

## ユーザに同行するロボットにおける状況に応じた 並走・縦走の自律的切替え

花井 久美江<sup>†</sup> 今井 順一<sup>†</sup> 金子 正秀<sup>†</sup>

電気通信大学 大学院電気通信学研究科<sup>†</sup>

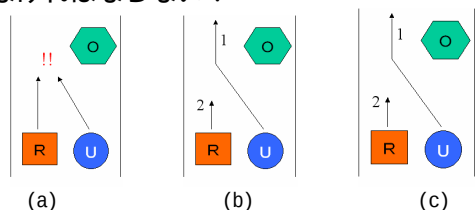
### 1 まえがき

人が2人で廊下を移動する際、横に並んだ「並走」の形態で移動をする。しかし前方が障害物で一人分程度の幅に狭まっている状況では相手と衝突せずにスムーズに進めるよう、「並走」から縦に並ぶ「縦走」の形態に自然に切り替えて移動をしている。この切替えにはどちらが先に進むべきか、譲るべきかを瞬時に判断して行動していると考えることが出来る。

本論文では、上記のような移動環境下でロボットとユーザが連れ立って移動する際にロボットにも同様の振る舞いをさせる方法について述べる。

### 2 並走と縦走による行動パターン

「並走」の形態で図1(a)のように前方に障害物が存在して回避スペースが一人分しかない状況では、ロボットが譲ってユーザを先に進ませる「縦走」(図1(b))か、またはロボットがユーザよりも先に進む「縦走」(図1(c))の形態に切替えて、移動しなければならない。



U : ユーザ R : ロボット O : 障害物

図1: 並走から縦走の切替え

並走と縦走の切替えの行動パターンとしては、図2のような種類が考えられる。

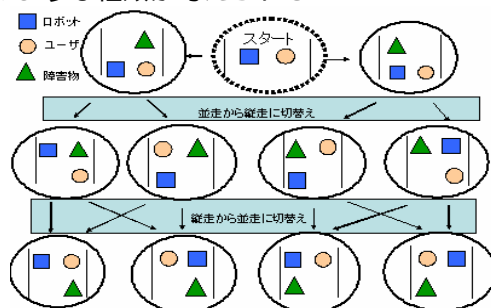


図2: 行動パターン

Autonomous Switching Method Between Parallel and Cascade Positions Employed in Robot Accompanying Walking User

Kumie HANAI<sup>†</sup>, Jun-ichi IMAI<sup>†</sup>, and Masahide KANEKO<sup>†</sup>  
Graduate School of Electro-Communications, The University of Electro-Communications<sup>†</sup>

1-5-1 Chofugaoka, Chofu-si, Tokyo, 182-8585, Japan

### 3 形態の切替えの判断

図2に示すような行動パターンにおいて、ロボットは「並走」から「縦走」に切り替える際にその状況を把握して、適切な形態への切替えとそのタイミングを判断する必要がある。判断する要素として、次の項目が挙げられる。

1. ロボット・障害物・ユーザの各々の位置関係と距離
2. ユーザの移動速度の変化

連続フレームにおいてこれらの情報を取得し、ユーザと障害物の距離の変化と、ロボットとユーザの相対速度の変化を測る。その変化の特徴からロボットが形態の切替えの判断を自律的に行う。

なお、ここでは並走と縦走の際は等速直線運動、形態の切替え時は等加速度運動として移動を行うものとする。

### 4 切替えに必要な特徴の抽出及び処理

#### 4.1 障害物の検出

障害物の検出には図3のようにエッジ検出した後、ハフ変換を行って廊下の床面を検出する。検出された画像をHSV表色系に変換する。変換した画像をマスク画像として記憶させる。マスク画像と入力画像(床面)のHSV表色系におけるHとSのヒストグラムでの相関を(1)式を用いて測る。相関が閾値よりも低いものを障害物であると認識する。

$$d(H_1, H_2) = \frac{\sum (H_1(I) \cdot H_2(I))}{\sqrt{\sum H_1(I)^2 \cdot \sum H_2(I)^2}} \quad \dots (1)$$

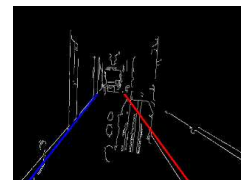
$$\text{但し, } H_k = \frac{H_k(I) - 1}{N \cdot \sum_j H_k(j)}$$

