

# 通信・放送融合型の動的情報配信アルゴリズムの提案

西 正博<sup>†</sup> 岡村 義己<sup>†</sup> 吉田 彰 顕<sup>†</sup>  
 渥 美 幸 雄<sup>††</sup> 高 橋 修<sup>†††</sup>

現在, UHF 帯地上テレビ放送のデジタル化が進められており, 地上デジタル放送波が, 放送プログラムだけでなく, デジタルコンテンツの情報配信メディアとして大きな期待を集めている. 放送波のデジタル化により, 移動通信システムと地上デジタル放送システムを融合できる環境が整ってきた. 本研究では, 地上デジタル放送メディアを 1 対 N のマルチキャスト伝送リンク, 移動通信メディアを 1 対 1 のユニキャスト伝送リンクとして考え, 両リンクを組み合わせて使用することにより, 効率的に情報を配信できる方法を検討した. マルチキャストリンクでは, 空間に分布する利用者に対して, 同報的に情報を配信することが可能であるが, より多くの利用者に配信するためには配信時間間隔を大きくする必要があり, 利用者が情報取得するまでの待ち時間は増大する. 一方, ユニキャストリンクでは, 利用者の要求に対してリアルタイムに情報を配信することが可能であるが, 要求が集中したときには輻輳が発生しやすくなる. 以上のリンク特性を考慮して, 本研究では, 要求された情報をマルチキャストリンクとユニキャストリンクのいずれかに動的に振り分けて配信する通信・放送融合型の動的情報配信アルゴリズムを新たに提案し, シミュレーションによって提案アルゴリズムの有効性を評価した.

## Proposal of Dynamic Distribution Algorithm Using Both Communication and Broadcast Links

MASAHIRO NISHI,<sup>†</sup> YOSHIMI OKAMURA,<sup>†</sup> TERUAKI YOSHIDA,<sup>†</sup>  
 YUKIO ATSUMI<sup>††</sup> and OSAMU TAKAHASHI<sup>†††</sup>

In this paper, a new type of information distribution method adaptively using wireless multicast and unicast links is proposed in order to effectively provide the future information services. The future information services will be provided in the communication and broadcasting integrated platforms where existent mobile communication systems and terrestrial digital TV broadcasting systems will be effectively fused. What kind of wireless link will be suitable for delivering data? The wireless multicast link such as the broadcasting link is suitable for multicast services to spatially distributed users. However it needs to wait for some time to effectively deliver data to more users. Meanwhile the wireless unicast link such as the mobile communication link is suitable for real time services. However when there are many requested data to deliver, the unicast link may be congested soon. Our proposed information distribution method can adaptively utilize both wireless multicast and unicast link so as to reduce the waiting time until users receive the requested data. This paper shows the concept and the control algorithm of our proposed dynamic distribution method, and computer simulation results show the validity of the proposed algorithm.

### 1. はじめに

現在, 日本では, 地上 TV 放送波のデジタル化が進

められている. 2003 年末に関東・中京・関西エリアでサービスが開始されており, 2006 年には, 全国主要都市においてデジタル放送が開始される予定である<sup>1),2)</sup>. TV 放送波のデジタル化により, 放送メディアが, 従来のように放送プログラムを配信するだけでなく, 新たにデジタルコンテンツをも容易に伝送できるようになるため, 地上デジタル放送は, 将来のブロードバンド情報配信メディアとして大きな期待を集めている. 不特定多数の利用者に情報を一度に配信できる放送メディアの特徴を考えると, 将来の地上デジタル放送を

<sup>†</sup> 広島市立大学情報科学部  
 Faculty of Information Sciences, Hiroshima City University

<sup>††</sup> 専修大学経営学部  
 School of Business Administration, Senshu University

<sup>†††</sup> はこだて未来大学システム情報科学部  
 School of Systems Information Science, Future University-Hakodate

用いた情報配信形態として、1対Nのマルチキャスト伝送が適する。また、地上デジタル放送に割り当てられる周波数帯が、現在の移动通信システムに割り当てられている周波数(800 MHz, 1.5 GHz, 2 GHz帯)より低い470~770 MHzのUHF帯であるため<sup>1)</sup>、電波伝搬損失が少ない。よって、1つの送信局のカバーするサービスエリアの観点から考えると、地上デジタル放送を用いた情報配信可能なサービスエリアは、現在の移动通信システムのサービスエリアと比べて、広くなる事が予想される。これにより、場所的な制限が低減され、モビリティの向上が期待できるうえに、1つの電波でより多くの利用者に情報を提供することが可能となり、無線マルチキャスト伝送効率の向上が期待される<sup>3)</sup>。

また、現在、携帯電話、PHSなどの移動体通信加入者数が8,000万人を超えており<sup>4)</sup>、従来の音声通信だけでなく、移動体端末からインターネットへアクセスする、モバイルIPの需要も増加している。このため、移动通信分野では、広帯域化の実現しやすい、マイクロ波帯などの高い周波数帯を用いた新たなシステムの研究開発が進んでおり、第3世代移动通信網だけでなく、無線LANなども統合したモバイルアクセスの実現を目的として検討が行われている<sup>5)</sup>。これまでの移动通信の利用形態を考えると、一般的には、人と人、もしくは、コンピュータとコンピュータといった、電波を用いた1対1のユニキャスト通信が主流であった。ユニキャスト通信では、オンデマンド型のリアルタイム性の高い通信が実現される反面、利用者からのリクエストが多い場合には、ネットワーク輻輳が生じやすくなるため、これを改善するために、これまでは、多くの基地局を設置してマイクロセル化することにより伝送容量を確保してきた。しかしながら、現在のWEBアクセスに多く見られるような、人気の高いコンテンツに利用者からのデータ取得要求が集中する状況が増加した場合には、ユニキャストだけでなく、マルチキャストで情報を配信したほうが有利になると考えられる。

そこで筆者らは、マルチキャスト伝送に適した地上デジタル放送システムと、ユニキャスト伝送に適した移动通信システムを融合した、新たな通信・放送融合型の情報プラットフォームを検討している<sup>6)~8)</sup>。これまでの検討では、地上デジタル放送システムのサービスエリアを実測に基づき評価し、既存の移动通信システムのサービスエリアに比べて広域化が実現しやすくマルチキャスト伝送に適していることを実証してきた。この結果を基に、本論文ではマルチキャスト伝送

