

音を用いたモーションメディアコンテンツ流通方式の提案とそのネットワークコミュニケーションサービスへの応用

中山 彰^{*1} 町野 保^{*2} 北岸 郁雄^{*1}
岩城 敏^{*1} 奥平 雅士^{*1*3}

A Proposal of MotionMedia Contents Sharing via Audio and its Application to Network Communication Services

Akira Nakayama^{*1}, Tamotsu Machino^{*2}, Ikuo Kitagishi^{*1},
Satoshi Iwaki^{*1} and Masashi Okudaira^{*1*3}

Active entities such as robots will play an important role in the next generation of communication. In this paper, a physical medium that includes the motion of active entities such as robots or physical end-effectors is called MotionMedia and the efficient sharing method of the robot motion control data (called MotionMedia content) is discussed for the realization of robotic communication services. To foster the sharing MotionMedia contents and minimize the overhead of the sharing, the reuse of conventional media for the sharing MotionMedia is an important idea. So, the conceptual idea of MotionMedia contents sharing via audio is proposed. This technique embeds robot control signals in an audio stream with modulation technique. This concept can be explained as the usage of an audio medium as a carrier to convey control data. To test this concept, the authors have developed two implementations of the conceptual idea, which use frequency modulation technique and Dual Tone Multi Frequency as modulation technique respectively and proto-type desktop communication robot systems. These robots have been applied to the conventional communication media such as World Wide Web, E-mail and cell phone. The authors have showed that MotionMedia sharing platform via audio can be realized easily and it is a promising concept.

Key Words: Robot, Motion, MotionMedia, Audio, Sharing, Communication, Contents, Platform

1. はじめに

昨今のロボットブームには目を見張るものがある。これらのほとんどは非産業用分野での利用が想定されているためパーソナルロボットと総称されることが多く、家電、コミュニケーション、エンターテインメント分野等を中心に、様々なインスタンスやコンセプトが提案されてきている[1]~[9]。これらは単なる一過性のブームにとどまらず、ユビキタス社会への発展の一環として我が国の重点化技術項目として位置づけられており[10]、数多くの企業・大学により精力的に研究開発が進められている。しかしながら、冷静にこれら一連の活動を眺めてみると実用的・ビジネス的にはいまだ黎明期であり、企業利潤を生む実産業と

しての市場が立ち上がっているとは決していえない。

本論文ではこのような研究開発とビジネスとの乖離状況を憂い、パーソナルロボットの中でも、特に実現性・有用性の観点で近い将来最も有望なコミュニケーションロボットに焦点をあて、その利用場面を早期に広げることをねらいに、そのための方策について一方法を提案する。本手法の着想はNTT東日本のISDN販売促進マスコットとしてのロボット、「メール読みマウス4」の研究開発活動から得られたものである。メール読みマウス4では、その商品の目的上、幅広いPCで動作することが求められ、また、安価・簡便な駆動方式とすることが求められた。このため筆者らは、音を使ってロボットを駆動することが有力な解になりうるとの立場に立って開発を進めた。本論文では、この過程で企画・開発した駆動方式・アプリケーションソフト・コンテンツについて論じ、音で駆動する方式は、コミュニケーションロボットの利用場面を広げる方策として一つの有力な手段になりうることを示す。一般にコミュニケーションロボットという言葉は非常に広い意味を有するが、本論文では、「実体の空間的な動きを伴って、人間に何らかの情報を伝えるロボット」と定義することとする。

原稿受付 2004年7月6日

^{*1}日本電信電話株式会社 NTT サイバースペース研究所

^{*2}日本電信電話株式会社 NTT サイバーソリューション研究所

^{*3}現在、武蔵工業大学環境情報学部

^{*1}NTT Cyber Space Laboratories, NTT Corporation

^{*2}NTT Cyber Solutions Laboratories, NTT Corporation

^{*3}Presently with Faculty of Environmental and Information Studies, Musashi Institute of Technology

コミュニケーションロボットのビジネスが膠着している最大の理由は、それらロボットを活用したキラーアプリケーション・キラーサービスが提案されていないことに尽きる。これは見方を変えれば、機能と価格のバランスに購入者が納得感を持てるような商用サービスが、いまだ市場に投入されていないからだと筆者らは考えている。

残念ながら、筆者らもそのキラーサービスは何であるかをここで答えることはできない。その代わりに本論文では、この難問の答えを見つめるアプローチとして、キラーサービスの創出確率を高める方策について論じてみたい。その鍵の一つは、まずコミュニケーションロボット利用の議論をロボット研究者に閉じずに一般に開放することだと考えている。つまり、コミュニケーションロボットの利用法に関する現実的・多面的な議論を、ロボット研究者や開発メーカだけにとどめず、マルチメディアコンテンツクリエイター、デザイナー、ネットワークキャリア、そして何より一般のユーザを含めた様々な立場の人に広がっていくことが重要であると考えている。そのためには、ハードウェアとしてのロボットに加え、それを動かすためのプログラムや動作データ、すなわちコミュニケーションロボットに用いられるコンテンツが、誰にでも使える形でネットワーク上を流通する仕組みが必須になってくると思われる。

このような考え方は、近年のインターネットにおけるデジタルメディア（テキスト、音、画像、映像）のコンテンツの急速な広がりを見たときに想起されたものである。これら既存のメディアにおいては、興味のあるユーザが誰でもそのコンテンツを作成し、特定の人に送信したり、あるいは一般に公開することで第三者がダウンロードし再生するという、ユーザドリブンなコンテンツ流通の枠組みと文化がすでに浸透しつつある。それゆえ、良質なコンテンツが創出・発見される確率が高まり、さらに関連技術の共通化・標準化が促進され、ユーザのみならず、コンテンツの生成、配信、蓄積、再生に関わる様々なメーカやベンダも潤うという好循環が生まれている。コミュニケーションロボットにおいても、そのような流通の枠組みがもし存在するならば、キラーサービス発生の確率が高まっていくのではないだろうか。そしていったんキラーサービスが発生すればそれに類似したサービスが次々に誕生し、ひいてはロボット市場全体が活性化していくのではないかと筆者らは予想している。

我々はこのような思想を背景にこれまで、コミュニケーションロボットの動きを、従来のテキスト、音声、画像、映像の次に来る第5のメディア：モーションメディアと位置づけ、そのモーションメディアを含むコンテンツをモーションメディアコンテンツと提唱してきた[11]。さらに、そのモーションメディアコンテンツをネットワーク上で流通する枠組みをモーションメディアコンテンツ流通プラットフォームと呼んで、その意義と概念的な要件について検討してきた[11][12]。

上記と関連する研究として、ロボットを一種のメディアととらえる考え方が古くから提唱されている[13]~[17]。また、コミュニケーションロボットのプログラムやデータを、ネットワーク上で流通させようという試みも数多く報告されている[12][18]~[26]。

