

〔非公開〕

TR-C-0013

仮想空間通信における
人物像処理法の検討

石橋 聡 秋山 健二 小林 幸雄
SATOSHI ISHIBASHI KENJI AKIYAMA YUKIO KOBAYASHI

1988. 8. 25.

A T R 通信システム研究所

仮想空間通信における人物像処理法の検討

A human image handling method
for the virtual space communication

昭和63年8月25日

知能処理研究室

石橋 聡

秋山 健二

小林 幸雄

1 研究のねらい

複数の遠隔地間を結んで、人間が移動することなく会議を行なえる通信会議はオフィスを中心に定着しつつある。一方、近年の通信技術および音声・画像処理技術の発達にともない、通信会議は面談会議の単なる代替手段としての機能・品質向上が図られるだけでなく、幅広いコミュニケーション手段として様々な用途へ発展しようとしている。そのひとつとして、仮想的に創成した空間にお互いの人物像を送り込んでコミュニケーションを行なう仮想空間通信[1]を提案している。

本研究のねらいは、仮想空間通信を実現するための所要技術のうち、特に人物像の処理(handling)に関わる技術を確立することであり、人物像の抽出(extraction)、動作のトレース(tracking)、人物像の操作(manipulation)について検討を行なうことにある。

2 研究の位置づけ

2.1 仮想空間通信と人物像処理

通常、通信会議において利用者の存在する空間は、第1空間(自分が現在居る環境)と、第2空間(相手が現在居る環境)である。仮想空間通信では、第1でも第2でもない別空間(第3空間と呼ぶ)を仮想的に創成し、そこへ自分と相手の像を写像し、写像を介してコミュニケーションすることにより、双方が同一空間内に居る感覚が得られる通信を実現しようとするものである。

図2.1に示すように、自分の環境でも、相手の環境でもなく、かつ、お互いに共通な環境をCG等で創成する。発信者は自分の側の映像をダイレクトに相手に送るのではなく、共通の空間として創成された第3空間へ自分自身の映像のみを写像する。相手自身の映像も同様に写像される。これらをそれぞれの分身と呼ぶ。発信者は第3空間内での相手の分身の振舞いをモニターを通して観察し、あるいは自分の分身の振舞い方を制御することで通信を行なう。注視するモニター内の空間が相手の空間ではなく、両者に共通な空間であるため、利用者は自分と相手と同じ部屋にいるかのごとき感覚を得ることができる。

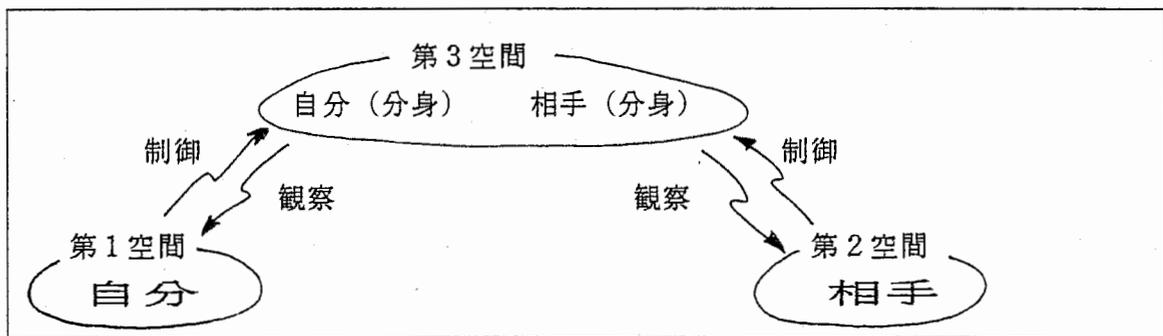


図2.1 仮想空間通信の概念

仮想空間通信を実現する上で解決すべき重要な課題の一つは、いかにして複数の場所にいる人物の像を一つの空間内に写像するかである。アプローチの方法としては、①入力画像から人物像のみを切り出し、映像のまま仮想空間に合成する方法と、②人物の表情や動

きをとらえ、用意しておいた人体モデルを仮想空間内で動作させる方法が考えられる。本検討では、これらのアプローチにおける、人物像の入力から合成・表示に至る過程を人物像の処理として、各種検討課題の切り出し・解決を図る。

2. 2 技術動向と問題点の所在

ここでは、人物像処理を入力と出力（表示）に分け、各過程における問題点とそれを解決するための技術について考察する。なお、付録に人物像処理関連の研究状況を概説する。

2. 2. 1 人物像の入力方法における問題点

人物像処理においてまず問題となるのは人物像の入力方法である。TV番組作成等において従来から用いられているクロマキー手法はその一つの方法といえる。しかし、クロマキーでは専用の特殊な背景を準備する必要がある。そこで、一般的な（例えば事務室のような）空間を背景とし、かつ、人物への特殊な装着や接触を行なわない環境下で、映像中から人物像を抽出する（切り出す）技術の開発が望まれる。

