

# ホームロボットでの顔認識技術

Face Recognition Technology for Home Robot

古賀 敏之

■KOGA Toshiyuki

鈴木 薫

■SUZUKI Kaoru

山口 修

■YAMAGUCHI Osamu

家庭環境で活躍するホームロボットでは、家族に適応して快適で適切なサービスを行うことが求められている。そのためには、ホームロボットは家族あるいはそれ以外の人間を識別することが重要であり、この実現には顔認証システムが有効であると考えられる。

東芝は、顔認証システムFacePass™に用いられている方式を利用し、実験プラットフォーム上において顔認識システムの検討を進めている。従来方式は一定距離内での単数人物を識別するのみであったが、解像度ピラミッドと顔トラッキング手法を改良することで、近くから遠くまでの人物を検出し識別できるようにした。実験の結果、0.3 mから2 mまでの距離にいる人物を同時に認識できることが明らかになった。

A robot used in the home environment should be able to offer convenient and appropriate services adaptively to each user. It is therefore important for a home robot to be capable of discriminating between family members and other people. Face recognition technology is effective for this purpose.

Toshiba is researching a system on an experimental platform that incorporates a face recognition technology used for the FacePass™ face recognition security system. Conventional face recognition identifies a single person within a fixed distance. We have improved the resolution pyramid and face tracking method to enable the system to simultaneously recognize two or more people over a wide range of distances. The results of experiments have verified that our system simultaneously recognizes people at distances from 0.3 to 2 m.

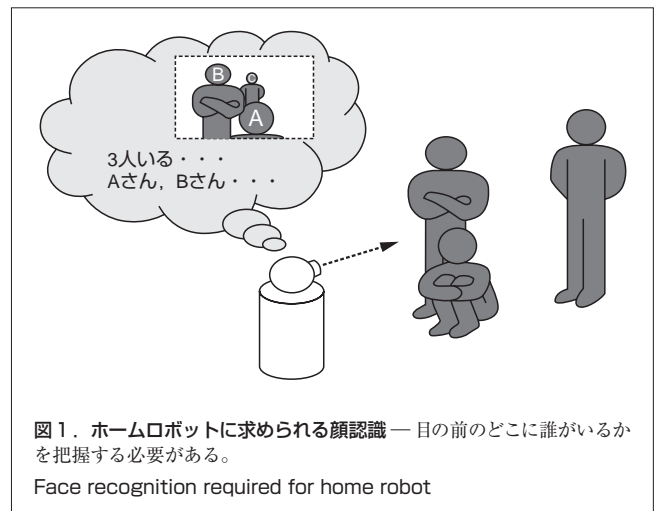
## 1 まえがき

ホームロボットは、家庭内で人間と空間を共有しつつ活動するロボットである。その用途は、家事支援、介護支援、防犯・防災支援、情報支援など様々に考えられる。家庭内には、家族やその親類・友人などが出入りし、ときにはどろぼうまでもが侵入することがある。このとき、ロボットは、家族であればその人に適したサービスを提供し、親戚・友人であればあいさつのひとつもし、どろぼうであれば警報を発するなどして撃退の手助けをすることを期待されるであろう。したがって、ロボットには、自身の周囲にいる人物を検知して誰であるかを識別する能力が備わっていなければならない。

人物の検知や識別には、体温で人物を検知したり、声でそれが誰の声であるかを識別したりと様々な方法とその組合せが考えられる。その中でも、画像処理によって人物の顔を検出して誰であるのかを識別する顔認識は、ロボットの視界に顔をとらえられるかぎり、非接触で遠くから近くまで一度に複数の人物の検出と識別を同時に行える有効な手段である。

## 2 家庭環境での顔認識

家庭環境で稼働するホームロボットの顔認識機能が満た



すべき条件を考察してみる。家庭には、家族やその親類・友人など複数の人間が存在しうる。そのような周囲にいる複数の人の存在を、誰がどこにいて、全部で何人いるのかというレベルで把握する能力がホームロボットには必要とされる(図1)。例えば、知らない人が家族とともにいればそれはたいていお客さまであろうし、周囲に家族のいない留守番中であればそれはどろぼうかもしれない。また、お父さんが「テレビをつけて」と言えば、それは野球中継を見たいという意

味だろうし、子どもであればアニメ番組のことを指しているのかもしれない。このように、ロボットは周囲のどこに誰がいるのかを把握することで、よりきめ細かな状況判断とサービス提供を行えるようになる。

そのための第一の条件として、ロボットには視野内の顔を同時に複数個検出できる機能が不可欠である。同一視野に複数の顔が見えているときに全員を検出しなければ、コミュニケーションをとる相手を選択することができない。