しかしながらこれらの研究では、既存のネットワーク資源、

すなわち、既存コンテンツや既存インフラストラクチャを積極的に再利用しようという発想に乏しい。加えて、コンテンツの生成から再生までネットワーク上での流通全体を視野に入れたフィージビリティに関する検討が十分ではないので、早期に世の中全体に広まることは困難であると考えられる。モーションメディアコンテンツを早期に流通させるためには、それ専用のネットワーク環境やコンテンツをまったく新規に作り上げていくのは現実的ではない。むしろ、現存するデジタルコンテンツ流通のためのネットワークインフラストラクチャ、端末、コンテンツ等などの既存資源を有効活用・再利用することが加速のポイントではないかと筆者らは考えている。そこで本論文では、コンテンツ流通の視点から最も進化・浸透しているメディアである音に着目して、それにロボット動作データで変調された音信号を重ねることでモーションメディアコンテンツの流通を加速する有用性の高い方法を新たに提案する[27]。

なお、データを音に変調して伝送する考え方自体は通信用MODEM、プッシュ式電話のDTMF (Dual Tone Multi Frequency) など古くから実用化されている。最近でも、Gerasimovらがデバイス間の簡便な通信手段として音伝送に注目し、計算量、伝送効率、そして人間への聞こえの観点から様々な変調方式の網羅的な検討を行っている[28]。Lopesらも同様の検討を行っており、人間の聞こえが音楽や楽音に近づくような変調のパラメータを見出している[29]。しかしながらこれらの研究では、音信号の変調方式に関する検討が中心で、モーションコンテンツ流通促進という視点は含まれておらず、その意義と応用例に関する検討は不十分であるといえる。

以下、本論文では、まず筆者らがこれまで提案してきたモーションメディアコンテンツ流通プラットフォームの基本的な考え方を述べ、そのプラットフォームに対する要求条件を提示する。そして音を使うことでそれらの要求条件をシンプルに満たすことが可能であることと、その根本的なメリットについて記述する。次に、音への重畳方式として、有線・無線の二つの実現手法を提案し、それぞれの方式に基づいたコンテンツ生成、配信、再生方式や実装例について詳述する。その後、上記メリットを生かしたネットワークサービス応用例とビジネス導入事例を紹介することで本方式の実用性を示す。

2. モーションメディアコンテンツ流通プラットフォームとそのプラットフォームに望まれる要件

本章では、筆者らがこれまで提案してきたモーションメディアコンテンツ流通プラットフォームの基本的な考え方を述べ、そのプラットフォームに対する要求条件を提示する。

筆者らは、モーションメディアコンテンツ流通のためのモジュール群を、「モーションメディアコンテンツ流通プラットフォーム」と呼び、検討してきた[11][12]。このイメージ図をFig. 1に示す。このモーションメディアコンテンツ流通プラットフォームは、ネットワーク基盤、課金・決済などの情報流通のための基礎的な情報流通プラットフォーム上に置かれることを想定し、生成・配信・再生・記述・管理・蓄積のコンポーネントから構成されている。「管理」「蓄積」「記述」については、すでに議論されているので[11][12]、本論文ではプラットフォームのキーコ

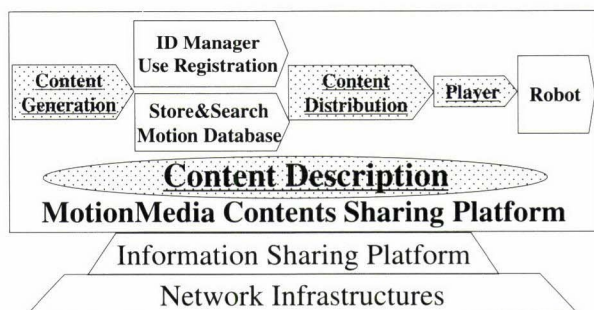


Fig. 1 MotionMedia contents sharing platform

ンポーネント「生成」「配信」「再生」に焦点を当て論じる。

本章の理解を助けるために、キーコンポーネント「生成」「配信」「再生」「記述」を音楽の例で説明する。生成は、音楽を作曲するためのコンポーザソフトなどの道具に対応する。また配信は音楽を配信する仕組み、例えば、ストリーミングのためのサーバや、ネットワーククライアントソフト、CDなどの媒体に対応する。再生はデコーダソフトやプレイヤーなどからなる。また記述は、MIDIやMP3、楽譜などの音楽を記述するためのフォーマットや規約に当たる。

このように「音」流通のためのプラットフォームとして、様々な標準的なシステム・ソフトウェア・規約が存在しているために、音コンテンツは積極的に流通されているといえる。モーションメディアコンテンツにおいても、同様なコンテンツ流通のためのプラットフォームが重要であると筆者らは考える。同時に、音楽におけるスピーカに相当する出力機器としてのロボットの多様性（形状、関節数、自由度、入出力インタフェースのバリエーションなど）、またそれら多様なロボット間の相互接続性・ロボット間のコンテンツの互換性、モーションのコンテンツとしての使用方法・位置づけ（モーション単独ではなく、他メディアと連携・同期して使用される、専門家ではなく一般ユーザが使用）、プラットフォーム構築にかかるコストにかんがみて、モーションメディアコンテンツ流通プラットフォームが満たすべき要件を下記のように考察してきた[11][12]。

- (1) モーションメディアコンテンツの生成の観点
 - (a) 簡易なアプリケーションの作成環境の提供
 - (b) 他メディアとの同期を含むモーションメディアコンテンツの簡易な作成・編集環境の提供
- (2) モーションメディアコンテンツの配信・再生の観点
 - (a) 既存ネットワーク資源との親和性
 - (b) 従来メディアとの同期
 - (c) 各ロボットに応じた動作の変換
- (3) モーションメディアコンテンツの記述の観点
 - (a) 他メディアとの同期も考慮したロボット動作記述の統一化・標準化
 - (b) インタフェースの統一化・標準化

モーションメディアコンテンツ流通はまだまだ黎明期であるとの認識のもとで、コンテンツ流通を加速する視点に立つと、簡便でかつ魅力的なコンテンツを生成・配信・再生できるプラットフォームの構築が標準化・統一化に比して、特に重要である

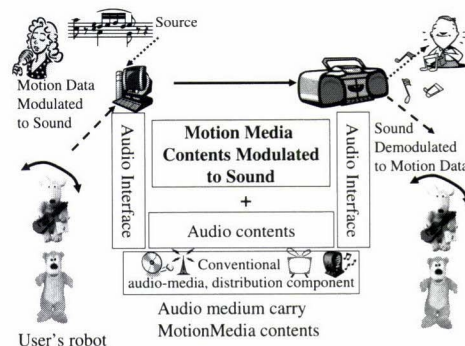


Fig. 2 Conceptual idea of MotionMedia contents sharing via audio and its application to communication

と考えることができる。すなわち(1)-a, b (2)-a, bの要件を満たすプラットフォームの構築が黎明期のモーションメディアコンテンツ流通を加速する意味で重要であると考えられる。次章以降で(2)-a, bをオーディオ技術をベースとして実現する方式について詳細に説明し、(1)-a, bについても具体例を述べる。なお(2)-c, (3)-a, bについては別論文で議論しているので参照されたい[11][12]。

