処理環境変化に耐性のある音声・動画同期再生方式

Synchronized Audio and Visual Decoding Scheme that is Tolerant to Variation of Processing Environment

正会員 山口 孝雄[†], 栄 藤 稔[†]
Takao Yamaguchi[†] and Minoru Etoh[†]

Abstract We propose a synchronized audio and visual (AV) decoding scheme that is tolerant of variation in the processing environment, assuming that the future AV terminal will be implemented by software. The processing environment means the set of conditions, such as workload and equipment, that defines AV processing ability. Due to its software implementation, the AV terminal might encounter fatal degradation in decoding quality when the processing environment deteriorates. To prevent this, our scheme introduces a prioritized frame packet structure (access unit) to the AV bitstream, in which the access units are selectively discarded by comparing their processing priorities with the discarding threshold. The processing priority for each access unit is determined by the relative importance of each AV stream and the relative importance of each frame within the stream. The discarding threshold is adjusted according to a decoding time stamp attached to the access unit. The proposed scheme allows us to provide the workload adjusting mechanism independently of underlying terminal implementation; the decoding quality is gracefully degraded in the case of high workload. Experimental results show the effectiveness of our scheme against variations in the processing environment.

キーワード：環境，負荷，耐性，再生，同期，メディア

1. ま え が き

近年，演算処理装置の高速化により，音声・動画のメディア処理をソフトウェアにより実現しようとする研究開発が盛んに行われている¹⁾。ソフトウェアによるメディア処理には，特定の符号化・伝送方式に限定することなく，様々な性能の端末で多様なメディアを適切な表現形式で扱える利点がある。このために，復号化ソフトウェアをダウンロードすることにより，放送受信方式の変更が可能な放送端末の研究開発が行われている²⁾。本論文ではソフトウェア実装による放送端末，通信端末機器をソフトウェア端末あるいは簡単に端末と呼ぶ。

音声・動画の連続メディアをソフトウェア処理の対象とすると，処理環境の変化に対して QoS (Quality of Service: サービス品質) 保証が難しいというソフトウェアメディア処理固有の問題が生じる³⁾。ここで処理環境とは，負荷の状態，機種など，端末の処理能力を定める条件の集

合である。メディアの復号・再生に遅延と不連続を生じさせない実時間制約が QoS として重要である。しかし，処理環境が変化すると必ずしも実時間制約が満足されない。たとえば，性能の高い端末では，受信したすべての音声・動画ビットストリームの同期再生が可能であるが，性能の低い携帯端末や端末の負荷が増大した端末では，同一の音声・動画ビットストリームを遅延なく同期再生することが困難になる。

図 1 に，あるソフトウェア端末における動画 1 フレームあたりの復号処理時間(単位は ms)の変化を示す。動画ビットストリームには約 30 秒分の独自素材を低ビットレ

図 1 復号処理時間の変化
Variation of decoding process time.

1998 年 2 月 26 日/27 日，情報処理学会 DPS 研究会で発表
1998 年 2 月 19 日受付，1998 年 4 月 20 日再受付，1998 年 5 月 7 日採録

[†] 松下電器産業株式会社 中央研究所

(〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台 3-4, TEL 0774-98-2524)

[†] Central Research Laboratories, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.

(3-4, Hikaridai, Seika-cho, Souraku-gun, Kyoto 619-0237, Japan)

ト符号化方式の標準である H. 263⁴⁾ により符号化した結果を用いた。このビットストリーム生成では 11 フレーム毎にフレーム内符号化を、それ以外はフレーム間予測符号化を行っている(横軸上の■はフレーム内符号化されたフレームを示している)。図からわかるように、ソフトウェア端末ではフレームによる処理時間が変動し、一定ではない。

ここで、この端末に 7.5 フレーム/秒の処理(1 フレーム当たり約 133 ms)が要求されていると仮定してみる。処理時間の変動を吸収する入出力バッファがない場合は、1 フレームあたり処理時間が約 133 ms 以上となるフレームのすべてで復号処理が破綻する(図 1)。破綻を防ぐには、入

図 2 復号処理時間の局所平均の変化
Variation of mean decoding process time.