このとき、ロボットの周囲にいる人物は、ロボットから必ずしも一定距離にいるとは限らず、近くにいたり遠くにいたりする。すなわち、画像中に現れる顔の大きさは、近くの人物の大きな顔から遠くの人物の小さな顔まで様々である。したがって、顔の大小にかかわらずこれを検出できる機能も必要となる。

第二の条件としては、目の前の人物が誰であるのかを環境の変動に影響されずに識別する必要がある。これは、ホームロボット自身が家庭内を自由に動き回り、様々な視点から人間を観察することができることから、視点や照明条件の変化に影響されずに個人を識別できることが重要となるからである。

以上の条件から、ホームロボットに搭載される顔認識システムは、様々な距離にいる人物の大小様々な顔を視野内ですべて検出し、かつ識別できることが望ましい。

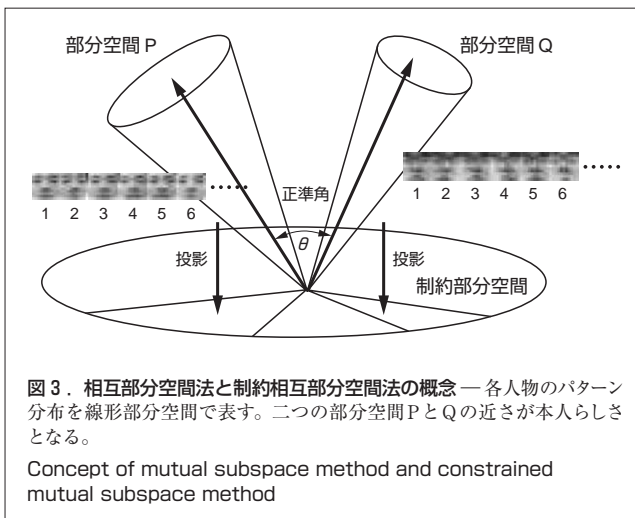
### 3 顔認識方式

そこで東芝は、ホームロボットに適した顔認識方式として、当社の顔認証システム FacePass™<sup>(1)</sup> に用いられている顔の検出・識別方式を採用した。

図2に示すように、顔の検出では画像中から顔らしいパターン領域をテンプレート照合により探索・抽出し、抽出された顔らしい領域に対して、更に目や鼻という顔部品の存在を検証する<sup>(2)</sup>。検証の結果、所定の顔部品が見つかった領域を顔として抽出する。

また人物の識別は、顔の検出処理により抽出された顔領域の画像パターンを、あらかじめ登録してある人物ごとの辞書パターンと照合することで行う。この照合には相互部分空間法、制約相互部分空間法<sup>(2)</sup>など複数の方式が選択可能である。照合の結果、所定しきい値以上で最大類似度を獲得した辞書パターンの持ち主を、この抽出された顔領域の人物として認定する。もし、所定しきい値以上の類似度を獲得する辞書パターンが存在しなければ、この顔領域の人物はシステムの知らない人として認定される。

顔の識別処理に用いた相互部分空間法の概念を図3に示す<sup>(3)</sup>。相互部分空間法は、二つの部分空間(図中のPとQ)の正準角を類似度とするパターン照合方式である。時系列的に入力される画像の各フレームから抽出される顔パターンを多数蓄積し、これを主成分分析して入力部分空間を生



成した後、あらかじめ用意されている人物ごとの辞書部分空間と照合する。照合対象となる入力パターンを部分空間とすることで、顔の向き、表情、相対位置の変化に起因する入力パターン変動の影響を受けにくいという特長がある。

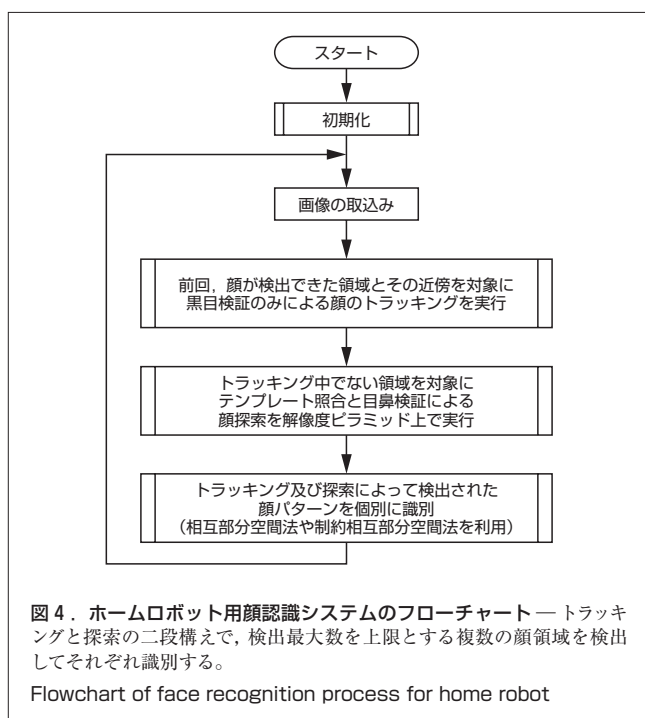
この相互部分空間法を発展させた方式が、制約相互部分空間法である。制約相互部分空間法は、入力部分空間と辞書部分空間を図示するように所定の制約部分空間に投影してから類似度を計算する、改良された相互部分空間法である。投影先の制約部分空間は、目的に応じて様々に設計することができる。例えば、顔パターンの照明変動に直交する制約部分空間として用いると、投影後の入力部分空間と辞書部分空間は照明変動成分を含まない個人の特徴を表現し、