3. 音を用いたモーションメディアコンテンツ流通の提案とその特長

前章の(1)-a, b, (2)-a, bの要件を満たす一つの方法として、我々は、「音コンテンツ」の中に、「モーションメディアコンテンツで変調された音信号」を重畳し流通させることを提案する。その概念図をFig. 2に示す。送信側では、動作信号（モーションメディアコンテンツ）で音信号を変調し、既存の音インフラストラクチャに送出される。音インフラストラクチャにおいては、モーションメディアコンテンツは音信号として扱われ、流通される。一方、受信側では、送出された信号を受信し、復調し再び元のモーションメディアコンテンツを再生する。

人間や動物が何らかの感情や意思を表現する場合、身振り・行動と言語または鳴声を組み合わされた形で発現される。また、舞踊は動作と音楽が結びついた表現である。このように「モーションメディア」と「音メディア」との結びつきは自然なものであり、音コンテンツの中に音コンテンツと関連の深い、「モーションメディアコンテンツ」を重畳し一緒に流通させることは自然な発想であろう。音を用いたモーションメディアコンテンツ流通方式の特長を以下にまとめる。

●既存の音資源との親和性

豊富に存在している、「音」のインフラストラクチャ、機器あるいはソフトウェアなどが利用可能である。すなわちインターネット・放送・電話などの音インフラストラクチャ、CD・MD・音声関連API・音声関連プラグインなどの機器・端末・端末ソフトウェアが利用できる。これらを利用することにより、モーションメディアコンテンツが世の中に流通・配信・蓄積していく機会が広がり、多様なコミュニケーションスタイルを構築できる。

●音メディアとの同期性

音信号そのものにモーションメディアコンテンツが内在

しているの、本質的に音コンテンツとモーションメディアコンテンツの同期をとることができる。これらは、踊りなどのように音と動きがぴったり合うことが要請されるコンテンツには重要な性質である。また面倒なメディア間同期をコンテンツ再生時に考慮しなくてよい。

●物理インタフェースの簡便さ

アナログ音声端子・スピーカは最もありふれたインタフェースである。この音声端子だけのシンプルな接続だけでロボットを動作させることができる。また従来のロボットのように、ロボット利用者に接続のわずらわしさを感じさせることはない。

●モーションメディアアプリケーション作成の容易さ

音が出る仕組みを有する環境があれば、簡単にモーションメディアを利用する音と動きの連動アプリケーションが作成できる。また音が出る既存アプリケーションの、音が生成される処理部分あるいは、アプリケーションの音ファイル（メール着信音、アプリケーション起動音など）を交換するだけで、簡単にPC画面のテキストや画像、映像とロボットが連動するアプリケーションソフトへ変更できる。また音ファイルを再利用する要領で、モーションコンテンツの再利用なども可能となる。

このように音を用いたモーションメディアコンテンツ流通は、前章で述べたモーションメディアコンテンツ流通プラットフォーム構築の重要な望ましい要件、すなわち、(1) 簡易なアプリケーション作成環境の提供、(2) 従来メディアとの同期を含む簡易なコンテンツ作成環境の提供、(3) 既存ネットワーク技術との親和性、(4) 配信時での従来メディアとの同期、を満足する解であるといえる。さらに、生成・配信・再生・記述をすべて「音」で境目なく行う非常に簡便な構築方法ともいえる。そのため音に関連する技術、例えば、音声認識・合成処理、自然言語処理等と組み合わせてネットワークを介した人と人、人と機械のロボティックコミュニケーションインタフェースの実現技術としての高い可能性を持っている。

4. 音を用いたモーションメディアコンテンツ流通の実現方式

音を用いたモーションメディア流通の実現方式は、応用サービス、使用するロボット（自由度、制御精度など）、そのサービスを実現するために使用可能な音の生成・配信・再生・記述プラットフォーム、モーションメディアコンテンツの音への変調・重畳システム、音からのモーションメディアコンテンツへの分離・復調システムなどのすべての面での特質を考慮し、これら全体の開発、すなわち、「音プラットフォームの適切な選択」「変復調アルゴリズムの実装」が行わなければならない。本章では、二つの音を用いたモーションメディアコンテンツ流通プラットフォーム実現方式をそのデザインコンセプトとともに示す。

一つ目は、原音そのものに制御信号を重ねて送出する変復調方式で構成された実現方式、そして二つ目は、音チャネルを音情報と制御信号に分離して送出する変復調方式で構成された実現方式である。筆者らは、ロボットがCyber空間と実空間をつないで音信号の基盤の上に動作するものであるところから、

以下ではこれらのプラットフォーム実現方式を、それぞれCyberPerformer/Hyper, CyberPerformer/Audioと呼ぶ。ここでは、単一自由度のロボットのための実現方式の実装を行った。

4.1 CyberPerformer/Hyper

4.1.1 CyberPerformer/Hyperのデザインコンセプト

CyberPerformer/Hyperは、「聴衆とロボットに同時に影響を及ぼす単一のオーディオストリーム」によるモーションメディアコンテンツ流通の実現を狙ったものである。すなわち、聴衆には音楽・ガイダンス等の普通の音として聞こえながら、ロボットには制御信号が受信されるという同時性とオーディオケーブルを必要としないワイヤレス化をねらいとしている。

4.1.2 CyberPerformer/Hyperの向け変復調システム

人間に聞こえないように音に情報を埋め込む方式としては、従来、電波などで用いられている変復調方式を適用する方法と、著作権保護などで使用されている電子透かしを利用する方法がある。前者では、AM変調方式・FM変調方式・位相変調方式[28]また、後者では、周波数拡散による方法[30]、エコー成分を付加する方法[31]、位相を変化させる方法[30][32]、マスキング現象を利用する方法[33]などの方法が提案されている。我々はCyberPerformer/Hyperのコンセプトの「ワイヤレスでの伝播でのロバスト性・人間に対してのロボット制御信号音の不可聴性」を満足する方法として、FM変復調方式を選択して、人間の耳の周波数特性を考慮した方法を開発した。人間の耳の最小可聴域は周波数に対して一様ではなく、高周波領域において閾値は上昇することが知られている[34]。したがって、今回は、人間の耳に感じにくい18[kHz]中心周波数を持つ動作情報を変調したFM信号を使用することで情報の埋め込みを行うこととした。中心周波数18[kHz]は、比較的安価なオーディオ機器のカットオフ周波数特性、デジタル機器の出力特性と信号の聞こえにくさを考慮し実験的に定めた。Fig. 3にこの伝送方式のブロック図を示す。