出力バッファを設け、さらにバッファを溢れさせない処理能力が端末に必要となる。図 2 に、5 フレーム分の入力バッファを持たせた場合の 1 フレーム当たりに許される処理時間を、復号処理時間の 5 フレーム局所平均として示す。このように、端末にバッファを設けることで等価的に復号処理時間が平滑化され、処理が破綻するフレーム数を減ずることができる。しかし、バッファを大きくすると音声・動画再生に遅延を生じるから、その大きさは制約を受ける。また処理速度の高速化も実装費用により制約を受ける。このように、実際のソフトウェア端末にはバッファ溢れが生じる危険が常に伴う。特に処理能力の低い端末では、バッファ溢れが高い頻度で起こることになる。ソフトウェアメディア処理が実時間制約を満たさない場合に再生 QoS が破綻しないこと、いいかえれば処理環境変化に対する QoS 保証が今後のメディア伝送・処理の課題となっている。

本論文では、QoS 維持に重要なデータを優先的に処理することにより、端末の過負荷時に再生 QoS を破綻させないメディア同期再生方式を提案する。提案方式では、音声・動画の符号化ビットストリームに処理優先度を付加したフレーム単位のデータ構造(アクセスユニット)を導入する。そして、アクセスユニットの廃棄を処理環境変化に応じて選択的に行うことにより QoS の破綻を回避する。この考えを図 3 に例示する。この例では、処理優先度が付加された動画フレームを低性能端末と高性能端末が受信した

図 3 フレーム優先度を用いた動画フレーム廃棄
Discarding video frame with frame-based priority.

場合、高性能端末ではすべての動画フレームの再生を行い、低性能端末では端末での処理状況に応じて処理優先度の高い動画フレーム(例えば、シーンカット)を選択して再生を行う。アクセスユニットの処理優先度は、音声・動画のストリーム毎の優先度とフレーム毎の優先度を組合せて決定する。廃棄するアクセスユニットの処理優先度の閾値を、アクセスユニットに付加された復号指定時刻と現在の時刻とを比較することにより動的に決定する。これにより、伝送路・ソフトウェア実行系に依存しない優先度処理が実現される。

次章で従来研究を紹介し、提案手法の位置づけを述べる。3章で音声・動画同期再生方式を説明した後、4章で評価実験により本方式の有効性を示す。

2. 従来研究と提案手法

ソフトウェア実装時の同期再生を保証する方式が提案されている⁵⁾。符号化方式の基本は H. 263 と同様に、フレーム内符号化とフレーム間予測符号化の組合せからなっている。フレーム内符号化フレームは周期的(例えば、10 フレーム毎)に挿入される。端末の過負荷時や記憶媒体からの読出し速度が遅い場合など実時間制約が満たされない時は、フレーム間予測符号化フレームを読み飛ばし、フレーム内符号化フレームを復号完了時刻に同期させて選択、再生する。これにより端末の負荷に応じた時間同期を実現している。また、メディアの種類(テキスト、音声、動画など)に応じて優先度を付加して、過負荷時に処理するストリームを選択できるファイルフォーマットが提案されている⁶⁾。

上記の従来手法では、過負荷時に復号・再生するフレームあるいはストリームを、それぞれ動画のフレームタイプあるいはメディアの種類に応じて選択することにより QoS 保証を試みている。提案手法はこの考えを発展させた方式である。従来手法では粗い粒度であった選択処理に代えて、ストリーム間の相対優先度(ストリーム優先度)、各ストリーム内の音声・動画フレーム間の相対優先度(フレーム優先度)を明示的に扱う優先度処理を行う^{*1}。これにより、過負荷時には編集者があらかじめ定めた重要なシーンカットや音声の再生品質を優先的に保証した復号・再生を行える^{*2}。

優先度に基づいたデータの選択・廃棄による QoS 保証は、これまでシステムレベルで検討されてきた^{7)~9)}。たとえば、MPEG-2 トランスポートストリームの伝送パケットには廃棄可能であるかどうかを示すフラグが、インターネットプロトコルのパケットには処理の優先度を示す記述

がある。この記述により、伝送路の輻輳時に中継端末では、音声・動画ストリームがパケット単位で廃棄される。システムレベルとは伝送路における音声・動画ビットストリームの処理単位(パケット)を扱うレベルである。ところが、このパケット長はネットワークやオペレーティングシステム(OS)に依存する^{*3}。したがって、システムレベルのパケットの構造とメディア処理の処理単位である音声・動画フレームの構造が必ずしも一致しないために、QoS 制御が煩雑になる。ネットワークや OS に依存せずに、音声・動画の処理単位のレベルで端末の負荷状態に応じて動的に処理量を調整できる同期再生方式が必要である。