照明変動の影響を受けにくい人物識別が可能になる。このように制約相互部分空間法は、照合に利用する処理対象パターンの特徴を際立たせて比較できる照合方式である。

#### 4 ホームロボット用顔認識システム

今回当社が開発したホームロボット用の顔認識システムは、前述の顔認識方式をベースに、視野内の複数の顔を、より広範な大きさで検出・識別できるように拡張したものである。

このシステムのフローチャートを図4に示す。



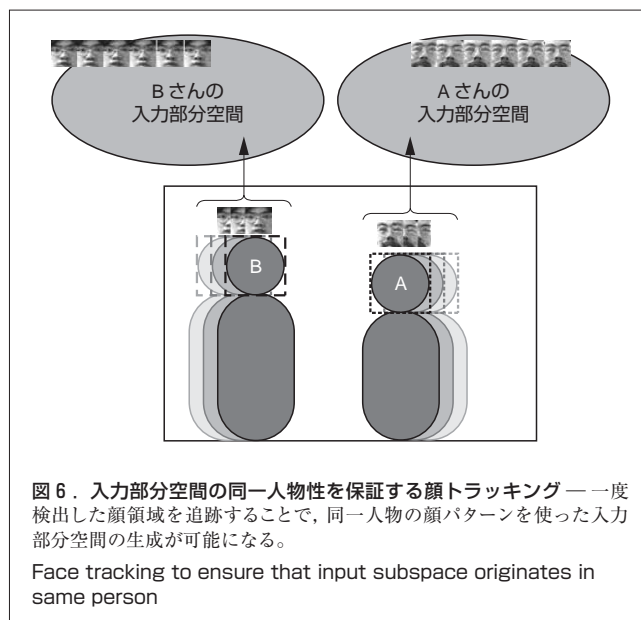
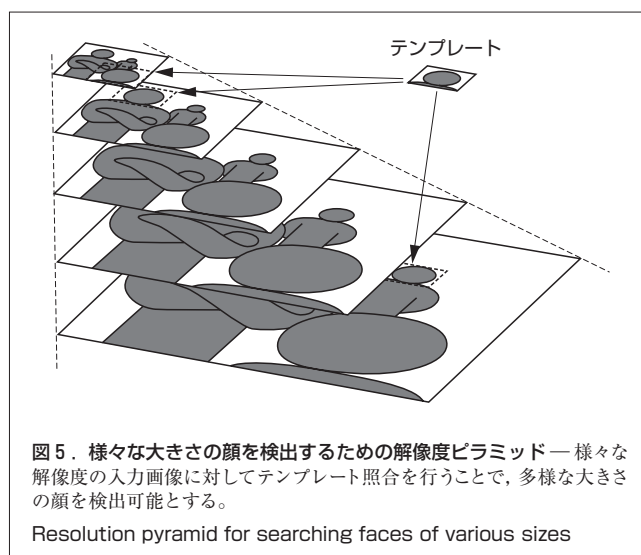
既に述べたように、ホームロボットは複数の人間を同時に見つける必要がある。そこで、顔認識システムは1枚の画像から大小様々な複数の顔領域を検出し、その各々に対して識別処理を施して結果を出力する。通常、ロボットの視野に入る人間の数はたかだか数人であることから、計算コストを削減するために、同時に検出・識別可能な顔の数に上限(検出最大数)を設ける。

##### 4.1 解像度ピラミッド

顔テンプレート照合に際して様々な大きさの顔に対応するために、入力画像から多段階の解像度ピラミッドを生成し、各解像度の入力画像に対して一定サイズの顔テンプレートを走査しつつ照合する(図5)。この結果、様々な大きさの顔らしい領域が検出できる。

##### 4.2 顔トラッキング

一度検出された顔領域を画像中で追跡するトラッキング処理を導入する(図6)。連続して入力される画像で検出さ



れた顔画像は、その次のフレームでは別の場所に移動している可能性がある。しかし、その移動は人物やロボット自身によるものであるため、その速度や距離には限界がある。そこで、顔が検出されると以後のフレームでは、検出された領域の近傍で顔部品位置のみを検証することで高速に顔の検出を行う。