上記条件下で映像中から特定の物体の映像を抽出する手法として、

- ①映像の時間的変化を利用する方法、
- ②対象物までの距離を利用する方法、
- ③形状、色、テクスチャ等からの認識・理解を利用する方法、

が従来よりロボットビジョン等の分野を中心に検討されている。

①については、動画像の連続するフレーム間での差異を用いる方法[2,3]や、あらかじめ用意しておいた背景画像との差異を用いる方法[4,5]があり、専用の画像処理プロセッサを用いることによりリアルタイムでの実現も可能である。しかし、前者の手法において、人物は常に動いているとは限らないため（例えば椅子に座っているときの胴体部分）、人物像を単なる移動体としてとらえる手法では不備が生じる。

②は、映像の対象となる空間を3次元的にとらえて視点から物体までの距離を計測し、特定距離にある物体の映像を抜き出す手法である[6]。ただし、現在検討されているものは静止した剛体を対象としている。人体はかなり複雑な形状をしておりかつ変形・動作するため、手を前に延ばした場合等距離の幅が広範囲になると考えられ、距離のみによる抽出は困難である。

③については、人間による実際の抽出動作に最も近い手法で、実現すれば抽出の確度は高いと考えられるが、高度で複雑な知識処理を必要とし、リアルタイムシステムとして実現するにはまだかなり長期の検討を必要とする[7~10]。

現状の技術においては、一般的な映像中から人物像を切り出すには不十分であり、人物像に的を絞った検討が必要である。

2. 2. 2 人物像の表示方法における問題点

人物像の出力において問題となるのは、抽出された複数の人物像を一つの空間内の映像として合成・表示する方法である。単に1画面として表示するだけであれば、従来からある映像信号の合成手法や、TV会議方式において提案されている画面の分割・縮小合成手法[11]が適用できる。しかし、CG等で作成された仮想的な空間の映像内に自然な姿で人

物像を合成したり（例えば，創成した会議卓・椅子に人物を座らせる），人物同士の視線が一致するようにするためには，現在の単なる信号処理による合成では不十分である。

このため，人体の構造を知識として利用する高度な信号処理手法や，入力された人物像をそのまま扱うのではなく，人物の動き情報に変換し，創成した人体モデルを操作する手法を検討する必要がある[12~16]。さらに，人物の全体像だけではなく，顔や末端部分（手・指）については動きだけではなく，細かな表情等の処理が必要である。これに関しては，最近，顔画像の分析合成符号化手法[17]や手，指の動きの検出手法[18]の検討が盛んになってきている。

2. 3 研究の意義

本研究における人物像の処理技術を確立することにより，異なったお互いの環境を相手に伝えあうだけであった従来の映像通信に対して，共通の環境へお互いが出かけて行って会話するという新しい形態の映像通信方式の実現に寄与することができる。さらには，指示器具を用いない自然なヒューマンインタフェース，あるいは，画像の構造や特徴，対象物の分析を利用する次世代の画像符号化技術の進展に貢献するものである。

3 研究の内容

3. 1 人物像処理の概要

人物像処理の流れを図3. 1に示す。第2章で述べたように，仮想空間への人物像の写像方法には，①映像信号のままの写像（図3. 1点線部），②人体モデルを用いた写像（図3. 1実線部）が考えられる。いずれのアプローチを取るにせよ，まず人物像の正確な抽出が必要となる。抽出した人物像を用いて，①では，人物像の方向補正（複数の方向からの像を用いて，任意方向の像を合成），②では姿勢・動きの検出，人体モデルのマニピュレーションを行なう。