提案方式は、システムレベルの QoS 保証ではなく、音声・動画の処理レベルの QoS 保証を扱う。ここで音声・動画のストリーム単位、フレーム単位の処理レベルをシステムレベルの上位であることから、アプリケーションレベルと呼ぶことにする。次章で、アプリケーションレベルの QoS 保証方式を説明する。

3. 処理環境変化に耐性のある音声・動画同期再生方式

処理環境変化に耐性のある音声・動画同期再生を実現するために以下のアプローチをとる。

(1) アプリケーションレベルでの実現

アプリケーションレベル(フレーム単位、ストリーム単位の処理)で、音声・動画同期再生を保証することにより、異なるネットワークや OS での実現が容易になる。

(2) フレームとストリームに優先度を付加

フレーム優先度とストリーム優先度を採用することにより、編集者の意図をストリームとフレームの2つの優先度に反映した優先処理が実現される。

3.1 システムデコーダモデル

本アプローチの有効性を検証するためのシステムデコーダモデルについて述べる。システムデコーダモデルは音声・動画同期再生の動作を規定するモデルである。システムデコーダモデルは、MPEG-4 のシステムデコーダモデル¹⁰⁾¹¹⁾を参考に構成した。MPEG-4 システムデコーダモデルは、ネットワーク接続端末だけでなく放送端末や蓄積メディア再生機を対象としている。本論文で対象とするシステムデコーダモデルは、処理される音声・動画ビットストリームは欠落のないデータであるとする。

本論文のシステムデコーダモデルは、デコーダ入力バッファ、デコーダ、表示用バッファで構成する(図4)。音声・動画のデコーダをそれぞれ独立に設け、音声・動画の各ビットストリームを独立に処理する。ビットストリームはアクセスユニットに分解され、デコーダ入力バッファに格納される。アクセスユニットは復号・表示のための時間管理が同期のための処理単位となる。動画であれば1つの

* 1 実装の音声・動画では、ストリームは音声・動画毎に符号化したデータ系列を表す。フレームは、動画の場合は1画面単位で符号化したデータ区分を表し、音声の場合は音声を一定の長さ毎に符号化したデータ区分(たとえば、G. 723 では1フレーム 480 バイト)もしくは有音/無音区間毎に音声符号化データ区分を表す。
* 2 音声の場合、たとえば有音部分を選択して再生可能にすることである。

* 3 イーサネットは可変長で最大 1500 バイト、ATM は固定長で 53 バイトである。

図 4 システムデコーダモデル
System decoder model.

アクセスユニットが動画 1 フレーム分である。アクセスユニット毎にデコーダで復号されたデータは各デコーダの表示用バッファに格納される。

アクセスユニット単位の復号・表示の時間管理や同期のために、復号時刻スタンプ(Decoding Time Stamp, DTS と略す)と表示時刻スタンプ(Presentation Time Stamp, PTS と略す)を用いる。DTS はアクセスユニットが復号される時刻を表し、PTS は復号結果が表示される時刻を表す。MPEG-4 システムデコーダモデルでは、デコーダ入力バッファと表示用入力バッファがネットワークのジッタ(ゆらぎ)と可変長パケットの影響を吸収するために設けられている。デコーダ入力バッファと表示用バッファのオーバーフローとアンダーフローを防ぐために、DTS と PTS^{*4} の値を用いる。音声・動画ビットストリームはオブジェクト時間基準(Object Time Base, OTB と略す)を基準に復号・表示の時間管理が行われる。OTB は任意のアクセスユニットに付加されるオブジェクトクロック参照(Object Clock Reference, OCR と略す)の値に初期化される。例えば、あるアクセスユニットの OCR が 10 秒で、DTS が 15 秒と記述されていれば、OTB の値は 10 秒で初期化され、このアクセスユニットはデコーダ入力バッファに 5 秒間保持される。アクセスユニットは DTS の時刻で復号され即座に表示用バッファに出力される。復号時間の仮定が零であることから、PTS により表示用バッファが管理される。なお、表示処理時間も零であると仮定する。

本論文で仮定するシステムデコーダモデルでは、デコーダ入力バッファのオーバーフローは DTS とフレーム優先度を用いて防ぎ(詳細については次節で述べる)、表示用バッファはあらかじめ十分な容量(無限長のバッファサイズ)が確保されているものとする。デコーダ入力/表示用バッファでアンダーフローが生じている間は復号/表示処理が停止する。また、復号処理時間に関しては有限時間かかるものとする。PTS は DTS と復号処理時間最大値の和から求める。復号処理時間最大値は復号処理時間の最悪値として、フレーム優先度の最も高いアクセスユニット間の復号処理時間間隔を参考に決定する。なお、表示処理時間は零であると仮定している。

図 5 アクセスユニット
Access unit.