メディアとして地上デジタル放送システムを用いた新たな情報配信方法を検討することとした。本プラットフォームでは地上デジタル放送のマルチキャスト伝送に加え、従来までの移动通信のユニキャスト伝送も用いることが可能である。よって、本プラットフォームでの情報配信方法を検討する際、ユニキャスト・マルチキャスト両伝送メディアのそれぞれの特性を考慮して、どのような情報配信方法が効果的であるかを評価することが重要となる。

通信メディアと放送メディアを融合した情報配信方法については、これまでも検討されており、その有効性が明らかにされてきた<sup>9)~11)</sup>。さらに文献12)により通信・放送融合型配信方法の電子会議システムへの適用が検討され、文献13)により、通信・放送を連携させ、移動速度や方向に適応させた、移動体に向けたコンテンツ配信方法が検討されてきた。今後も様々な分野で、通信と放送メディアを融合した情報配信の需要は高まる事が予想される。これまでの検討では、通信と放送メディアを融合した情報配信の有効性について評価されてきたが、その配信方法を実現するための具体的な配信アルゴリズムに関する検討が重要な課題の1つとしてあげられていた<sup>10)</sup>。

そこで、本研究では、前述の通信・放送融合型情報プラットフォームにおける効率的な情報配信の実現を目的として、ユニキャスト伝送の通信メディアおよびマルチキャスト伝送の放送メディアという異なる両伝送メディアの特徴を考慮した、動的情報配信アルゴリズムを提案する。本提案アルゴリズムでは、時々刻々変化する、利用者からの情報配信要求に応じて、伝送容量、コンテンツの情報量に基づき、その情報をどちらのメディアで配信すると効率的かについて予想し、利用者の待ち時間を低減させるように、要求された情報を動的に通信および放送メディアへ振り分けて配信する機能を有する。本提案アルゴリズムの有効性を評価するため、利用者とサーバ間に、ユニキャストリンクとマルチキャストリンクが存在する簡略化した一般的な通信・放送融合環境のモデルを考え、シミュレーションにより利用者の待ち時間を調べた。その結果、様々な伝送容量および利用者要求頻度において、本提案アルゴリズムに基づく情報配信により、利用者の待ち時間を改善できることを明らかにした。

## 2. 関連研究

これまで、マルチキャスト伝送とユニキャスト伝送を統合した情報配信方法は、有線および無線の分野それぞれで検討されてきた。有線の分野では、効率的

なファイル転送を目的とした AFDP (Adaptive File Distribution Protocol) が提案されている<sup>9)</sup>。この方式は利用者の数に応じてマルチキャスト伝送とユニキャスト伝送を切り替えてファイルを送信する方式であり、利用者が多いときはマルチキャスト配信することによりファイルの転送時間を削減することを可能としている。しかしながら、この方式は有線 LAN などの 1 つの伝送リンク上での転送方法を利用者数によって変更する方式であり、本論文で想定している個別のマルチキャストおよびユニキャストリンクを併用し、振り分けて情報を配信する方式とは原理的に異なる。さらに AFDP では、有線リンクに接続している利用者を対象としているため、アクセスする利用者数が十数人と限られた数での有効性しか評価されていなかった。

一方無線伝送路では、1 つの送信局から送信された電波は空間に広がる性質を持つため、一般に有線伝送路に比べてより多くの利用者への広域なマルチキャスト伝送が実現しやすい。そのため、不特定多数の利用者を対象とした情報配信方法の検討が課題となる。この課題に対して、これまで無線ネットワークにおけるユニキャスト伝送とマルチキャスト伝送を統合した情報配信方法が検討され、その有効性が示されてきた<sup>10),11)</sup>。文献 10) では、本論文と同様、放送システムを利用した放送型通信と公衆通信システムを利用したオンデマンド型通信を統合した情報提供システムについて検討されている。そして、両通信メディアを共有してデータ転送し、単位時間あたりのデータ取得要求が多い場合に、統合情報提供システムにより、利用者のデータを取得するまでの時間を短縮できることが示された。また、文献 11) では、限られた無線通信帯域を節約することを目的として、マルチキャスト伝送のプッシュ型通信とユニキャスト伝送のプル型通信を動的に統合した配信方法について検討されている。そして両メディアそれぞれを最適な組合せで併用してデータを配信すれば、それぞれを単独で使用してデータを配信するよりも、待ち時間の効率上がる事が明らかにされた。これらの検討では、ユニキャスト伝送とマルチキャスト伝送を組み合わせることで情報配信したときの有効性を定量的に示唆しているが、その配信方法を実現するための具体的な配信アルゴリズムに関する検討が課題とされていた。本論文ではこの課題に着目し、不特定多数の利用者を対象とした無線ネットワークにおいて、ユニキャストとマルチキャスト両リンクの伝送速度、時々刻々変化する利用者のデータ取得要求、および配信データの情報量に基づきデータを両リンクに振り分けて配信する、新たな情報配信アルゴリズム

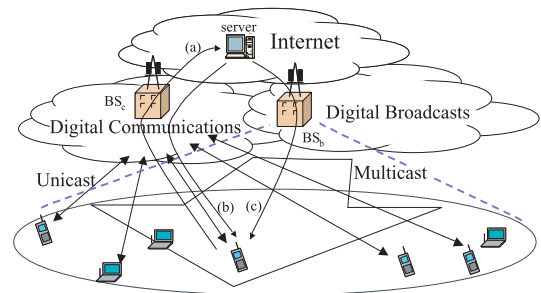


図 1 通信・放送融合型情報プラットフォーム構成例  
Fig. 1 Communication and broadcasting integrated platforms.

を提案した。

### 3. 通信・放送融合型情報プラットフォーム

将来のモバイル環境においては、放送、通信、インターネットサービスが個別の情報提供サービスではなく、それぞれの機能枠を越え、互いに融合した新たな情報サービスとして、利用者に柔軟に提供されることが期待される。利用者からの情報アクセスの状況を考慮すると、将来の情報サービスは、広帯域性・モビリティ・非対称性・マルチキャスト性といった特徴を有すると考えられる<sup>6)</sup>。そこで、本研究では、将来の情報サービスを効率良く提供するモバイル環境として、通信・放送融合型情報プラットフォームの実現について検討している<sup>6)~8)</sup>。図 1 に通信・放送融合型情報プラットフォームの一構成例を示す。本プラットフォームでは、ユニキャスト (Unicast) 通信を行う既存のデジタル無線通信システム (Digital Communications) とマルチキャスト (Multicast) 通信を行う地上デジタル TV 放送システム (Terrestrial Digital Broadcasts) が融合された構成となっており、利用者はどちらかのシステムを利用して配信されたデータを受信することができる。本プラットフォーム上では、利用者はデジタル無線通信システムの基地局 (BS<sub>a</sub>) を介しインターネット上のファイルサーバにデータ取得のリクエストを送信し (a)、ユニキャスト通信のときには BS<sub>a</sub> を介して情報を受信し (b)、またマルチキャスト通信のときには地上デジタル放送送信局 (BS<sub>b</sub>) を介して要求した情報を受信する (c)。