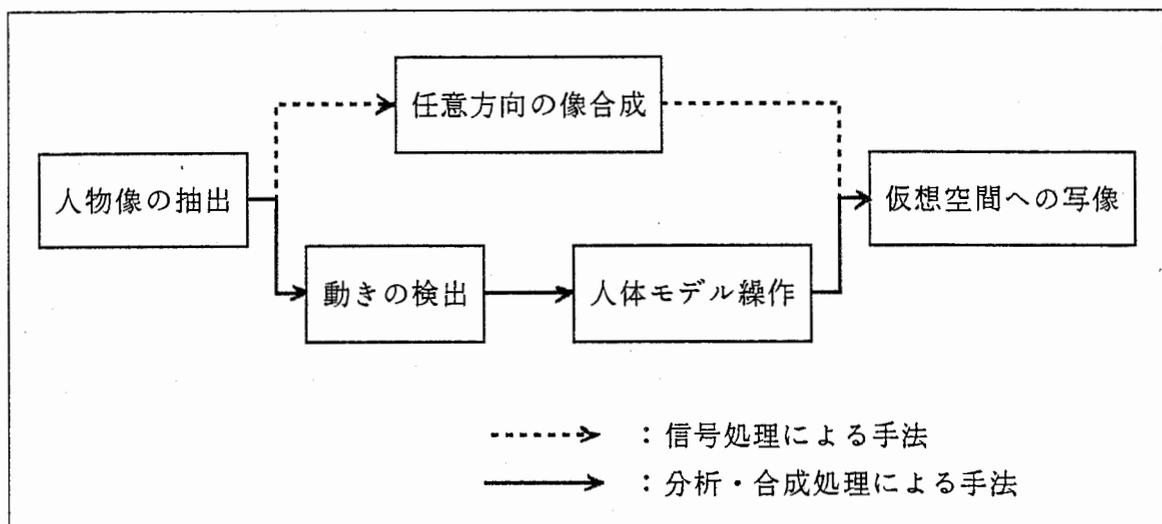


図3. 1 人物像処理の流れ

3. 2 人物像の抽出

クロマキー手法等で用いる特殊な背景ではなく、一般的な（例えば事務室のような）空間を背景として人物をとらえた映像からの人物像抽出について検討する。ここでは、それほど複雑な処理を必要とせず、高速に人物像を抽出する手法として、以下の手法を提案する。図3. 2に概要を示す。