以下に、システムデコーダモデルの具体的な実現方法について述べる。音声・動画の各デコーダはマルチタスク OS の処理単位であるスレッドで構成する。符号化されたデータの復号および表示処理を管理するために、システムデコーダには以下の音声・動画のフレーム毎の管理情報がアクセスユニットのヘッドから与えられる(図 5)。

・動画フレームの管理情報

シーケンス番号
フレーム長 (バイト)
DTS
PTS
フレーム優先度

・音声フレームの管理情報^{*5}

シーケンス番号
DTS
PTS
フレーム優先度

データの復号および表示処理を管理するために、デコーダには復号する時刻を管理する処理タイマ(T1)と、音声・動画の表示時刻を管理する処理タイマ(T2)が存在する。復号処理時間が零でないため表示側にも処理タイマ(T2)を設けて表示時刻の管理を行う。また、各タイマは、それぞれ最初の符号化されたデータ、復号結果がバッファに到着した時点で値が零に初期化される(実装を簡略にするために、OCR を用いずに、DTS, PTS のそれぞれの相対な時間変化で時間管理を行う)。

処理タイマ(T2)との比較から PTS よりも前に復号結果が得られた場合は、処理タイマ(T2)の値が PTS に等しくなるまで表示が待機させられる。PTS よりも後に復号結果が得られた場合、復号化されたデータの廃棄を行わずに即座に表示する。

3.2 過負荷時のデータ廃棄処理

端末が過負荷時には復号処理に間に合わないアクセスユニットが、デコーダ入力バッファに蓄積し、時間の経過とともにデコーダ入力バッファがオーバーフローする。オーバ

* 4 MPEG-4 では正確には CTS(Composition Time Stamp)と呼ばれている。

* 5 音声フレームは固定バイト(24 kByte)である。

図 6 デコード判定処理の例
Example of decoding process.

図 7 優先度カットオフ値の決定方法
“Cut-off threshold priority” adjusting procedure.

フローを防ぐためにデータ入力バッファでの選択的な復号処理を行う。復号の可否を判定するために、デコーダ毎に、現在の処理対象となるフレーム優先度を決定する優先度カットオフ値を定義する。所定のカットオフ値より低いフレーム優先度を与えられているアクセスユニットを廃棄する。フレーム優先度は「0」が最も高く、数字が大きくなるにつれて優先度が低くなる。図6では、優先度カットオフ値が「4」である場合には、フレーム優先度が「4」よりも大きなアクセスユニットの復号を行わずに廃棄する。

図7に優先度カットオフ値の決定方法を示す。優先度カットオフ値はDTSと復号時刻を管理するタイマ(T1)との関係から決定される。優先度カットオフ値はフレーム優先度の最小値に初期化される(例えば、フレーム優先度が「0」から「5」までの間で表現されるなら、初期値を「5」に初期化する)。T1の値と動画フレームや音声フレームに付加されたDTSの値との比較から、T1の値がDTSの値よりも大きければ復号処理が遅れていると判断し、優先度カットオフ値を1減らす。逆に、T1の値がDTSの値よりも小さい場合、端末の処理能力に余裕があ

るものと判断し、優先度カットオフ値を1増やす。

また、ストリーム優先度とフレーム優先度は、「0」が最も優先度が高く、数字が大きくなるにつれて優先度が低くなる。フレーム優先度が最も高い「0」のデータは必ず復号処理を行う(編集者があらかじめ定めた重要なシーンカットは優先度を「0」に割り当てればよい)。実装では、処理の優先度の高いストリームに対しては、ストリームの復号処理を行うスレッドに対して、OSレベルでより高いストリーム優先度を割り当てた。OSレベルでの優先度の割り当てにより、実行優先度の低いスレッド、すなわちストリーム優先度の低いビットストリームでは、その復号処理の実行速度の低さのため、より大きな遅延が発生し、その結果、より多くのフレームが廃棄される。