無線電波により多くの利用者へ同時に情報を提供できるので、マルチキャスト通信では、伝送効率が大きく向上することが期待される。一方、ユニキャスト通信では、オンデマンド型のリアルタイム性の高い通信を実現することが可能である。本プラットフォームを実現していくためには、ユニキャスト伝送、マルチキャ

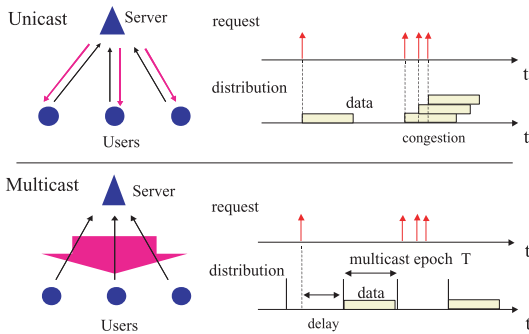


図 2 ユニキャストとマルチキャストリンクの特徴

Fig.2 Characteristics of unicast and multicast links.

スト伝送それぞれの特性を考慮して、より効率的な情報配信方法を検討することが重要である。

図 2 に、ユニキャスト伝送とマルチキャスト伝送それぞれにおける、利用者からのアクセスが低い場合と高い場合でのリクエスト (request) と情報配信 (distribution) の様子を示す。以下にそれぞれの伝送の長所と短所を示す。

ユニキャスト伝送

長所：利用者が情報を要求すると、サーバはただちに情報の配信を始めることができ、リアルタイム性の高いオンデマンド通信が可能となる。

短所：利用者からのアクセスが急増した場合、ネットワークの負荷が増大し、輻輳 (congestion) が生じやすくなり、利用者に情報が届かなくなる可能性がある。

マルチキャスト伝送

長所：配信間隔 (T) 内にアクセスしてきた利用者について完全に情報を配信することが可能であるため、利用者からの情報配信のリクエストが増大してもネットワーク輻輳が生じることはない。

短所：T 秒ごとにしか情報の配信が開始されないため、利用者からのアクセスが少ない場合、利用者の情報を受け取るまでの待ち時間 (delay) が増大し、リアルタイム性の高い通信は困難となる。

図 3 に、利用者のリクエスト (User's Request) に対するユニキャストリンクとマルチキャストリンクの典型的な待ち時間曲線を示す。利用者のリクエストの頻度が多くなると、リクエストごとに情報をユニキャストで送信した場合には、リンクを共有して配信するため輻輳が発生しやすくなり、待ち時間は急激に増大する傾向がある。一方、マルチキャストで配信した場合には、配信間隔 (multicast epoch) に依存するため、リクエストの頻度にかかわらず、待ち時間はある一定の値となる。上記のユニキャスト伝送・マルチ

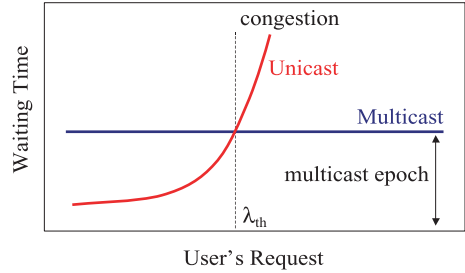


図 3 ユニキャストリンクとマルチキャストリンクの典型的な待ち時間曲線

Fig.3 Typical curves of user's waiting time using unicast link and multicast link.

キャスト伝送の長所・短所を考慮すると、利用者からの情報配信のリクエストが多い場合 (閾値  $\lambda_{th}$  以上) には、輻輳の発生しないマルチキャスト伝送を用い、リクエストが少ない場合 ( $\lambda_{th}$  以下) には、リアルタイム性の高いユニキャスト伝送を用いて情報を配信することによって、利用者の情報を受け取るまでの時間を効率良く削減できることが期待される。また配信する情報のサイズが大きい場合や、リンクの伝送容量が小さい場合には、利用者からのリクエストの頻度が小さくてもユニキャスト配信した場合に輻輳が発生する可能性がある。そこで本研究では、時々刻々変化する利用者から情報配信のリクエストだけでなく、配信する情報のサイズやリンク伝送容量に応じて、要求された情報をユニキャストおよびマルチキャストの両伝送リンクへ振り分けて配信する動的情報配信アルゴリズムを新たに提案する。そして、利用者の待ち時間をシミュレーションにより評価することにより、考案したアルゴリズムの有効性を示す。

4. 動的情報配信制御

4.1 ネットワークモデル

図 4 に、シミュレーションで用いたネットワークモデルの構成を示す。本シミュレーションモデルでは、利用者と情報サーバの間に、常時、放送メディアであるマルチキャストリンクと、移動通信メディアであるユニキャストリンクが存在すると仮定する。また、ユニキャストリンクは、サーバから BS<sub>c</sub> までのユニキャスト共有リンク (Unicast Common Link) と、BS<sub>c</sub> から利用者端末までのユニキャストアクセスリンク (Unicast Access Link) から構成される。マルチキャストリンクおよびユニキャストリンクの共有リンクとアクセスリンクの伝送速度 (bps) は、それぞれ、 $R_r$ 、 $R_c$ 、 $R_u$  とする。ここで、ユニキャスト共有リンクでは、複数のユニキャストセッションが帯域を共有する

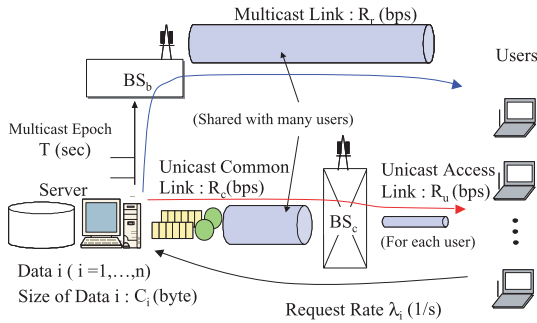


図4 ネットワークモデル  
Fig. 4 Network configuration model.