変調側においては、モーションメディアコンテンツ（-90度から+90度の1関節の角度時系列データ）は100[Hz]の変調幅でFM変調され、カットオフ周波数11[kHz]でローパスフィルタリング処理された音楽信号に埋め込まれる（重畳される）。FM信号の発生は次式に従って行った。

$$s_{FM}(t) = A \cos \left[\omega_c t + k_f \int f(t) dt \right] \quad (1)$$

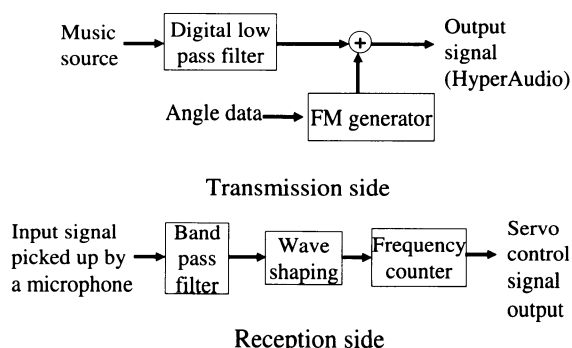


Fig. 3 CyberPerformer/Hyper general process flow

ただし A : FM 信号の振幅, ω_c : 中心周波数 ($2\pi \times 18,000$), k_f : 定数 ($100/44, 100 \times 2\pi \times 1/90$, 最大周波数偏移 100 [Hz]), $f(t)$ (値域: $-90 \leq f(t) \leq +90$): 角度情報, t : 時間を表している. 式 (1) によって指令値 -90 度に対応する瞬時周波数は 17.9 [kHz], 同 $+90$ 度に対応する瞬時周波数は 18.1 [kHz] とする.

FM 信号の振幅は, 人間の 18 [kHz] 近傍における最小可聴域, 想定される使用環境下での雑音のレベル, 原音の音量レベル, 復調側での信号入力電圧を考慮し, 実験的に定めた. 16 ビット DA 変換器 (最大振幅は $32,767$) を持つオーディオ機器の場合は, 振幅 $12,000$ とした.

復調側では 18 [kHz] 近傍の帯域のみバンドパスフィルタで抽出した後, 抽出された信号に同調した矩形波を PLL (Phase Locked Loop) 回路により生成する. 次に, FPGA (Field Programmable Gate Array) に実装されたカウンタ回路を用いて, 20 ミリ秒ごとに, 同調した矩形波の 50 個の立ち上がりを計数し, その計数に要した時間で, 市販の RC (Radio Control) サーボの制御信号である繰り返し矩形波 (繰り返し周期 20 ミリ秒) のデューティ比を制御する. 実現したシステムでは, 20 ミリ秒間隔で 1.5 度の精度で 1 個のモータ制御を実現したが, FM 信号の多重化などにより, 複数のモータの制御への拡張も可能である.

4.1.3 試作した変復調システムの評価実験

実用性の評価のために, 一般的环境下での動作確認, ロバスト性, 汎用性確認, 音質確認実験を行った.

原理確認実験: 暗騒音レベル 65 [dB] (A) のオフィス環境下で動作確認実験を行った. あらかじめ動作情報が重畳された音楽信号は通常の CD-R レコーダを用いて書き込まれた. その信号はスピーカ (Panasonic EAB-MPC57S) で放射され, マイクロホン (SONY ECM-MS907) でピックアップされ復調システムに入力された. スピーカはハイファイ仕様 (カットオフ周波数 30 [kHz]) で, マイクは高音質收音マイクである. 音楽信号の平均提示レベル 75 [dB] (A) の場合で, マイクロホン, スピーカの距離 5 [m] においても安定して動作することを確認された.

ロバスト性確認: 本手法のノイズへのロバスト性を調査するために, オーディオケーブルで実験システムを音源 (DAT デッキ) に接続し, あらかじめ白色雑音を重畳して作成した様々な SNR (Signal-to-Noise Ratio) の 20 秒間の振幅 $12,000$ の FM 信号 (指令値 0 度一定) を入力し, 回転角度の制御値との最大誤差と SNR との関係を求めた. **Table 1** に結果を示す. 最大の誤差は, SNR が 6 [dB] であっても, 15 度に収まっている. 通常の部屋の背景雑音のエネルギー密度は周波数の増加とともに減少すること, またロボットの関節の「遊び」, ロボットの機械的構造にかぶせる「ぬいぐるみ」などで, 微小な (10 度程度) の誤差は隠されることで実用上の問題は生じないと考えることができる. またオーディオ用コーデックへのロバスト性を調査するために動作情報が重畳された音源を CD と遜色ない品質で圧縮できるといわれている, MPEG Audio Layer 3 (128 kbps) で符号化した安定した動作を行うことができなかった.

汎用性確認: 本手法の汎用性を確かめるために, 6 種類のス

Table 1 Result of the noise robustness test (CyberPerformer/Hyper)

SNR[dB]	Maximum Error Angle
6	15.0
18	9.0
30	3.0
36	0.0

ピーカ (ハイファイスピーカ, デスクトップ PC スピーカ, 安価なオーディオ用スピーカ) と 7 種類のコンデンサ型マイクロホン (ヘッドセットマイク, スタンドタイプ, ボーカルピックアップ用マイク) の特性測定を行った. その結果, 7 種類のマイクロホンは動作に必要な十分な 18 [kHz] 付近での十分な感度を得られた. しかしながら, スピーカの周波数特性は様々であり, カットオフ周波数 16 [kHz] 以上が, 適用できるかどうかの一つの目安となることが分かった.

音質確認: 音質に与える影響をチェックするために 20 から 40 歳の男女, 92 名の人にオフィスにて, 動作信号の埋め込まれた音を視聴してもらった. 90 名の方は, 高い周波数の FM 信号の存在に気がつかなかった. また存在に気づいた人も, 「かすかに聞こえる程度」との回答が寄せられ, 大きく原音の品質を傷つけていないことが確認できた.

4.1.4 CyberPerformer/Hyper のための音の生成・配信・再生・記述プラットフォーム選択の指針

前記実験結果などからプラットフォーム設計において次のような知見・指針を得た.

- (1) **生成:** 18 [kHz] 近傍の FM 変調波を精密に制御し生成できる能力が必要であり, その要件を満たす手段としては, 例えば 44.1 [kHz] サンプル以上対応のデジタルオーディオ機器などがあげられる.
- (2) **配信:** 18 [kHz] 近傍の高周波成分をひずみなく伝える能力が必要であり, 適切な手段としては CD 媒体などがあげられる. オーディオ圧縮などは高周波成分の成分をひずませる場合が多く適さない. また AM ラジオ放送 (10 [kHz] 程度まで伝送), FM ラジオ放送 (16 [kHz] 程度まで伝送) などとも周波数帯域の面から適さない.
- (3) **再生:** 18 [kHz] 近傍の高周波成分をひずみなく再生できる能力が必要であり, ハイファイ対応オーディオ機器, サウンドボード・高い忠実度を持つ音声プレイヤー, プラグインや API などが適切である.
- (4) **記述:** 高周波成分を記述できるフォーマットとしては, Linear PCM (Pulse Code Modulation) 表現 (Microsoft Windows の「.wav」などでの標準形式) などが適切である.

4.2 CyberPerformer/Audio

4.2.1 CyberPerformer/Audio のデザインコンセプト

CyberPerformer/Hyper より簡便で機構でして, 雑音や信号のひずみに対しても確実な動作, 狭帯域オーディオ信号でも動作するモーションメディア流通の実現を狙ったものである. さらにコスト削減のために, 動作信号のためだけに一つの音声チャネルを占有させて使用することとした.