4. 評価実験

4.1 実験条件

動画のビットストリームはH.263で、音声のビットストリームはG.711であらかじめ符号化したものを用意した(素材は30秒の独自素材である)。同時に音声・動画のフレームの管理情報を前述した形式で、音声・動画のビットストリームとは別のファイルとして作成した。評価実験では優先度の割り当ては下記の通りである。

- ・動画：H.263, 1ストリーム, ストリーム優先度「1」
フレーム優先度は4段階、フレーム内符号化されたフレーム(Iフレーム)は「0」~「2」の3段階、フレーム間予測符号化されたフレーム(Pフレーム)は1段階で「3」
- ・音声：G.711, 1ストリーム, ストリーム優先度「0」
フレーム優先度は1段階ですべて「0」

毎秒30フレームのCIFサイズの画像(352×288)から6フレーム毎に1フレームを取り出し、取り出された画像から11フレーム毎の画像をIフレームとした。6フレーム毎に画像をサンプリングした理由は、音声(G.711)とCIFサイズの画像を同時に復号した場合、実装環境のコンピュータ*6で5フレーム/secが無負荷時に時間同期を維持できる上限であったことによる。

また、端末の急激な負荷変動を考慮して、大幅なフレームスキップが可能のように、フレーム内符号化された動画フレームのフレーム優先度は下記のような繰り返しパターンで優先度を割り当てた(優先度が最も高い「0」のデータは必ず復号処理が行われる)。

0 → 1 → 2 → 1 → 0 → 1 → ……………

端末に仮想に負荷を与えるために、CPUの処理能力を捕らえるソフトウェアを使用した。以降、負荷90%はCPU処理能力の90%を奪った状態であることを示す。

4.2 実験結果と考察

図8, 図9に動画フレームの優先度の時間的な遷移を示

*6 使用するOSはMicrosoft社のWindows 95, 使用CPUはIntel社のPentium 166 MHzである。

図 8 フレーム優先度の遷移 (無負荷)
Frame-based priority transition (No load).

図 9 フレーム優先度の遷移 (負荷 90%)
Frame-based priority transition (Load 90%).

す。横軸はフレーム番号で、◆はフレームスキップが起こったかどうかを示す情報で、値が「1」のときはフレームスキップの状態である。■は動画フレームに付加されたフレーム優先度を示し、▲は優先度カットオフ値を示す。負荷を無負荷、90%負荷の場合で評価した。無負荷時にはPフレームだけがスキップされているが、90%負荷時には最も優先度の高いIフレームと優先度「1」のIフレームのみが再生される。したがって、優先度「2」のIフレームとPフレームはスキップされている。

図からわかるように、本実験で用いた優先度カットオフ値は、端末の負荷変動の様子を表している。

図10、図11に音声・動画フレームのPTSと復号完了時刻(復号処理が完了した時刻)との関係を示す。◆は音声・動画のフレームのPTS、■は動画フレームの復号完了時刻、▲は音声フレームの復号完了時刻を示している。グラフには復号された動画フレームのみをプロットした。なお、動画フレームの復号完了時刻がPTSよりも値が下回る場合があるのは、動画のフレーム廃棄により余裕が発生し、表示時刻以前に復号が完了したためである。

また、音声はストリーム優先度により動画よりもシステムレベルで処理の優先度が上げられているため、音声フレームの廃棄は発生しなかった。なお、音声フレームの復号

図 10 PTS と復号完了時刻との関係 (無負荷)
Relationship between PTS and decoding completion time (No load).

図 11 PTS と復号完了時刻との関係 (負荷 90%)
Relationship between PTS and decoding completion time (Load 90%).