トラッキング中の顔領域は、未発見の顔を探すための顔テンプレート照合の対象から除外されるので、トラッキング中の顔領域が広いほど顔検出処理は全体的に速くなる。例えば、検出最大数を $N$ 、トラッキング中の顔の数を $M$  ( $M \leq N$ ) とすると、新規に検出しなければならない顔の数は $N - M$  となり、その探索領域は画像全体からトラッキング中の $M$  個の顔領域を除いた、より狭い範囲に限られる。

識別処理では、前述の相互部分空間法や制約相互部分

空間法を用いる関係上、複数の顔が同時に見つかったりするとき、別人の顔パターンを混同することなく、同一人物の顔パターンからその人物を識別するための入力部分空間を生成しなければならない。トラッキング処理は検出された人物それぞれに対して個別に行われるため、この同一人物性を保証することができる。

## 5 評価実験

今回開発したホームロボット用顔認識システムを評価するため、開発中のロボット情報家電 ApriAlpha™<sup>(4), (5)</sup>を実験プラットフォームとして用い、性能の確認を行った(図7)。

約0.3mと約2mの距離に二人の人物のいる状況で行った実験結果を図8に示す。この図は識別方式に相互部分空間法を用いた結果である。図から、顔幅128画素と26画素でそれぞれ映るまったく異なる距離にいる二人の人物が、顔



図7. ロボット情報家電 ApriAlpha™ — 音声・画像によるインタラクション機能やネットワーク家電との連携機能を搭載したホームロボットである。

ApriAlpha™ robotic information home appliance



図8. 実験結果 — 異なる距離にいる二人の人物を検出・識別している。  
Experimental results

によって同時に検出・識別されているようすがわかる。一般に顔の幅は約13cmであることから、ロボットから人物(顔)までの距離と方向を画像中の大きさと位置から概算することができる<sup>(5)</sup>。この結果、ロボットは眼前のどこに誰がいるのかを把握しつつ、例えば、所定距離以内に近づいた人物(例えば、図中の鈴木)に対して優先的にインタラクションを開始することなどが可能になる。

## 6 あとがき

ここでは、大小様々な顔を視界内ですべて検出・識別するというホームロボットに求められる顔認識のあり方を考察するとともに、それに基づき開発した顔認識システムの評価を行った。実験の結果、開発した顔認識システムは、顔の見えている人物を広範な距離から複数同時に検出・識別できることが明らかになった。

今後、顔の隠れや傾きによって顔全体が見えない状況でも検出できる技術を開発・搭載することにより、ユーザーがこちらを向いていないなどの、現時点で対応できていない様々な状況における人物の検出を可能にしていく。

## 文献

- (1) 土橋浩慶,ほか. 顔照合セキュリティシステム FacePass™. 東芝レビュー. 57, 8, 2002, p.48 - 51.
- (2) 福井和広,ほか. 形状抽出とパターン照合の組合せによる顔特徴点抽出. 電子情報通信学会論文誌. J80-D-II, 8, 1997, p.2170 - 2177.
- (3) 福井和広,ほか. 制約相互部分空間法を用いた環境変動にロバストな顔画像認識 - 照明変動を抑える制約部分空間の学習 -. 電子情報通信学会論文誌. J82-D-II, 4, 1999, p.613 - 620.
- (4) 山本大介,ほか. ロボット情報家電コンセプトモデル“ApriAlpha”の開発 - 機能概要および移動制御について -. 第21回日本ロボット学会学術講演会講演論文集. 1E27, 2003 (CD-ROM).
- (5) 鈴木 薫,ほか. 視聴覚連携によるホームロボットの「呼べば来る」機能の実現. 第4回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2003)講演論文集. 2F4-5, 2003, p.576 - 577.



古賀 敏之 KOGA Toshiyuki

研究開発センター ヒューマンセントリックラボラトリー。  
画像認識, ヒューマンインタフェース, ロボットの研究開発に従事。日本ロボット学会会員。  
Humancentric Lab.



鈴木 薫 SUZUKI Kaoru

研究開発センター ヒューマンセントリックラボラトリー研究主務。  
文字・画像認識, 音声処理, コンピュータグラフィックス, ヒューマンインタフェース, ロボットの研究開発に従事。情報処理学会, システム制御情報学会会員。  
Humancentric Lab.



山口 修 YAMAGUCHI Osamu

研究開発センター マルチメディアラボラトリー研究主務。  
画像処理の研究開発に従事。電子情報通信学会, 情報処理学会会員。  
Multimedia Lab.