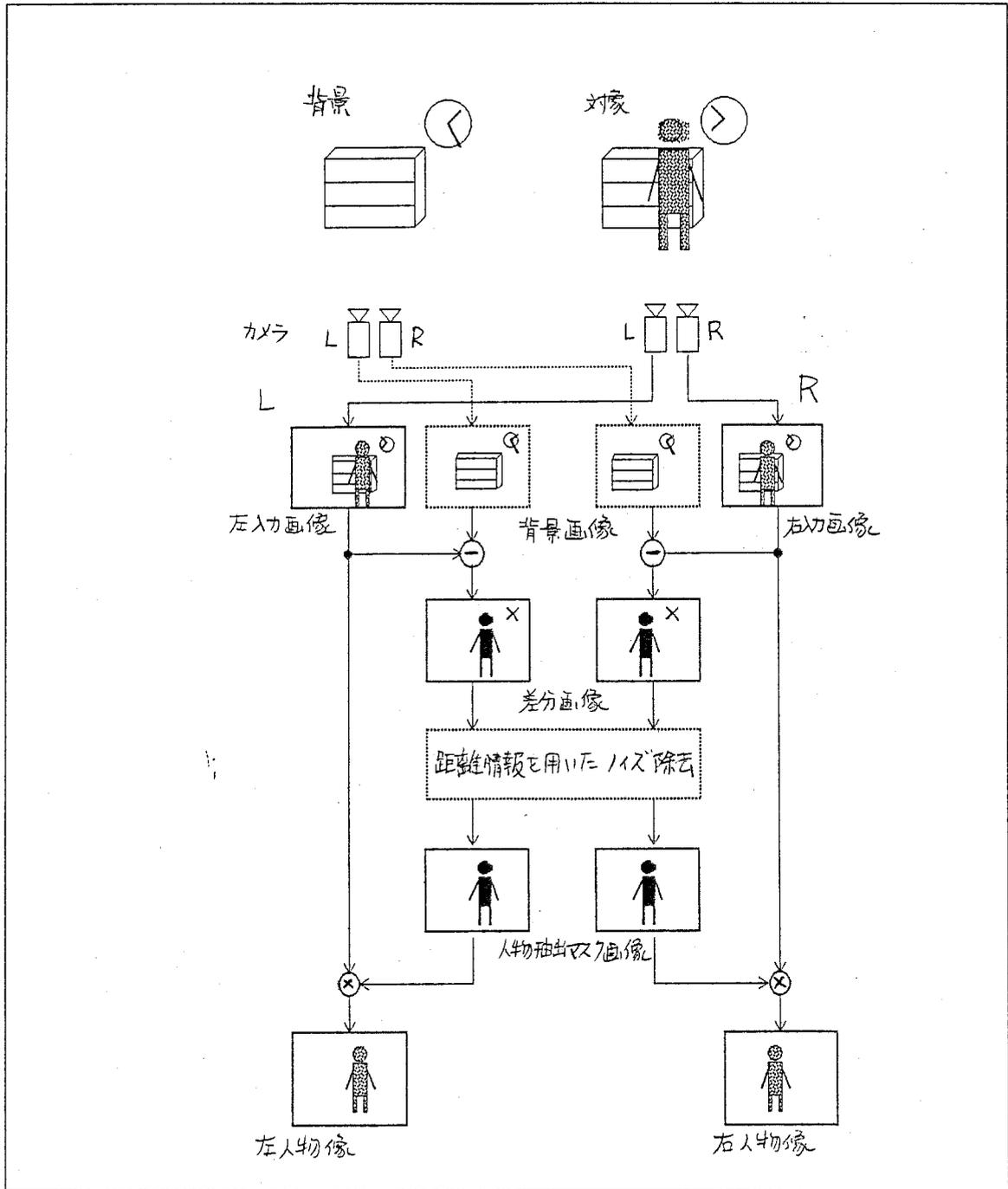


図3. 2 変化と奥行き情報を利用する人物像の抽出手法

以下に処理の流れを概説する。

- (1) ・微小な視差をつけた2眼カメラで映像を入力する。
 - ・あらかじめ両眼の背景画像を入力し蓄えておく。
- (2) ・両眼の画像についてそれぞれ、その背景画像と人物像を含む入力画像を画素ごとに比較し、差異の生じた部分を抽出する。
 - ・画素ごとの比較においては、雑音等の影響を考慮して、閾値の範囲内での一致・不一致の判定を行なう。精度を高めるため適応的に閾値を変化させる。
- (3) ・背景の部分的変化（影、時計の針の動き、光の点滅、カーテンのゆらぎ、物体の横断など）に起因する誤抽出が考えられる。
 - ・カメラから人物までの距離が既知であれば、両眼視差の量を利用して（遠いものほど視差量が小さい）誤抽出した部分を除去できる。
 - ・図3. 3に示すように、左右の画像のうち一方を4分木ブロック分割し、ブロックごとに“ブロック移動量[19]”を計算し奥行き情報を得る。
- (4) ・誤抽出部を除去して得られた人物像のマスクによって入力画像から人物像のみを抽出する。

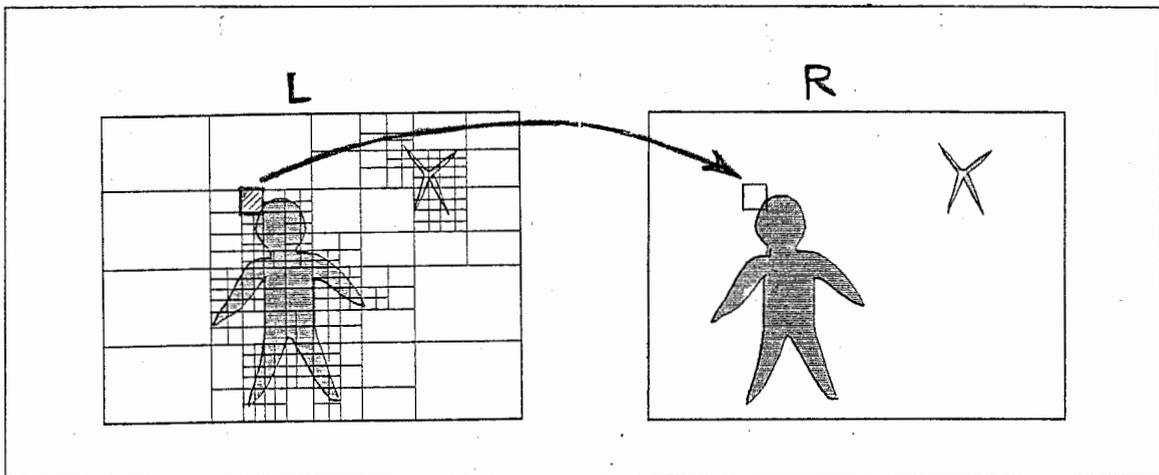


図3. 3 奥行き情報の抽出

以下に本手法について考察する。

- ・背景が大きく変動する場合は、背景画像のリアルタイム更新が必要。
- ・人物の持っている資料、ペンなども抽出される。
- ・複数の人物像が同じ画面内にある場合はこれを区別できない。
- ・カメラのパン、チルト、ズームには対応できない。→ ただし、あらかじめ広範囲なパノラマ背景画像を用意しておけば、対応できる可能性はある。
- ・カメラの撮影軸を平行にするのと、人物に向けるのとで処理に差異が生じる可能性がある。
- ・人物像のみが抽出できれば動作のトレースがやりやすくなる。

3. 3 任意方向の像合成

複数方向の映像より抽出した人物像を参照画像として、任意方向から見た人物像の合成手法を検討する。これは、図3. 1において点線で示した映像信号のままの仮想空間への人物像写像に必要となる。

例えば、顔の右斜方向像と左斜方向像から正面像を合成する場合、2つの像から単純に補間しただけでは顔の起伏に起因する像の歪が生じ、鼻の部分がいびつになったりする。したがって、対象物体の3次元形状を考慮した合成処理が必要となる。このため、あらかじめ用意した顔の3次元モデルを用いる方法[24~26]が検討されている。しかし、この方法では対象ごとにモデルを作成する必要があるが、また、人体のように可動部分を持つ対象についてはモデル化が困難と考えられる。