完了時刻とPTSはほぼ同一直線上にある。

さらに、図からわかるように、音声・動画の同期のずれに関しては、無負荷、負荷90%時とも、同期のずれは生じていない。

以上より、負荷が増大しても音声・動画の同期再生が維持でき、処理環境の変化に対して実時間制約を考慮したQoS保証が実現できた。なお、音声の場合も有音区間は高く、無音区間は低い優先度を割り当てるような段階的な優先度割り当てが可能である。

なお、優先順位の決め方によっては、本提案手法を用いても再生の破綻を来すことは避けられない。提案方式ではフレーム優先度の最も高い音声・動画フレーム(フレーム優先度「0」)は必ず復号すると定義している。優先度「0」のフレームが短い時間間隔で出現する場合、端末が高負荷時でもフレーム廃棄が充分にできないため再生の破綻が起こりうる。したがって、システムデコードモデルのデコード入力バッファの大きさの間隔で優先度「0」のフレームを挿入するように設定する必要がある。優先度「0」のフレームのみがすべて復号できる端末性能が再生の破綻を来さない最低限の端末性能である。最適な優先度の割り当て方法は音声・動画の内容に依存する。割り当て方法に関しては今後の課題としたい。

われわれは、アプリケーションレベルでの処理環境変化に耐性のある音声・動画同期再生方式を提案した。提案方式では、音声・動画のビットストリーム毎にストリーム優先度を、ビットストリームを構成するフレーム毎に、フレーム優先度、復号時刻、表示時刻を対応づけて同期再生処理を行った。また、廃棄対象となるフレーム優先度を示すカットオフ値を定義し、この値により、低いフレーム優先度を与えられているフレームを廃棄対象として選択的に廃棄した。同時に、フレーム優先度のカットオフ値を、どの復号時刻においても遅延が検出されない最も低いフレーム優先度に維持した。以上の結果、負荷変動に対して遅延が起きない必要最小限のアクセスユニット廃棄(最大限の再生品質)をアプリケーションレベルで確保することが可能になった。本提案手法を用いることにより、端末の負荷に耐性のあるソフトウェア実装の放送端末、通信端末機器の実現が期待できる。

なお、本論文で提案したフレーム優先度は MPEG-4 システムで“degradation Priority”として採用され、Computational Graceful Degradation(計算負荷に応じた緩やかな品質劣化)の実現手段となっている¹⁰⁾¹¹⁾。

複数のビデオや複数のオーディオストリームでの定量的な QoS 評価と、ネットワークのトラフィック制御への適用が今後の課題である。

本研究は、通信・放送機構(TAO)からの受託研究「次世代放送方式技術に関する研究開発」の一環として行われたものである。

- 1) T. Turetti, C. Huitema: “Videoconferencing in the Internet”, IEEE/ACM Transactions on Networking Journal, pp. 340-351 (June 1996)
- 2) K. Rath: “Set-top Box Control Software: A Key Component in Digital Video”, Philips Journal Res (1996)
- 3) H. Arakawa, T. Maeda and M. Etoh: “Software Architecture for Flexible and Extensible Image Decoding”, Signal Processing: Image Communication, 10, pp. 235-248 (1997)
- 4) ITU-T Recommendation H.263, “Video Coding for Low Bitrate Communication” (May 1996)
- 5) 日経 BP 社: インターネットテレビ放送が始まる, No. 653 (1996)
- 6) A. Klemets: “RTP Payload Format for ASF Streams”, INTERNET-DRAFT (Oct. 1997)
- 7) ISO/IEC 13818-1, “Information Technology-Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Systems”, International Standard (Nov. 1994)
- 8) 谷口幸治, 谷英明: “HD マルチメディア配信システムへストリーム QoS 管理機構と動的画質制御方法へ”, 信学技報, CQ97-5, pp. 31-38 (1997)
- 9) S. Deering, R. Hinden: “Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification”, Internet-Draft (July 1997)
- 10) 栄藤稔: “MPEG-4 システム”, 映像学誌, 51, 12, pp. 1996-1973 (1997)
- 11) ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/N1901, Text for CD 14496-1 Systems (Nov. 1997)

やまぐち たか お
山口 孝雄 1988 年, 大阪市立大学工学部電気工学科卒業。1990 年, 同大学大学院修士課程修了。同年, 松下電器産業(株)入社。以来, 中央研究所において, グループウェア, マルチメディア通信システムの等の研究開発に従事。正会員。

えとう み の る
栄藤 稔 1983 年, 広島大学工学部第二類(電気系)卒業。1985 年, 同大学大学院博士課程前期修了。同年, 松下電器産業(株)に入社。1987~1990 年, ATR 出向, 1991~1992 年, 大阪大学受託研究員。この間, コンピュータビジョンの研究に従事。現在, 松下電器産業(株)中央研究所主席研究員および奈良先端科学技術大学院大学客員助教授。工学博士。