：“デジタル衛星放送の技術と動向”，電子情報通信学会誌，Vol. 81, No. 1, pp. 86-88 (1998)。

[3] 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)。

[4] Janakiraman, R. and Waldvogel, M.: “Fuzzycast: efficient video-on-demand over multicast”, in Proc. of the IEEE INFOCOM'02, pp. 920-929 (2002).

[5] 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).

[6] Paris, J.-F., Carter, S. W., Long, D. D. E.: “Efficient broadcasting protocols for video on demand”, in Proc. of the Int. Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS'98), pp. 127-132 (1998).

[7] 総務省：“情報通信白書平成 16 年版”，  
<http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/h16/pdf/index.html> (2004)。

[8] 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).

[9] 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)。

[10] 義久智樹，塚本昌彦，西尾章治郎：“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”，日本データベース学会Letters，Vol. 4, No. 1, pp. 101-104 (2005)。

[11] Zhao, Y., Eager, D. L., Vernon, M. K.: “Scalable on-demand streaming of non-linear media”, in Proc. of the IEEE INFOCOM'04 (2004).

## 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、ビクトリア大学客員。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。