そこで本検討では、あらかじめ3次元モデルを用意するのではなく、立体視によって得られる奥行き情報を利用することで歪の無い任意方向の像を合成することを試みる。

図3. 4に任意方向からの像合成の概要を示し、以下に説明する。

(1) 参照画像の入力

複数の方向から2眼カメラにより映像を入力し、人物像のみを抽出し、これを参照画像とする。撮影方向の角度、数についても検討する必要がある。

(2) 奥行き情報の抽出

各々の参照画像において、3. 2で述べたブロック移動量の測定等により奥行き情報を得る。

(3) 任意方向の像合成

奥行き情報をもとに、参照画像を補正しながら指定方向の像を補間・合成する。

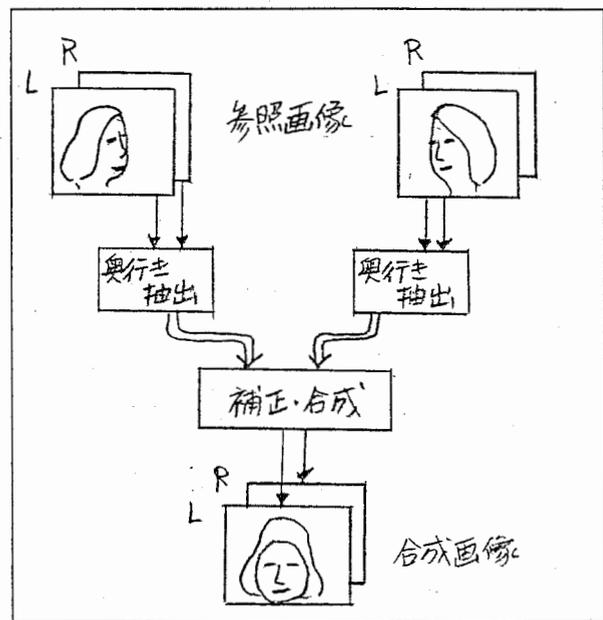


図3. 4 任意方向の像作成

3. 4 人間の動きのトレース

抽出した人物像をもとに、人間の動きを検出する手法について検討する。これは、合成による人物の再生像を操作するための動き情報抽出に必要である。

図3. 5に概要を示す。

- ・抽出した左右一対の人物像を線分記述する。
- ・線分記述の手法として、
 - ①図形方向線抽出[21]を利用する方法、
 - ②図形構造線抽出[22]を利用する方法、がある。
- ・人体のスティックモデル[20]と線分記述した画像のマッチング[23]をとり、姿勢を検出

- する。この際、左右の像を用いることにより検出の精度を高める。
- ・連続するフレームで時間的な姿勢の変化を追うことにより動きを検出する。
 - ・上記処理を全体的に行なうのではなく、部分的（分割して）あるいは階層的（大まかな姿勢から、詳細な姿勢まで）に行なうことにより、処理を簡単化する。
 - ・分割処理するには、対象部位（頭、胴体、手、指など）の検出が必要。
 - ・階層的に処理するには、線分記述とスティックモデルの階層化が必要。