4.2.2 CyberPerformer/Audio 向け変復調システム

我々は, ステレオ音声ケーブルを使用するモーションメディ

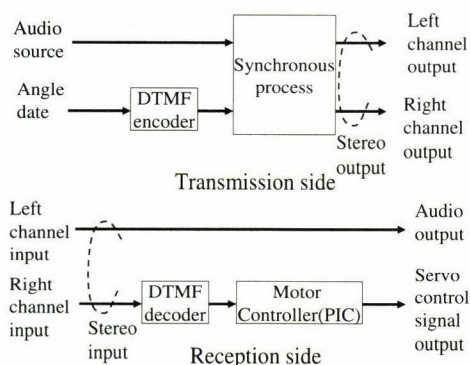


Fig. 4 CyberPerformer/Audio general process flow

ア変復調システムを構築した。Fig. 4 に、そのシステム詳細図を示す。本方式では、ステレオ音声のうち、左チャンネルは通常の音声信号、そして右チャンネルにロボット制御信号を載せるように構成されている。左チャンネルの音声信号はそのまま増幅されスピーカから放射される。右チャンネルのロボット制御信号としては、デコーダが安価でかつ雑音に強い DTMF (Dual Tone Multi Frequency) 信号を用いた。DTMF 信号はプッシュホン電話に用いられているため高性能・安価なデコーダが入手が容易である。DTMF (16 種類) 信号をそれぞれロボットのモータの角度指令値 (Fig. 5 参照) と対応付けている。

変調側では、入力された角度データを 80 ミリ秒ごとにサンプリングし、その値に応じた DTMF 信号を生成する。DTMF 信号は、Fig. 5 のように DTMF デコーダの規格 [35] を満足し最も伝送レートが高くなるように、40 ミリ秒持続し、80 ミリ秒間隔で配置する。DTMF 信号の振幅は、左チャンネルとの音声信号とのバランス、DTMF デコーダへの適正入力電圧の確保、出力機器の大振幅出力時のひずみを考慮し、実験的に 12,000 とした。

復調側では、受け取った DTMF 信号を DTMF デコーダ IC でデコードする。その結果は Peripheral Interface Controller (PIC) 内部で、RC サーボへの制御信号に変換される。PIC 内部ではその時点のデコード結果とその直前の DTMF 信号のデコード結果を用い、80 ミリ秒ごとの角度指令値を線形補間してより細かい 20 ミリ秒ごとの角度指令値を生成し、その角度指令値に基づいて RC サーボの制御信号を生成する。これによりサーボモータの動きを正確に再現できる (Fig. 6 参照)。

CyberPerformer/Hyper の変復調システムとは対照的に、オーディオ・モーションメディアの実現のためにわずか 1.7 [kHz] 程度しかオーディオの帯域を使用しない。また制御情報は別のチャンネルに埋め込まれているため、音声信号へのひずみは本質的に存在しない。

4.2.3 試作した変復調システムの評価実験

実用性の評価のために、動作・汎用性確認、ロバスト性確認実験を行った。

動作・汎用性確認：開発したシステム (Fig. 7) を、20 種類の PC やオーディオ機器に接続し、雑音や音量に対するシステムの頑健性を評価した。五人のユーザがそれぞれシステムの操作を行った。PC やオーディオ機器の音量は、各ユーザが好ま

Angle[degree]	-30	-26	-22	-18	-14	-10	-6	-2
DTMF code	D	1	2	3	4	5	6	7
	+2	+6	+10	+14	+18	+22	+26	+30
	8	9	0	*	#	A	B	C

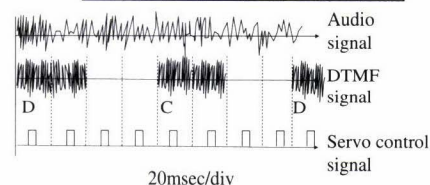


Fig. 5 Correspondence of DTMF code to angle/ Timing chart of DTMF tones and servo control signal

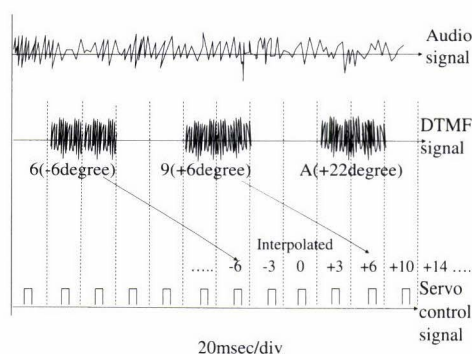


Fig. 6 Interpolated servo control signal generation from the intermittent angle data

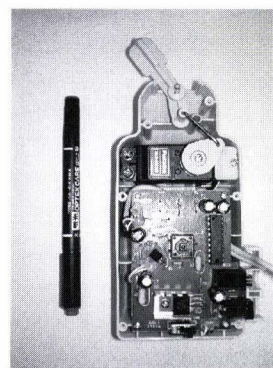


Fig. 7 A prototype communication robot built-in CyberPerformer/Audio

しいと考える音量に設定してもらった。テストの結果、ユーザと PC、オーディオ機器いずれの組み合わせにおいても、システムは正常に動作することが確かめられた。

ロバスト性確認：本実験例のノイズへのロバスト性を調査するために、白色雑音を重畳した様々な SNR の DTMF 信号 (雑音重畳前の最大振幅 12,000) を用いて、エラー (デコードエラー、脱落など) と SNR との関係求めた。実験では音源として DTMF テキスを使用し、おのおのの SNR の DTMF を 100 個復調システムに入力し、復調システムの出力を記録することで行った。Table 2 に結果を示す。実使用環境ではあり得ない、SNR が 6 [dB] という悪条件であっても正常にシステムは動作することが確認できた。オーディオ出力が多くノイズを含ん

Table 2 Result of the noise robustness test (CyberPerformer/Audio)

SNR[dB]	Decode Error Rate[%]
+6	0
0	7
-3	17
-6	100

でいたり、ひずみを含んでいても、正常に動作することが確かめられた。音声信号に DTMF 信号が直接重畳されたような環境でも動作可能であった。またオーディオ用コーデックへのロバスト性を確認するために、REALNETWORKS 社のコーデックを用いて動作実験を行った。左チャンネルは通常の音声、右チャンネルにはロボット制御 DTMF 信号が付加されているステレオ信号を、様々なビットレートで圧縮したストリームを用意し、それを再生することで動作試験を行った。その結果、たかだか 20 [kbps] のストリームの場合でも正常に動作することが確認できた。