ベストエフォート型である．よって多くの利用者からの要求に対してユニキャスト配信が行われた場合，ユニキャスト共有リンクでは輻輳が発生する可能性がある．一方，ユニキャストアクセスリンクは，他の利用者と共有されることはなく，個々の利用者ごとの帯域が保証される．また，図4に示すように，マルチキャストリンクでは，配信間隔  $T$  秒ごとに，情報が配信される．つまり，マルチキャストリンク上では，前の  $T$  秒間に複数の利用者から要求があった情報が同報的に送信される．後で詳述するが，この配信間隔  $T$  は利用者の要求の状況によって動的に変化できる．また，サーバは， $n$  種類の情報データを有し，データ  $i$  のサイズ (byte) を  $C_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) とする．そして，利用者からのデータ  $i$  へのアクセス頻度 (1/s) を  $\lambda_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) とし，各データへの単位時間あたりの全利用者からのアクセス数として定義する．またここで対象としている利用者は，電波の届くすべてのエリアに存在する不特定多数の利用者としている．本研究では，検討の第1ステップとして，TCP/IPなどのプロトコルにとらわれず，上記の通信メディアと放送メディアという異なる伝達手段におけるリンクの伝送速度，データ情報量，利用者からのアクセス頻度のみを考慮して，利用者の待ち時間を評価する．また，送信局  $BS_b$  および  $BS_c$  から利用者端末までの無線区間では，伝送路誤りは発生しないと仮定する．

#### 4.2 動的情報配信アルゴリズム

前述した，ユニキャストリンクとマルチキャストリンクの特徴を考慮して，本研究では，以下に示す，情報配信アルゴリズムを新たに提案する．本研究では，待ち時間を「利用者が要求してからその情報をすべて受信するまでの時間」と定義する．そして提案アルゴリズムは利用者の要求があるたびに，この待ち時間をより小さくすることを目標にして情報を放送メディアのマルチキャストリンクもしくは通信メディアのユニ

キャストリンクに振り分けて配信する．具体的には，ユニキャストリンクの帯域に余裕がある場合にはすべての情報をユニキャストリンクで配信し，ユニキャストリンクの帯域に余裕がなく，その情報をユニキャストリンクで送ると輻輳が発生する可能性が高い場合にはマルチキャストリンクで配信する．この際，要求された情報データのサイズや，アクセス頻度，およびユニキャストリンクの伝送速度を基に輻輳が発生するかどうかを判断する．また本アルゴリズムは，利用者の待ち時間の平均値を小さくするように動作する．以下に詳細な動的情報配信アルゴリズムを示す．

#### 動的情報配信アルゴリズム

##### 【初期フェーズ】

- 初期フェーズの期間に利用者から要求されたすべての情報データは，次のフェーズで，マルチキャスト伝送されるものとする．本フェーズでは，ある適当な時間間隔  $T_0$  の間，利用者からの要求頻度を観測する．
- もし，サーバ内のすべての情報データをマルチキャストで送信したときの利用者の待ち時間より，ある情報データ  $i$  のみをユニキャストで送信したときの利用者の待ち時間が大きければ (ユニキャストリンクの伝送速度がマルチキャストリンクの伝送速度に比べて小さく，情報データ  $i$  のサイズが他のデータに比べて大きい場合に生じる)，その情報データ  $i$  は，いつでもマルチキャストで送信されるものと決定する．

##### 【第 $m$ フェーズ】

- 利用者からの情報データ  $i$  への要求を，第  $(m-1)$  フェーズにおける配信間隔  $T$  の間，観測し，各情報データへの要求頻度  $\lambda_i$  を算出する．
- すべてのデータに対して， $C_i \lambda_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) を計算し，すべてのデータを， $C_i \lambda_i > C_j \lambda_j$  ( $i < j$ ) を満たすように，サイズと要求頻度の積の大きい順で，順位付けする．これは，いいかえれば，そのデータをユニキャストリンクで送信すると輻輳を生じさせやすい順位でもある．またここでは，サイズと要求頻度の積が大きいものほど，添え字  $i$  は小さい数字としている．
- 小さいトラフィックのデータは，できる限り，リアルタイム性の高いユニキャストリンクで伝送することを考える．よって，もし第  $(m-1)$  フェーズにおいて，

$$\sum_{i=k}^n C_i \lambda_i \geq R_c, \tag{1}$$

および

$$\sum_{i=k+1}^n C_i \lambda_i < R_c, \tag{2}$$

のとき、データ  $k + 1$  からデータ  $n$  は、第  $m$  フェーズでは、ユニキャストリンクで伝送されるものと決定される。また他のデータ 1 からデータ  $k$  は、マルチキャストリンクで伝送されるものと決定される。この振り分けにより、ユニキャスト共有リンクでは、伝送容量以下のトラヒックが流れることになり、輻輳は発生しない。

- (f) 第  $(m - 1)$  フェーズにおいて、データ  $i (i = 1, 2, \dots, k)$  がマルチキャストリンクで配信されると決定された場合、第  $m$  フェーズでのマルチキャスト配信間隔  $T$  は、マルチキャストリンクでの伝送遅延を最小化するように、以下の式で与えられる<sup>14),15)</sup>。

$$T = \frac{\sum_{i=1}^k C_i}{R_r}. \tag{3}$$

つまり、配信間隔  $T$  は、マルチキャストリンクで伝送されるデータのサイズや個数に依存して変化する。

- (g) 第  $m$  フェーズでは、1 つ前の第  $(m - 1)$  フェーズにおいてユニキャストリンクで伝送されると決定されたデータは、利用者の要求をサーバが受け取るとすぐに、送信される。また、マルチキャストリンクで伝送されると決定されたデータは、第  $m$  フェーズで要求があった利用者に対して、次のフェーズ(第  $(m + 1)$  フェーズ)において同報的に配信される。
- (h) 以下、(c) から (g) をフェーズごとに繰り返す。

本アルゴリズムでは、第  $m$  フェーズでの情報配信振り分け方法を1つ前の第  $(m - 1)$  フェーズでの利用者からのアクセス頻度状況を基にして決定している。そのため、時々刻々変化する利用者からのアクセス状況に適應して動的に、ユニキャストリンクとマルチキャストリンクのうち、適する伝送リンクに各データを振り分けて配信することを実現している。

図 5 に、提案する動的情報配信アルゴリズムの動作例を示す。この例では、各リンク速度を  $R_r = 1 \text{ Mbps}$ 、

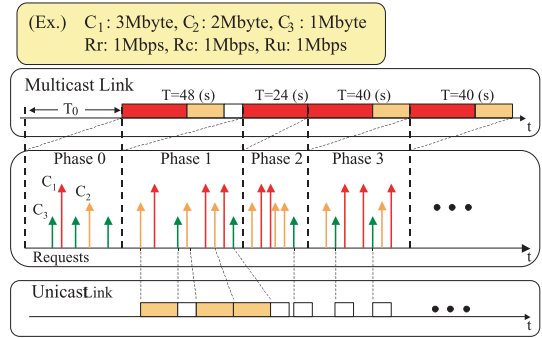


図 5 提案動的情報配信アルゴリズムの動作例  
Fig. 5 Time sequence example of proposed algorithm.