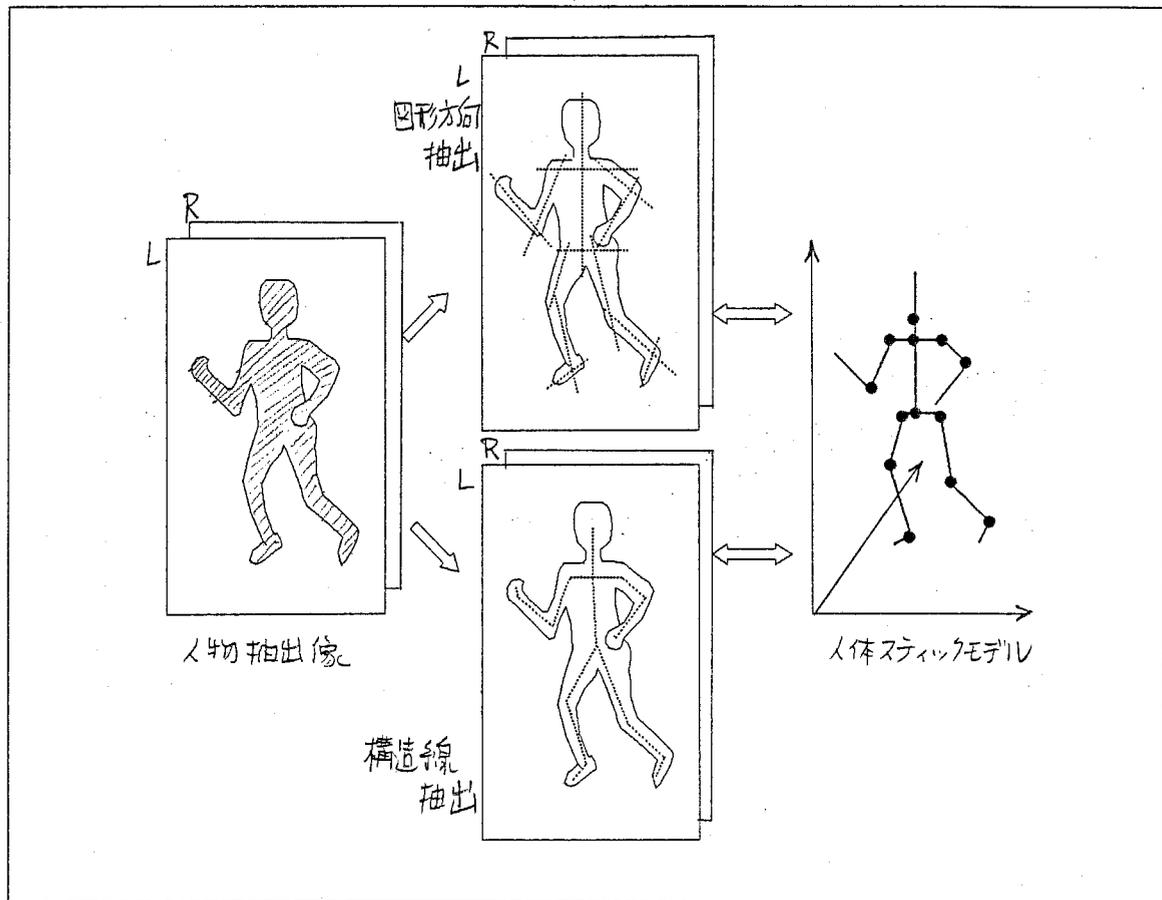


図3. 5 構造記述による人物の動きのトレース

3. 5 人物像の操作

人物像を再生表示する際の人物の姿勢・動作の再現法について検討する。第3. 3章で述べた映像信号のままでの操作ではなく、人物像の姿勢や動きのトレース情報あるいは動作指示コマンドにしたがって人物像を合成（3次元モデリング+レンダリング）することを試みる。なめらかな動きを再現するための操作法と動作の記述法が検討課題となる。

（操作法）

- ・受動的な方法……動作のトレース情報に基づいて人間のモデルを動かす。
- ・能動的な方法……動作の指示情報に基づいて人間のモデルを動かす[29].

（動作の記述法）

- ・動作を記述するための符号/コマンド[27, 28].

4 まとめと検討の進め方

仮想空間通信を構成するための重要な技術である人物像処理法について、研究の目的、概要を述べるとともに、人物像の抽出手法および動きの検出法に関して提案を行なった。

表4. 1に検討計画を示す。まず、提案した手法をもとに、無装着・無接触の状態での精度良い人物像抽出の検討を進める。人物像が精度良く抽出されれば、複数の方向からの映像と奥行き情報をもとに任意の方向から見た像を合成できる。また、両眼画像の視差の抽出処理が簡単になる。次に、精度良く抽出された左右の人物像をもとに、人物の姿勢検出・動きのトレースを検討する。最終的には、仮想空間中の自分の分身（映像ロボット）が自分の身ぶり、手ぶりや動作の指示通りに動作するトータルな系を構成する。

表4. 1 人物像処理の検討計画

63.9s	10	64.1s	4	7	10	65.1	4	7	10	66.1	4
▶人物像抽出	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
<----->	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
背景差分画像の作成	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
<----->	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
特定距離内の人物像抽出	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	<----->	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	背景画像更新	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	カメラのズーム・パン・チルトへの対応	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
▶任意方向の像合成	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	<----->	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	任意方向の顔画像合成	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	<----->:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	任意方向の人物像合成	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
▶動きのトレース	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	<----->	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	人物像の線分記述	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	<----->	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	人体モデルとのマッチング	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
▶人物像操作	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	<----->	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	人物像操作法の検討	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

【参考文献】

- [1] 石橋, 秋山, 小林: “臨場感通信会議システム”, ATRテクニカルレポート (投稿中)
- [2] 杉本, 松本, 一岡: “高速画像処理システム—MFIP—の動画画像処理への応用”, 第16回画像工学コンファレンス, 3-6 (1985)
- [3] 永嶋, 中谷, 久樹: “映像信号における人物像検出・追跡法の一検討”, 信学技報, IE87-87 (1987)
- [4] 川端, 谷藤, 諸岡: “移動物体の抽出技術”, 情処学論, Vol. 28, No. 4 pp395-402 (1987)
- [5] 吉田, 榊井: “ビデオマットによる動画合成技術”, TV学技報, TEBS88-19 (1988)
- [6] 藤原, 岳崎, 福永, 笠井: “視点移動を用いたステレオ画像法”, 信学技報, IE86-15, (1986)
- [7] 篠原, 三宅, 久保, 矢口: “ネガカラーフィルムからの顔パターン検出とその色補正”, 第18回画像工学コンファレンス, 8-2 (1987)
- [8] 杉木, 長谷川, 諏訪: “テレビ信号の解析による顔の位置検出”, TV学1982年全国大会, 14-5 (1982)
- [9] 中嶋, 安居院, 春松: “高速道路における先行車の同定と追跡に関する検討”, 情処学論, Vol. 27, No. 7, pp663-670 (1986)
- [10] 佐藤, 富田: “テクスチャ領域の両眼立体視”, 情処学コンピュータビジョン研資, 55-5 (1988)
- [11] 松浦, 若原: “多地点間テレビ会議システム映像系構成の一検討”, TV学技報, ICS88-36 (1988)
- [12] 中嶋, 安居院: “生物体動作の画像解析とその応用”, TV学会誌, Vol. 41, No. 10, pp919-923 (1987)
- [13] Hsi-Jian Lee, Zen Chen: “Determination of 3D Human Body Postures from a Single View”, CVGIP 30, pp148-168 (1985)
- [14] D. tost, X. pueyo: “Human Body Animation: a survey”, The Visual Computer, Vol. 3, No. 6, pp254-264 (1988)
- [15] Koji Komatsu: “Human Skin Model Capable of Natural Shape Variation”, The Visual Computer, Vol. 3, No. 6, pp265-271 (1988)
- [16] 安居院, 菅原, 中嶋: “三角関数動作近似による3次元アニメーション”, 信学技報, OS86-10 (1986)
- [17] 柴藤, 伴野, 小林: “輪郭像による人間上肢の3次元認識”, 第37回情処学全大
- [18] 原島 博: “顔画像の分析合成符号化方式の動向”, TV学技報, ICS88-17 (1988)
- [19] 山口, 立平, 秋山, 小林: “2眼式立体画像の統計的性質に関する一検討”, 電学通信研究会 CMN88-28 (1988)
- [20] 木本, 安田: “知的画像符号化のための動物体のフレーム表現”, 昭62信学総全大 1635 (1987)