4.2.4 CyberPerformer/Audio のための音の生成・配信・再生・記述プラットフォーム選択の指針

前期実験結果などからプラットフォーム設計において次のような知見・指針を得た。

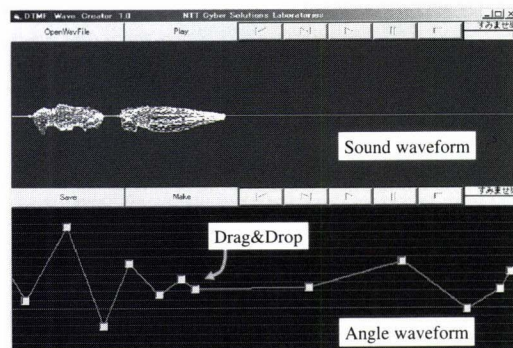
- (1) **生成**: DTMF 信号の音の高さを $1.5\% + 2$ [Hz] ほどの誤差で正確に発信する能力が必要であり [35], その要件を満たす手段としては、サンプリングレート 4 [kHz] 以上のデジタルオーディオ機器, DTMF トーン発生器, MIDI 楽器 (具体的な方法は後述) などがあげられる。
- (2) **配信**: 2 [kHz] 近傍の周波数成分を伝える能力があれば十分であり, 適切な手段としては電話・AM 放送・CD 媒体・FM 放送・ネットワーク上でのストリーミングなどがあげられる。オーディオ圧縮などで, 信号が多少ひずむほどの場合でも十分動作を保証できるため, 音声の歪が感じられるような配信媒体であっても適用可能である。
- (3) **再生**: 2 [kHz] 近傍の音を出力できる手段であれば, ほぼ適用可能であると考えられる。ハイファイ対応ではないオーディオ機器, 携帯電話, サウンドプラグインなどでも適用可能である。
- (4) **記述**: ADPCM などのひずみが伴う音声サンプル値の記述, MP3 などの圧縮フォーマットでも十分な性能を発揮できる。

4.3 各プラットフォームの比較

本章でのデザインコンセプト・提案・検討・評価実験結果を, Ta-

Table 3 Comparison of 2 implementations

	CyberPerformer /Hyper	CyberPerformer /Audio
Wireless	○	×
Stereo output	○	×
Cost for Decoding	×	○
Cost for Sharing	×	○
Noise Robustness	△	○
Multiple DOF	○	△
Control Signal Precision	○	×

**Fig. 8** Motion editor

すると対応した角度指令値の波形が表示される。角度指令値の調整は時間軸方向の移動も含め, 波形の端点の Drag & Drop 操作により簡単に行える。「Make」ボタンの押下により, CyberPerformer/Audio もしくは CyberPerformer/Hyper 向けの変調処理が瞬時に行われる。その後「Play」ボタンの押下により, モーションメディアコンテンツを含んだ音声信号が再生されロボットが動作する。角度指令値の調整, 信号の生成, 再生の一連の過程の反復を通じて, ユーザは簡単に音に合わせたロボット動作の作りこみ (振り付け) を容易に行える。

4.5 本章のまとめ

モーションメディアコンテンツ流通プラットフォームの実現方式として, 高周波の FM 信号を重畳する方法で構成したプラットフォーム実現方式「CyberPerformer/Hyper」および, DTMF 信号を付加する方法で構成したプラットフォーム実現方式「CyberPerformer/Audio」について提案・実装を行った。またそれらのプラットフォームの汎用性の確認, 雑音へのロバスト性の評価を行い, その実用性を確認した。そして, プラットフォームの特質について, 比較し整理した。各プラットフォームに合わせたモーションメディアコンテンツ生成・変調・重畳のた

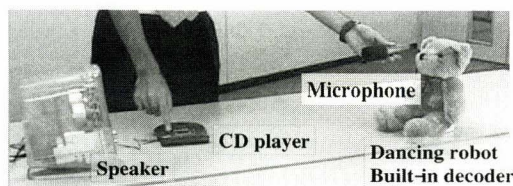


Fig. 9 CyberPerformer/Hyper dancing robot performance and its robot systems

トに応用した。この人形は頸部にサーボモータが内蔵されており、内蔵されたマイクロホンを使って、あらかじめ CD に音楽信号とともに重畳されている FM 信号を検出することで、振り付けに従って首の位置を振ることができる。こうして聴衆は音と同期したロボットのダンスを楽しむことができる。単なる音圧に反応するだけではなく、送信者の意図に合わせた動作をする「踊りロボット」を実現している。さらにユーザはスピーカの近傍の場所にロボットを自由に置くことができる。音楽データとともにモーションメディアコンテンツを送りあう新しいコミュニケーションサービスの一例である。

5.2 CyberPerformer/Audio の応用例

5.2.1 メール読みマウスへの組み込み

CyberPerformer/Audio は、音声合成エンジン Flute [36] [37] と組み合わせられメール読みマウス 4 (NTT 東日本の ISDN 販売促進キャンペーンマスコットロボット) に搭載された。一万人のユーザに配布され、ロボットを利用した新しいコミュニケーション方式として実用された。このメール読みマウスの特徴的な機能は、ただ単にメールの文章を読み上げるだけではなく、メールのテキストに存在する喜怒哀楽に関するスマイリー ((●^o^●), (T_T) など) を抽出し、その感情にふさわしいロボットの首の動き・合成音声表現することである。この機能により、メールの送信者は、メール読みマウスを通じてよりテキスト情報のみならず、モーションも伝えることができる。スマイリーに対応した抑揚付き音声合成音 (「にっこり」(笑)「ばいばい」(お別れ)「やったー」(歓喜)「とほほ」(落胆)「あー」(落胆)「あうち」(痛み)「ねえねえ」(呼びかけ)「すみませぬー」(謝罪)「はいー?」(疑問)「目が点」(驚き)「ぶんぶん」(怒り)「えーんえーん」(悲しみ)) とそれぞれの音声に応じた首振り位置のデザイン (振り付け) により、喜怒哀楽の表現を試みた。音声合成音とその対応した動作をあらかじめ作りこんで置き、その制御信号を含む音声合成音 (ステレオ信号) を読み上げテキスト中の適切なタイミングで再生することで実現したため、メール読みマウスのソフト用に新たにデバイスドライバ作成などは必要ではなかった。

5.2.2 モーションメディアコミュニケーションポータル

このメール読みマウス 4 を利用して、開発したモーションメディアコミュニケーションポータル (モーションポータルサービス) の一部を Fig. 10 に示す。このサイトではゲーム、動画配信、占いなどのコンテンツ提供、会員間コミュニケーションサービスを提供している。社内で試行サービス実験を行った。それぞれのコンテンツ (QuickTime ムービー、Shockwave、RealVideo 等) の音信号として CyberPerformer/Audio の音信号が埋めこ

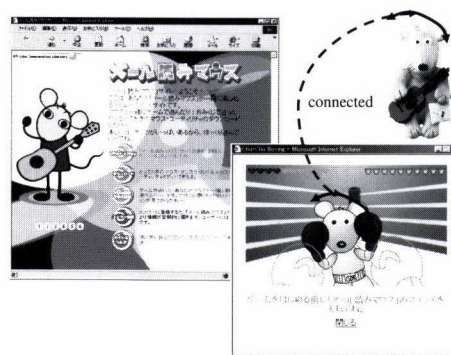


Fig. 10 Motion portal services web page, boxing game, an example of game contents