$R_c = 1 \text{ Mbps}$ 、 $R_u = 1 \text{ Mbps}$  とし、データは 3 種類あり、データサイズを  $C_1 = 3 \text{ Mbyte}$ 、 $C_2 = 2 \text{ Mbyte}$ 、 $C_3 = 1 \text{ Mbyte}$  と仮定している。初期フェーズ(Phase 0)では、各情報データへの要求状況を  $T_0$  の間で観測する。初期フェーズで要求があった情報データは、次のフェーズですべてマルチキャストで利用者に配信される。この場合、式 (3) より、配信  $T$  は 48 秒となる。これが次のフェーズ(Phase 1)の時間間隔となる。また、初期フェーズが終わると同時に、初期フェーズでの要求状況に基づいて、Phase 1 での各情報データの振り分け先である伝送リンクを決定する。図 5 に示すように、今回の場合には、上記のアルゴリズムを用いて、データ 1 のみがマルチキャストで伝送され、データ 2 と 3 はユニキャストで伝送されると決定される。よって、Phase 1 の間では、データ 2 と 3 は、利用者の要求があればただちにサーバから送信される。また、次のフェーズ(Phase 2)では、データ 1 が、Phase 1 の間に要求した利用者には、マルチキャスト伝送で配信される。その配信間隔  $T$  は、式 (3) より、24 秒となる。以上のように、本提案アルゴリズムを適用した場合、トラヒックの多いデータに対してはマルチキャストリンクを、トラヒックの少ないデータに対しては、ユニキャストリンクを効率良く併用することにより、データ配信の効率を向上させることが可能となる。

しかしながら、本アルゴリズムでは、アクセス頻度が著しく低い場合や、1 つ前のフェーズでの観測期間が十分でない場合には、各伝送リンクへの最適なデータの振り分けが行われない可能性がある。図 5 の Phase 2 および Phase 3 にその例を示す。Phase 2 では、データ 1 とデータ 2 のアクセス頻度が高かったため、本アルゴリズムでは、Phase 2 が終わると同時に、データ 1 と 2 はマルチキャスト伝送、データ 3 はユニキャスト伝送で配信されると決定されている。よって、Phase 3 では、データ 1 と 2 は、次のフェーズでマルチキャスト

スト伝送されるため、情報が配信されるまでにしばらく時間がかかる。しかしながら、Phase 3 での利用者からのデータ 2 へのアクセスは少なく、十分ユニキャストリンクでも配信できることが可能である状態であるので、データ 2 をユニキャストリンクで送ったほうが、待ち時間を削減できたと考えられる。本アルゴリズムでは、1 つ前の状態に依存して次の配信方法を決定しているため、急激なアクセス状況の変化があった場合、このような「判定ミス」が起こる可能性がある。

本検討では、提案する動的情報配信アルゴリズムの有効性を示すこと、また、上記判定ミスの影響の程度を評価することを目的として、利用者の情報を要求してから受け取るまでの待ち時間について、コンピュータシミュレーションによって解析を行った。本解析では、マルチキャスト伝送時の待ち時間を、要求があった時間から次の配信間隔までの時間と無線マルチキャストリンクでの伝送遅延を加算したものと定義し、また、ユニキャスト伝送時の待ち時間を、共有リンクでのバッファ内待ち時間と、ユニキャストリンクでの伝送遅延を加算したものと定義した。そして、以下で定義する、平均待ち時間  $W$  をシミュレーションによって評価した。

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i w_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}, \quad (4)$$

ここで、 $w_i$  は要求された情報データ  $i$  に対する、利用者の待ち時間を表す。また本シミュレーションでは、ダウンロードリンクでの伝送遅延のみを考慮し、リクエストにかかる時間は無視できるほど小さいと仮定した。

## 5. シミュレーション結果

### 5.1 シミュレーション条件

表 1 にシミュレーション諸元を示す。シミュレータには、OPNET Modeler ver.8.0.C<sup>16)</sup> を用いた。不特定多数の利用者からのリクエストがランダムに生起するモデルとして、ポアソン分布を仮定した。また本シミュレーションでは、表 1 に示す、4 種類のデータが要求した利用者に配信されると仮定した。それぞれのデータサイズは、約 600 秒の MPEG データである動画データを想定した 100 Mbyte、約 300 秒の MP3 データである音声データを想定した 4.8 Mbyte、静止画データを想定した 150 kbyte、テキストデータを想定した 50 kbyte と仮定した。また、各データへの利

表 1 シミュレーション諸元  
Table 1 Simulation parameters.

Simulator	OPNET Modeler (8.0.C)
Multicast link speed ( $R_r$ )	2 Mbps
Common link speed ( $R_c$ )	1, 2, 5 Mbps
Access link speed ( $R_u$ )	64 kbps, 1.5 Mbps
Link ratio ( $R_r/R_c$ )	0.1 ~ 10
The number of data	4
Request occurrence	Poisson distribution
Size of data (byte)	$C_1$ : 100 M, $C_2$ : 4.8 M $C_3$ : 150 k, $C_4$ : 50 k
Request rate ( $\lambda_1:\lambda_2:\lambda_3:\lambda_4$ )	1:1:1:1

表 2 静的情報配信方式  
Table 2 Static distribution method.

	Multicast	Unicast
Case-0	$C_1, C_2, C_3, C_4$	
Case-1	$C_1, C_2, C_3$	$C_4$
Case-2	$C_1, C_2$	$C_3, C_4$
Case-3	$C_1$	$C_2, C_3, C_4$

用者からの要求頻度は、 $\lambda = \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4$  とし、すべて等しいと仮定した。よって、本提案アルゴリズムでは、(d) の手順が適用され、配信データはサイズのみで順位付けされることになる。

本シミュレーションでは、提案する動的情報配信アルゴリズムの有効性を確認するために、比較方式として、静的な情報配信方法もあわせて評価した。静的情報配信方法では、データが伝送されるリンクは、固定であり、変化しない。本シミュレーションでは、データサイズを考慮して、表 2 に示す 4 種類の静的な情報配信方法を検討した。