- [21] 青山, 河越: “図形の視覚的印象を保存する線分近似法”, 第35回情処学全大, pp2029-2030 (1987)
- [22] 松下, 乾: “形状の階層的構造記述の自動生成”, 信学技報 PRU88-29 (1988)
- [23] 河越, 喜多, 青山: “最大の情報を抽出するマッチング手法”, 昭63信学春期全大 D-395 (1988)
- [24] 藤野, 岸野: “連続視域3次元画像再生法”, 昭63信学春季全大 D-106 (1988)
- [25] 村上, 市原, 宮田: “顔画像の変形処理に関する一考察”, 信学技報, IE88-1 (1988)
- [26] 沼崎, 佐藤, 小川: “モデルに基づく顔画像からの人物識別”, 信学技報, IE87-136 (1988)
- [27] 李, 白井, 國井: “動作の定義による三次元の人体アニメーション”, 第36回情処学全大 pp2159-2160 (1988)
- [28] 岡田, 田町: “動図形の意味解釈とその自然語記述—意味分析—”, 信学論D, Vol. J59-D, No. 5, pp331-338 (1976)
- [29] 高島, 島津, 友納: “ストーリー駆動型アニメーション—自然言語で書かれた物語からのアニメーション生成—”, 信学技報, NLC86-18 (1986)

1. 物体像の検出・抽出・追跡

(1/2)

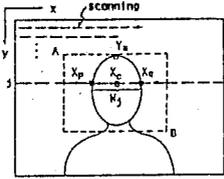
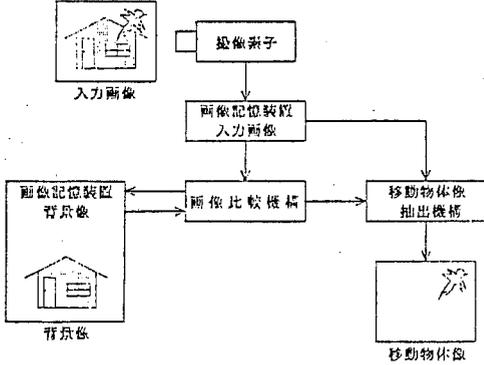
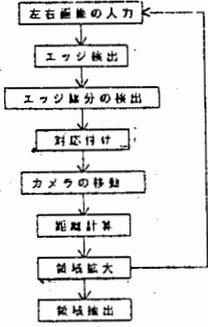
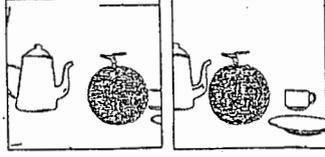
	表 題	概 要	特徴・問題点	研究機関	文献
1	映像信号における人物像検出・追跡法の一検討	<p>▶ 人物が移動した場合に生じる背景と人物との輝度レベル差をフレーム間で検出し、図に示すように、人間の頭部に関する形状知識を利用して頭部の領域を検出する。</p>  <p style="text-align: center;">図7 頭部領域の特定法</p>	<p>▶ フレーム間差分の利用</p> <p>▶ 抽出精度：2X2画素の7x7単位</p> <p>▶ 背景が変化するものには対処できない</p>	NTTヒューマンインタフェース研究所	[3]
2	移動物体の抽出技術	<p>▶ 予め用意しておいた背景画像と入力画像の差をとることにより、移動物体を抽出する。背景の変化は移動体に比べてゆるやかとの仮定のもとで背景画像を更新する。</p> 	<p>▶ 背景画像との差分の利用</p> <p>▶ 背景更新には数百フレーム必要</p> <p>▶ 背景と移動体の輝度レベルに差が無い場合は抽出できない</p>	日立研究所	[4]