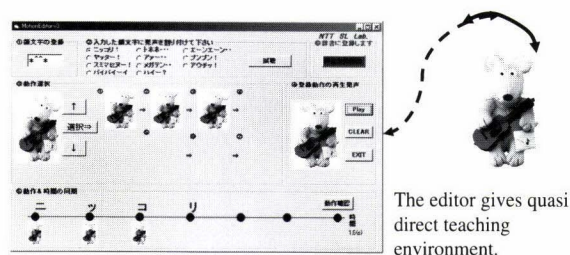


Fig. 11 Smiley customize motion editor for general users

まれており、それぞれのコンテンツと連動してマウスが動く仕組みとなっている。ユーザは従来のウェブページでのテキスト・イメージ・動画・音コンテンツに加え、モーションメディアコンテンツを楽しむことができる。

従来のコンテンツと新しいモーションメディアコンテンツの同期再生が、既存技術とインフラストラクチャ (HTTP サーバ (Apache), Real サーバ, FTP サーバ, ネットワーク) を用いることで実現できている。

我々はこのようなコンテンツを作成するための、いくつかの初歩的ツールをポータルサイトで提供した。ユーザ同士のモーションメディアコミュニケーション促進を意図して、Fig. 11 は「スマイリー」に特化したモーションエディタの例である。ユーザは新しくスマイリーを登録でき、またそれに応じた振り付けをすることができる。Fig. 8 に示したエディタにおいては首の角度は波形の表示によって行っているが、本エディタでは、首が傾いたメール読みマウスの画像を並べることで、より直感的に教示が行える仕組みを提供している。

Fig. 12 は Fig. 11 の例である。このモーションエディタには音声と動画のほか、音信号として CyberPerformer/Audio の音信号が埋めこまれており、送信者とともに連動して首を振る演出をしたり、あたかも掛け合い漫才をしているかのような演出を行うことができる。このようなコンテンツは Fig. 8 や DTMF 発生機能のついた音声エディタやいくつかの動画編集フリーウェアを使用して容易に作成することが可能である。

5.2.3 Motion 着メロ

DTMF デコードの規格に近い周波数およびタイミングを出すことで、MIDI 楽器 (携帯電話) などからでもマウスを駆動すること、すなわち、CyberPerformer/Audio プラットフォームの

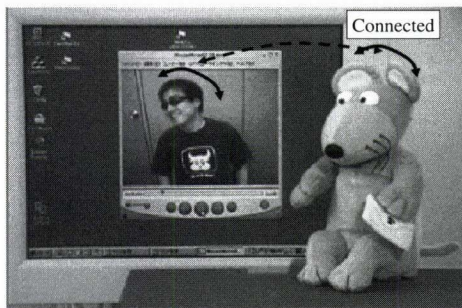


Fig. 12 An example of a video message with MotionMedia contents

Table 4 Correspondence of DTMF eight basic frequencies to pitch names

[Hz] (Pitch Name, Actual Frequency)	1209 (D6♯, 1245)	1336 (E6, 1319)	1477 (F6♯, 1480)	1633 (G6♯, 1661)
697 (F5, 698)	1	2	3	A
770 (G5, 784)	4	5	6	B
852 (A5, 880)	7	8	9	C
941 (A5♯, 932)	*	0	♯	D

「生成・配信・再生・記述」の音のプラットフォームとして MIDI が適用可能である。Table 4 に DTMF の 8 個の基本周波数と、音名およびその周波数との対応を示す。DTMF デコーダ動作のための許容受信周波数「基本周波数から 1.5% + 2 [Hz]」[35] 程度の誤差で音を生成することが可能であることが分かる。また標準的なテンポ 120 では最低、32 分音符程度の持続時間 (62.5 ミリ秒) を持つ DTMF コードに対応する 2 音を演奏すればマウスを駆動することが可能となる。我々の実験によれば、携帯電話の着信メロディ、メール添付メロディによるロボットの駆動も可能であった。

6. おわりに

本論文では、まず筆者らがこれまで提案してきたモーションメディアコンテンツ流通プラットフォームの基本的な考え方を述べ、そのプラットフォームに対する要求条件を提示した。そして「音」を「モーションメディアコンテンツ流通の手段」として使うことでそれらの要求条件をシンプルに満たすことが可能であることと、その根本的なメリットについて記述した。次に、音へのモーションメディアコンテンツ重畳方式として、有線・無線の二つの実現手法を提案し、それぞれの方式に基づいたコンテンツ生成、配信、再生方式や実装例について詳述した。その後、上記メリットを生かした E-mail, Web, 携帯着信メロディなどの既存コミュニケーションサービスに適用し、本方式によるモーションメディアコンテンツ流通プラットフォームの有用性を示した。

今回は「動き」情報の一方向の送信・単一自由度についてのみ取り組んできたが、今後の課題として、双方向での動き情報のやりとりを含めた双方向多自由度モーションメディアコンテンツ流通方式の実現、またモーションメディア放送の実現、モーションメディアコンテンツの評価などが挙げられる。

参考文献

- [1] H. Kuzuoka and S. Greenberg: "Mediating Awareness and Communication through Digital but Physical Surrogates," Proc. CHI '99 Extended Abstracts, pp.11-12, 1999.
- [2] H. Kuzuoka, S. Oyama, K. Yamazaki, K. Suzuki and M. Mitsuishi: "GestureMan: A Mobile Robot that Embodies a Remote Instructor's Actions," Proc. of CSCW2000, pp.155-162, 2000.
- [3] E. Paulos and J. Canny: "PRoP: Personal Roving Presence," Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, pp.296-303, 1999.
- [4] D. Sekiguchi, M. Inami and S. Tachi: "RobotPHONE: RUI for Interpersonal Communication," CHI2001 Extended Abstracts, pp.277-278, 2001.
- [5] S. Brave and A. Dahley: "inTouch: A Medium for Haptic Interpersonal Communication," Extended Abstracts of CHI '97, pp.115-116, 1997.
- [6] 米澤朋子, ブライアン・クラークソン, 間瀬健二: "文脈適応型音楽生成をともしうぬいぐるみインタラクション", 情報処理学会論文誌, vol.43, no.8, pp.2810-2820, 2002.
- [7] T. Watanabe, M. Okubo and H. Ogawa: "A Speech Driven Embodied Interaction Robots System for Human Communication Support," Proc. of 2000 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC.2000), pp.852-857, 2000.
- [8] M. Kaminsky, P. Dourish, W.K. Edwards, A. LaMarca, M. Salisbury and I. Smith: "SWEETPEA: Software Tools for Programmable Embodied Agents," CHI99, pp.144-151, 1999.
- [9] 富士通: "CHOCOA Net 報道発表", <http://www.labs.fujitsu.com/News/1999/Nov/15.html>, 1999.
- [10] 総務省ネットワーク・ロボット技術に関する調査研究会: "ネットワーク・ロボット実現に向けた取り組み～ユビキタスネットワークとロボットのフラッグシップテクノロジーの集結による日本発新 IT の創出～", <http://www.soumu.go.jp/joho.tsusin/policyreports/chocousa/netrobot/pdf/030711.2b.pdf>, 2003.
- [11] 岩城敏, 町野保, 北岸郁雄, 中山彰, 奥平雅士: "ネットワークコンテンツとしてのロボットモーション—モーションメディアコンテンツ流通プラットフォーム構想—", 第 7 回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp.297-304, 2002.
- [12] I. Kitagishi, T. Machino, A. Nakayama, S. Iwaki and M. Okudaira: "Development of Motion Data Description Language for Robots Based on eXtensible Markup Language - Realization of Better Understanding and Communication via Networks," Journal of Robotics and Mechatronics, vol.14, no.5, pp.471-478, 2002.
- [13] 平岩明, 篠沢一彦, 内田典佳, 曽根原登: "モーションメディアのコンセプト", 情報処理学会研究会報告, 情報メディア, vol.14, no.7, pp.39-46, 1994.
- [14] 藤井輝夫: "情報ネットワークにおける物理メディアとしてのロボットシステム", 日本ロボット学会誌, vol.17, no.4, pp.462-466, 1999.
- [15] 安西祐一郎: "実世界指向メディアとしての次世代ロボット", 日本ロボット学会誌, vol.16, no.1, pp.15-18, 1998.
- [16] 岩田洋夫: "メディアとしてのロボット", 第 19 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, pp.13-14, 2001.
- [17] 妻木勇一: "メディアとしてのウェアラブルロボット", 日本ロボット学会誌, vol.20, no.8, pp.819-821, 2002.
- [18] 十時伸, 安川祐介: "ロボット&パソコン連携システムと応用例", 情報処理学会研究報告, 2001-HI-95, pp.139-146, 2001.
- [19] 社団法人 日本ロボット工業会: "RoboLink プロトコル仕様書 パブリックドラフト 1.1", <http://www.osl.fujitsu.com/osl/contents/RoboLink/>, 2003.
- [20] 広瀬健志郎, 佐竹聡, 川島英之, 今井倫太: "コミュニケーションロボットによる WWW 上のコンテンツ閲覧へ向けたモーション記述言語の設計と実装", 情報処理学会第 66 回全国大会予稿集, vol.3, pp.151-152, 2004.