方式 Case-0 では、すべてのデータが、いつもマルチキャストリンクで送信され、方式 Case-3 では、データ 1 のみがマルチキャストリンクで送信され、残りのデータ 2, 3, 4 は、ユニキャストリンクで送信される。また、すべてのデータをいつもユニキャストリンクで送信する方式も考えることができるが、この場合は、前章で述べたアルゴリズム (b) により、データ 1 はユニキャストリンクで送信されることがないため、本シミュレーションでは、除外して検討した。

また、本検討では、初期フェーズでの観測期間  $T_0$  を、すべてのデータをマルチキャストリンクによって伝送したときの伝送遅延に相当する時間とした。

### 5.2 動的および静的情報配信方式

図 6 に、提案する動的情報配信方式と、静的情報配信方式の、利用者からの要求頻度に対する平均待ち時間を示す。ここでは、 $R_r = R_c = 2$  Mbps,  $R_u = 64$  kbps として、動的および静的情報配信方式の、式 (4) で表

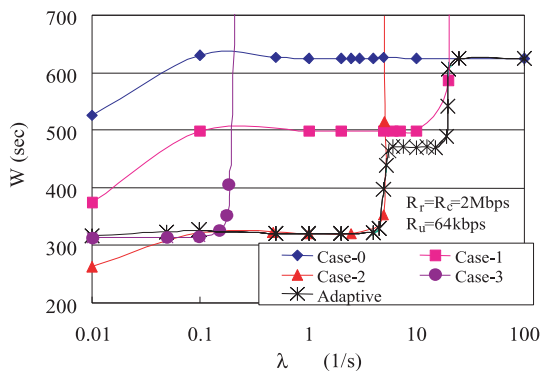


図 6 動的および静的情報配信方式の待ち時間特性

Fig. 6 Waiting time of adaptive and static distribution method.

される平均待ち時間の比較を行った。

まず、静的情報配信方式の特徴であるが、すべてのデータをマルチキャストリンクで送信する Case-0 と比較して、ユニキャストリンクも併用してデータを送信する他の方式 (Case-1, 2, 3) では、利用者からの要求が少ないときには、平均待ち時間を小さくすることができる。しかし、図 6 に示されているように、Case-1, 2, 3 の静的情報配信方式では、利用者からの要求が増加していくに従い、共有リンクの輻輳が原因となり、ユニキャストリンクへ振り分けられるデータが多い方式から順に、待ち時間が発散しやすくなるのが分かる。一方、提案する動的情報配信方式では、利用者からの要求が少ないときには、サイズの小さいデータをユニキャストリンクで送ることにより、平均待ち時間を小さくでき、さらに利用者からの要求が大きくなった場合にも、サイズの大きいデータから適切にマルチキャストリンクで送信することにより、共有リンクでの輻輳を回避し、平均待ち時間の発散を生じさせていないことが分かる。

また、図 6 に示すように、利用者からの要求頻度が 0.1 以下と低いときには、動的情報配信方式の平均待ち時間が静的情報配信方式 (Case-2) のそれより大きくなっていることが分かる。この原因として、要求頻度が小さいことから、適切なデータ伝送リンクを判断するために必要な観測が十分行えなかったことにより、本提案アルゴリズムにおいて判定ミスが生じていることが考えられる。しかしながら、この判定ミスが生じるときは、要求頻度が小さく待ち時間が発散することのない領域であり、待ち時間の劣化量もわずかであり、静的方式である Case-0 や Case-1 に比べて、待ち時間は小さい。

以上の結果より、様々な利用者からの要求頻度に対

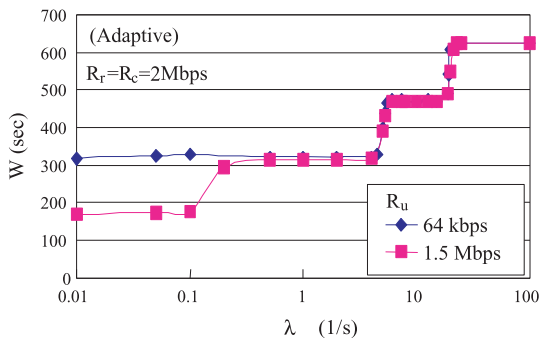


図 7 アクセスリンク速度を変化させた場合の提案方式の平均待ち時間

Fig. 7 Waiting time of adaptive method in the various speeds of unicast access link.

して、本提案動的情報配信アルゴリズムが有効に機能し、平均待ち時間を低減できていることが分かる。

### 5.3 アクセスリンク速度

図 7 に、提案方式の、ユニキャストアクセスリンク速度を変化させた場合の平均待ち時間を示す。ここでは、 $R_r = R_c = 2 \text{ Mbps}$  とし、 $R_u$  を 64 kbps および 1.5 Mbps と変化させて検討を行った。

図 7 に示すように、要求頻度が 1 より大きな高い領域では、データ 1 や 2 のサイズの大きなデータはマルチキャストリンクで送信され、平均待ち時間は、マルチキャスト配信にかかる時間が支配的となるため、アクセスリンク速度を変化させた場合でも、平均待ち時間の値は、ほぼ等しくなることが分かる。一方要求頻度が 0.1 より小さい場合には、1.5 Mbps のリンクを用いた場合、サイズの大きなデータ 2 も送信できるようになるため、64 kbps のリンクを用いた場合に比べて、平均待ち時間を小さくすることが可能になる。この結果からも分かるように、提案方式では、アクセスリンク速度が様々に異なる場合でも、適切にデータを振り分けることによって、平均待ち時間を改善できることが分かる。

### 5.4 共有リンク速度

図 8 に、提案方式の、ユニキャスト共有リンク速度を変化させた場合の平均待ち時間を示す。ここでは、 $R_r = 2 \text{ Mbps}$ 、 $R_u = 64 \text{ kbps}$  とし、 $R_c$  を 1 Mbps, 2 Mbps, 5 Mbps と変化させて検討を行った。

図 8 に示すように、要求頻度が 1 より小さい場合には、それぞれの共有リンク速度での平均待ち時間はほぼ同じであることが分かる。しかしながら、要求頻度が高い領域では、共有リンク速度が小さいほど輻輳が発生しやすくなるため、提案方式では、共有リンク速度が小さいほど、低い要求頻度で、ユニキャストリ



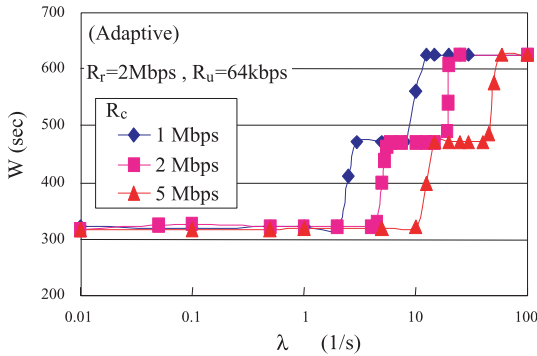


図 8 共有リンク速度を変化させた場合の提案方式の平均待ち時間  
Fig. 8 Waiting time of adaptive method in the various speeds of unicast common link.