	表 題	概 要	特徴・問題点	研究機関	文献
3	視点移動を用いたステレオ画像法	<p>▶ 注目する部分を左右のカメラが視野の中心で捉えるようにカメラ軸を回転させる。エッジ情報を利用して対応付けを行う。カメラを移動しながらこれを繰り返す、対応領域を拡大する。</p>  <p>図2 処理の流れ</p>	<p>▶ 2眼視, カメラ移動</p> <p>▶ カメラの光軸を交差させる。</p> <p>▶ 動きのある物体には適用困難</p> <p>▶ 輪郭が複雑な場合には誤抽出が起こりやすい</p>	大阪府立大学	[6]
4	テレビ信号の解析による顔の位置検出	▶ テレビ映像を96個のブロックに分割し、ブロック内の色度, 輝度, 輝度変化を調べることで顔の部分を検出する	<p>▶ 顔の色を利用する</p> <p>▶ リアルタイム処理</p> <p>▶ 肌色の種類については未検討</p>	電気通信大学	[8]
5	テクスチャ領域の両眼立体視	<p>▶ 2眼画像から同一のテクスチャ領域を抽出し、領域の境界間で対応をもとめる。</p>  <p>図2 メロンがあるシーンのステレオ画像。</p>  <p>図3 明るさの一意性に基づく画像の分割図。</p>	<p>▶ テクスチャを利用する</p> <p>▶ 静止物体が対象</p> <p>▶ 様々なテクスチャが混在するシーンについては未検討</p>	電子総研 アイソ精機	[10]

2. 構造の抽出・表現

	表 題	概 要	特徴・問題点	研究機関	文献	
1	<p>図形の視覚的印象を保存する線分近似法</p>	<p>▶人間が図形を見たときの印象（図形の向き，尖り，凸凹，対象性等）を抽出し，印象を保存した図形近似を行なう。</p>	<p>▶図形の方法抽出 ▶方向抽出アルゴリズムは不明</p>	電子総研	[21]	
		<p>原図 尖り 凹凸 向き 再生図</p> <p>Fig.4 実例例(5)</p>				
2	<p>形状の階層的構造記述の自動生成</p>	<p>▶図形の輪郭線を平滑化した後，スケルトン（構造線）で形状を近似する．スケルトンはトリー構造を持つ</p>	<p>▶図形の構造線抽出 ▶おおまかな構造から微細な構造まで階層化できる</p>	A T R	[22]	
		<p>(a) (b) (c) $n=35$ (d) $n=25$ (e) $n=15$ (f) $n=10$ (g) $n=1$</p>				

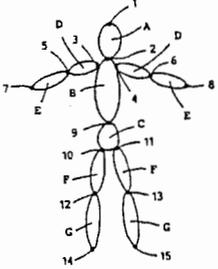
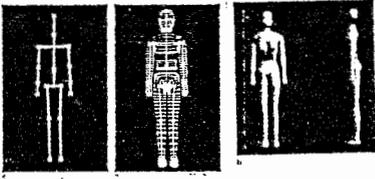
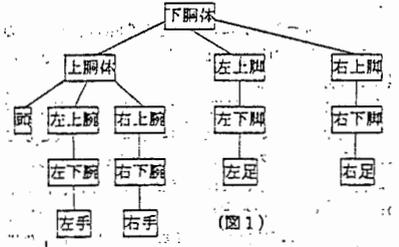
	表 題	概 要	特徴・問題点	研究機関	文献
1	三角関数動作近似による3次元アニメーション	▶人間の関節の動きを3次元計測する。関節の空間内での軌跡を三角関数で近似する。  <p style="text-align: center;">図1 測定する関節部</p>	▶なめらかな動きが表現できる ▶指の動きについては未検討 ▶関節の座標値読み取りは手作業	東工大	[16]
2	Human Skin Model Capable of Natural Shape Variation	▶人体のスタックモデルをもとに, Bezier surface で体表面を形成し, 関節を中心とする折れ, 回転による体表面の変化を表現する。 	▶関節の動きに伴う体表面の変化の表現 ▶顔, 髪, 皮膚のテクスチャ, 衣服への応用が課題	NHK技 研	[15]
3	動作の定義による3次元の人体アニメーション	▶木構造の人体モデル(図), 関節の動きの定義, 人体自身や外部環境による動きの制限を用いて人体動作のアニメを作成する。  <p style="text-align: center;">(図1)</p>	▶人間以外の外部環境を考慮に入れた動作の表現 ▶実時間操作が課題	東大	[27]

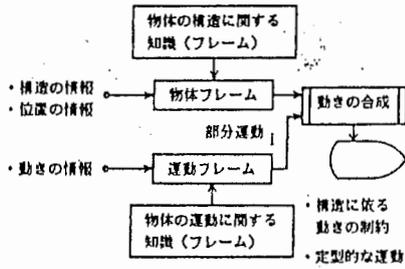
	表 題	概 要	特徴・問題点	研究機関	文献
4	知的画像符号化のための動物体のフレーム表現	<p>▶ 人体をスティックモデルで記述し、全体運動と部分運動を定義する。各部の部分運動を連結している全ての部分に伝播させて動きを合成する。</p>  <pre>graph TD; A[物体の構造に関する知識(フレーム)] --> B[物体フレーム]; C[物体の運動に関する知識(フレーム)] --> D[運動フレーム]; E[構造の情報] --> B; F[位置の情報] --> B; G[動きの情報] --> D; B -- 部分運動 --> H[動きの合成]; D -- 構造に依る動きの制約, 定型的な運動 --> H; H --> I[];</pre>	▶ 構造と動作を知識フレームで表現	東大生研	[20]

図1 知識を利用した動物体のフレーム表現と動きの合成