- [21] 岡田慧, 稲葉雅幸, 井上博允: “ビヘイビアコンテンツのためのエンドユーザ指向ヒューマノイドシミュレーション環境—Web ブラウザプラグインによるプロトタイプシステムの開発—”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'03 講演論文集, pp.2P1-1F-F8, 2003.
- [22] SONY Corp.: “AIBO Master Studio,” <http://www.jp.aibo.com/ams/>, 2002.
- [23] The LEGO Group: “LEGO MINDSTORMS,” <http://mindstorms.lego.com/japan/default.asp>, 2000.
- [24] BANDAI Co., LTD: “ロボットワークス,” <http://www.roboken.channel.or.jp/borg/program/index.html>, 1999.
- [25] BANDAI Co., LTD: “プログラミングロボット BN-1,” <http://www.bn-1.channel.or.jp/index02.html>, 2000.
- [26] 国際電気通信基礎技術研究所: “ロボット動作編集ソフトウェア「シナリオエディタ」”, <http://www.atr.co.jp/html/topics/press-031028-j.html>, 2003.
- [27] A. Nakayama, T. Machino, I. Kitagishi, S. Iwaki and M. Okudaira: “Rich Communication with Audio-Controlled Network Robot,” Proceedings of 11th IEEE Intl. Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp.548-553, 2002.
- [28] V. Gerasimov and W. Bender: “Things that talk: Using sound for device-to-device and device-to-human communication,” IBM SYSTEMS JOURNAL, vol.39, 3, 4, pp.530-546, 2000.
- [29] C.V. Lopes and P.M.Q. Aguiar: “Acoustic modems for ubiquitous computing,” IEEE Pervasive Computing, vol.2, no.3, pp.62-71, 2003.
- [30] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto and A. Lu: “Techniques for data hiding,” IBM SYSTEMS JOURNAL, vol.35, 3, 4, pp.313-336, 1996.
- [31] D. Gruhl, A. Lu and W. Bender: “Echo Hiding,” Lecture Notes in Computer Science, vol.1174, Information Hiding, pp.295-315, Springer, 1996.
- [32] Y. Yardimci, A.E. Cetin and R. Ansari: “Data Hiding in Speech Using Phase Coding,” ESCA. Eurospeech 97, pp.1679-1682, 1997.
- [33] L. Boney, A.H. Tewfik and K.N. Hamdy: “Digital Watermarks for Audio Signals,” IEEE Int. Conf. on Multimedia computing and Systems, Hiroshima, pp.473-480, 1996.
- [34] B.C.J. Moore: An Introduction to the Psychology of Hearing, p.51, Academic Press, 1997.
- [35] 三洋半導体ニュース: LC7385, 7385M CMOS LSI DTMF レシーバデータシート, No.3003C.
- [36] O. Mizuno and S. Nakajima: “Synthetic Speech/Sound Control Language: MSCL,” Third ESCA/COCOSDA Workshop on Speech Synthesis, pp.21-26, 1998.
- [37] K. Hakoda, T. Hirokawa, H. Tsukada, Y. Yoshida and H. Mizuno: “Japanese text-to-speech software based on waveform concatenation method,” in AVIOS '95, pp.65-72, 1995.



中山 彰 (Akira Nakayama)

1974 年 9 月 8 日生。1995 年神戸市立工業高等専門学校電子工学科卒業。1997 年静岡大学工学部電子工学科卒業。1999 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。モーションメディア技術の研究開発に従事。日本音響学会、情報処理学会会員。(日本ロボット学会正会員)



北岸郁雄 (Ikuro Kitagishi)

1969 年 12 月 2 日生。1998 年早稲田大学大学院理工学研究科(機械)修士課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。以来、マン・マシンコミュニケーション、ロボットの知能化技術、モーションメディア技術等の研究開発に従事。

(日本ロボット学会正会員)



奥平雅士 (Masashi Okudaira)

1950 年 5 月 1 日生。1974 年京都大学工学部電気卒業。1979 年同大学大学院工学研究科博士課程修了。同年日本電信電話公社(現:NTT)横須賀電気通信研究所入所。以来、画像処理、ロボットビジョン、ヒューマンコラボレーション、モーションメディア技術等の研究開発に従事。2002 年武蔵工業大学教授。工学

博士。電子情報通信学会、情報処理学会、映像情報メディア学会会員。



町野 保 (Tamotsu Machino)

1971 年 10 月 1 日生。1994 年東北大学工学部通信工学科卒業。1996 年同大学大学院工学研究科電子工学専攻博士前期課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。以来、ロボットコントローラ、教示システム、モーションメディア技術の研究開発に従事。

(日本ロボット学会正会員)



岩城 敏 (Satoshi Iwaki)

1960 年 2 月 17 日生。1982 年北海道大学工学部電気工学科卒業。1984 年北海道大学大学院工学研究科電気工学専攻修了。1984 年日本電信電話公社(現:NTT)入社。1994~1995 年ドイツ カールスルーエ大学 IPR 客員研究員。1996~1999 年 NTT-FANET に出向しロボットセンサ事業化。2004 年明治大学非常勤講師。ロボット制御系、モーションメディア技術等の研究開発に従事。工学博士。計測自動制御学会。

(日本ロボット学会正会員)