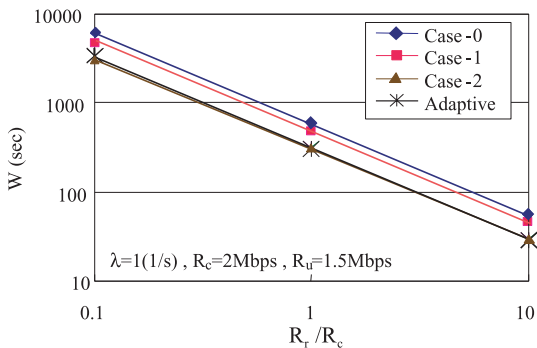


図 9 ユニキャストとマルチキャストのリンク比率を変化させた場合の待ち時間 (ユニキャストリンク速度固定)  
Fig. 9 Waiting time in the various ratios of unicast and multicast links (unicast link: fixed).

リンクからマルチキャストリンクへ、データを送信するためのリンクを切り替える。これにより、図 8 に示すように、輻輳を発生させず、平均待ち時間を低減させることができる。このことから、提案方式では、データ送信用のリンクの切替えは、共有リンクの伝送速度に大きく依存することが分かる。また提案方式では、共有リンク速度が大きいほど、ユニキャストリンクを有効に活用し、リアルタイム通信を実現できていることが分かる。

### 5.5 ユニキャストとマルチキャストリンク比率

図 9 に、動的および静的情報配信方式の、ユニキャストとマルチキャストのリンク比率 ( $R_r/R_c$ ) を変化させた場合の平均待ち時間を示す。この図では、ユニキャストリンク速度を  $R_c = 2 \text{ Mbps}$  として固定している。また、 $\lambda = 1 (1/s)$ 、 $R_u = 1.5 \text{ Mbps}$  として解析を行った。

図 9 から、動的、静的方式どちらにおいても、リンク比率が大きくなるにつれて (マルチキャストリンク速度が大きくなるにつれて)、平均待ち時間が減少

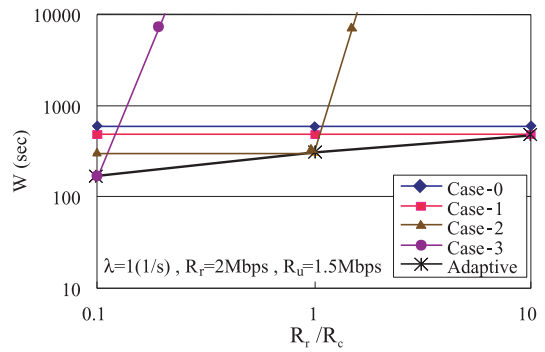


図 10 ユニキャストとマルチキャストのリンク比率を変化させた場合の待ち時間 (マルチキャストリンク速度固定)  
Fig. 10 Waiting time in the various ratios of unicast and multicast links (multicast link: fixed).

していることが分かる。これは、平均待ち時間において、データ 1 を送信するマルチキャストリンクでの遅延時間が支配的となっているためである。また、図 9 より、様々なリンク比率の場合でも、動的情報配信方式の待ち時間が、他の静的情報配信方式に比べて、最も小さいことが分かる。

図 10 に、動的および静的情報配信方式の、ユニキャストとマルチキャストのリンク比率 ( $R_r/R_c$ ) を変化させた場合の平均待ち時間を示す。この図では、マルチキャストリンク速度を  $R_r = 2 \text{ Mbps}$  として固定している。また、 $\lambda = 1 (1/s)$ 、 $R_u = 1.5 \text{ Mbps}$  として解析を行った。

図 10 に示すように、マルチキャストリンク速度が固定であるため、静的方式 Case-0 の平均待ち時間が一定であることが分かる。また、静的方式 Case-1 では、データ 4 のみをユニキャストリンクで送信するため、平均待ち時間が Case-0 より小さくなっている。そして、静的方式の Case-2、Case-3 では、データ 1 もしくはデータ 2 以外のデータをユニキャストリンクで伝送するため、図 10 に示すように、リンク比率が大きくなるほど (ユニキャストリンク速度が小さくなるほど)、平均待ち時間は大きくなり、輻輳が生じて発散することになる。一方、提案する動的方式では、どのリンク比率においても、静的方式に比べて、平均待ち時間が改善されていることが分かる。これは、ユニキャストリンクの速度が変化した場合でも、提案方式が、ユニキャストリンクとマルチキャストリンクの適切なほうのリンクを効率的に活用することが実現されているためである。図 10 から、提案方式ではより最適なデータの振り分けを実現し、静的方式に見られる待ち時間の発散を回避し、最も小さい待ち時間を達成できていることが分かる。

これらの結果から、提案する動的情報配信アルゴリズムが、マルチキャストとユニキャストのリンク比率が異なる場合においても、待ち時間を低減させることにおいて有効性を有しており、様々なリンク比率のネットワーク構成においても適用可能であることが分かる。

## 6. おわりに

本論文では、放送メディアのマルチキャストリンクと通信メディアのユニキャストリンクのそれぞれの特徴を考慮した、通信・放送融合型の新たな動的情報配信アルゴリズムを提案した。本提案動的情報配信アルゴリズムでは、1つ前のフェーズでの、利用者からのアクセス頻度、データのサイズ、マルチキャストおよびユニキャストリンクの伝送速度に基づき、次のフェーズにおいて、配信するデータを適切なリンクに振り分け、利用者の情報を受け取るまでの待ち時間を削減することが可能である。本論文では、OPNETを用いたシミュレーションにより、提案動的情報配信アルゴリズムの有効性を調べた。シミュレーションにより得られた結果を以下に示す。

- 情報配信に用いられるリンクが固定である静的情報配信方式では、利用者からの要求頻度が多い場合、輻輳が生じることにより待ち時間は発散した。一方、提案アルゴリズムを用いた動的情報配信方式では、要求頻度が多い場合にでも、マルチキャストリンクを効率的に使用することにより、輻輳を生じることなく、静的方式と比べて待ち時間を小さく保ちながらデータを配信することが可能であった。
- 利用者からの要求頻度が少ない場合、動的配信方式では判定ミスが生じるためいつでも最適な情報配信が実現されるわけではないが、利用者の情報を取得するまでの待ち時間は低く抑えられていた。
- 提案動的情報配信方式では、アクセスリンク速度が様々な異なる場合でも適切にデータを振り分けることによって待ち時間を改善できることが分かった。
- 提案動的情報配信方式では、データ送信用のリンクの切替えは共有リンクの伝送速度に大きく依存することが分かった。
- 提案する動的情報配信アルゴリズムが、マルチキャストとユニキャストのリンク比率が異なる場合においても待ち時間を低減させることができ、様々なリンク比率のネットワーク構成においても適用可能であることが分かった。

今後は、より現実的なモデルとして、Web アクセスなどの HTTP/TCP/IP プロトコルに含まれるレート制御や誤り制御を考慮したデータ配信の振り分け方法を検討していくことが必要である。また、放送と通信の融合化はこれからますます進展していくと考えられ、両メディアの適した融合形態について議論していくことも今後の課題として重要であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 情報通信白書平成 15 年版, 総務省 (2003).
- 2) 総務省情報通信行政 (2004).  
<http://www.soumu.go.jp/joho.tsusin/whatsnew/digital-broad/>
- 3) 北村知恵子, 西 正博, 吉田彰顕: 無線ゾーン半径を考慮した情報配信制御効果の検討, 信学技報, IN2001-122, pp.61-66 (2001).
- 4) 社団法人電気通信事業者協会ホームページ (2004). <http://www.tca.or.jp/index.html>
- 5) 山尾 泰, 梅田成視, 大津 徹, 中嶋信生: 第 4 世代移動通信の展望—無線システムを中心とした課題について, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J83-B, No.10, pp.1364-1373 (2000).
- 6) Nishi, M., Atsumi, Y., Toyota, T. and Yoshida, T.: Proposal of New Information Traffic Platforms in UHF band for Communication and Broadcasting Services, 2001 IEEE GLOBECOM, pp.552-556 (2001).
- 7) 西 正博, 豊田輝隆, 吉田彰顕: メディアの特徴を考慮した通信・放送融合型情報流通プラットフォームの提案, 信学技報, IN2000-140, pp.43-48 (2000).
- 8) 西 正博, 吉田彰顕: 通信放送融合による UHF 帯モバイル環境の提案, 情報処理学会研究報告, 2003-MBL-26, pp.1-6 (2003).
- 9) Cooperstock, J.R. and Kotsopoulos, S.: Why Use a Fishing Line When You Have a Net? An Adaptive Multicast Data Distribution Protocol, 1996 USENIX Technical Conference (1996).
- 10) 箱守 聡, 田辺雅則, 石川裕治, 井上 潮: 放送型通信とオンデマンド型通信を統合した情報提供システム, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.10, pp.3772-3781 (1999).
- 11) 青野正宏, 黒田正博, 市村 洋, 渡辺 尚, 水野忠則: プッシュ型とプル型通信の動的統合による応答時間の短縮, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.6, pp.1694-1702 (2001).
- 12) 市川健一郎, 岡田謙一, 辻順一郎: 同期対面環境における通信・放送融合型情報配信の提案, 情報処理学会研究報告, 2003-MBL-23, pp.69-75 (2002).
- 13) 佐藤潤一, 多田浩之, 谷口幸治, 山口孝雄: 放

送・通信連携型移動体向けコンテンツ配信方式，  
情報処理学会研究報告，2003-MBL-25，pp.47-54  
(2003).

- 14) Nishi, M., Okamura, Y., and Yoshida, T.:  
A Proposal of Adaptive Distribution Method  
by use of Wireless Multicast and Unicast  
Links, *The 1st International Conference on  
Mobile Computing and Ubiquitous Networking  
(ICMU2004)*, pp.204-209 (2004).
- 15) 岡村義己，西 正博，吉田彰顕：無線メディアを  
用いた高効率情報配信法によるユーザの待ち時間  
改善法の検討，信学技報，IN2001-123，pp.67-72  
(2001).
- 16) OPNET ホームページ (2004).  
<http://www.opnet.com>

(平成 16 年 3 月 31 日受付)

(平成 16 年 10 月 4 日採録)



西 正博 (正会員)

平成 7 年大阪大学工学部通信工学  
科卒業。平成 9 年同大学院博士前期  
課程修了。平成 11 年同大学院博士  
後期課程修了。同年広島市立大学情  
報科学部助手。通信放送融合型情報  
ネットワーク，電波伝搬，電波科学の研究に従事。工  
学博士。電子情報通信学会，映像情報メディア学会，  
IEEE 各会員。



岡村 義己

平成 13 年広島市立大学情報科学  
部情報数理工学卒業。平成 15 年同大  
学院情報科学研究科博士前期課程修  
了。通信放送融合型情報ネットワー  
ク，情報数理に興味を持つ。現在，崇  
徳学園（中学校・高等学校）教員。



吉田 彰顕 (正会員)

昭和 48 年大阪大学基礎工学部電気  
工学科卒業。昭和 50 年同大学院修士  
課程修了。同年電電公社 (現 NTT)  
横須賀電気通信研究所入所。VHF 帯  
からミリ波帯まで，デジタル無線通  
信システムの研究開発に従事。平成 9 年超高速ネット  
ワーク・コンピュータ技術研究所所長。平成 11 年広  
島市立大学情報科学部教授。通信放送融合型情報ネッ  
トワーク，電波伝搬，電波科学の研究に従事。工学博  
士。電子情報通信学会，IEEE 各会員。



渥美 幸雄 (正会員)

昭和 50 年慶應義塾大学工学部電気  
工学科卒業。昭和 52 年同大学院修士  
課程修了。同年電電公社 (現 NTT)  
横須賀電気通信研究所入社。平成 6  
年 (株) 超高速ネットワーク・コン  
ピュータ技術研究所。平成 11 年 (株) NTT ドコモ・  
マルチメディア研究所。平成 15 年より専修大学経営  
学部助教授。これまで通信プロトコル，通信制御ソフ  
トウェア，モバイルインターネット方式の研究開発に  
従事。博士 (情報工学)。電子情報通信学会会員。



高橋 修 (正会員)

昭和 50 年北海道大学大学院修士  
課程修了。同年電電公社 (現 NTT)  
横須賀電気通信研究所入所。コン  
ピュータネットワークに関する研究・  
実用化・標準化に従事。平成 11 年  
(株) NTT ドコモマルチメディア研究所に異動。モバ  
イルインターネットサービスに関するプロトコルの研  
究・実用化・標準化に従事。2004 年 4 月より公立はこ  
だて未来大学システム情報科学部教授。博士 (工学)。  
電子情報通信学会会員。