$H_1$ : マスク画像ヒストグラム,  $H_2$ : 入力画像ヒストグラム

$I$ : 画素値



入力画像



床面検出結果画像

図3: 入力画像と床面検出結果画像

#### 4.2 ユーザの検出

肌色抽出と髪の毛抽出を行い、それらの結果を統合することでユーザを認識する。

##### 4.2.1 肌色抽出と髪の毛抽出

肌色はHSV表色系のHS空間で、ひと固まりに分

布し、複数のガウス分布を重ね合わせた形(GMM: ガウス混合モデル)で近似できる[2]。この GMM を用いて、肌色領域を抽出する。

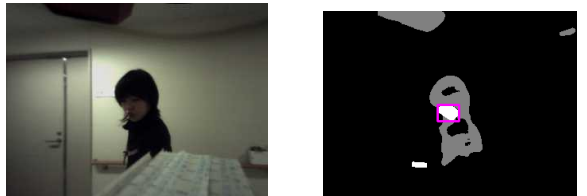
髪の毛領域の抽出には入力画像に(2)式のような帯域通過フィルタをかけ、低輝度領域だけを抽出する。

$$K(f) = f \exp\left\{-\left(\frac{f}{f_0}\right)^4\right\} \quad \dots (2)$$

$K(f)$ :透過率,  $f$ :画素値,  $f_0$ :基準画素値

#### 4.2.2 ユーザの認識

4.2.1 で抽出した肌色と髪の毛の領域から、ユーザの領域を認識する。髪の毛領域は肌色領域の上部に位置することを前提とし、肌色領域の上部に髪の毛領域が存在し、かつそれらが隣接している領域をユーザとして認識する。図 4 のように髪の毛領域が黒い服と統合した領域であっても、肌色領域と隣接し上部に髪の毛領域が位置しているのでロボットにユーザと認識出来る。



入力画像 ユーザの肌色認識結果画像  
図 4: ユーザ認識画像

#### 4.3 位置の計測

4.1 と 4.2 で抽出された障害物とユーザの領域をもとに、障害物及びユーザの 3 次元位置をステレオ画像にて計測する。これによりロボット、障害物及びユーザの位置関係を把握する。また、得られた障害物とユーザの位置座標から、ユーザと障害物の距離を測る。この距離の変化を判断要素とする。

#### 4.4 ユーザの移動速度の算出と相対速度

ロボットが移動している状態では、動物体であるユーザの移動速度を計測する際、相対速度で考える必要がある。まずユーザの速度を求めるため、フレーム毎にオブティカルフローを検出し、速度ベクトルを算出する。速度ベクトルはステレオ画像を用いて 4.3 で求めた 3 次元座標で計算する。前フレームのユーザの位置座標を  $(x, y, z)$ 、現フレームの位置座標を  $(x_1, y_1, z_1)$  とし、処理速度を

$t$  とすると、ユーザの移動速度  $v_{x,y,z}(t)$  は(3)式で求まる。

$$v_{x,y,z}(t) = \left( \frac{x_1 - x}{\Delta t}, \frac{y_1 - y}{\Delta t}, \frac{z_1 - z}{\Delta t} \right) \quad \dots (3)$$

並走や縦走と切替え時におけるユーザとの相対速度は表 1 のような特性をもつと考えることが出来る。

#### 5 動作形態の切替え

障害物による並走から縦走に切替えには表 1 を

表 1: 相対速度と動作形態の関係

| ユーザとロボットの相対速度 $v_r$ の変化 | 動作の形態     |
|-------------------------|-----------|
| $v_r = 0$               | 並走・縦走     |
| $v_r > 0$               | ユーザが前行く   |
| $v_r < 0$               | ユーザが後ろにつく |

もとに連続フレームで相対速度の一定が生じたら、ロボットは切替えのタイミングとみなし、並走から適切な縦走の形態に切替えるようにする。ロボットが等速運動で移動している状況で、ユーザとの相対速度が増加していく場合には、ユーザが先に進もうとしていると判断し、ロボットはユーザを譲る。反対に相対速度が減少していく場合、ユーザはロボットの後ろにつくと判断し、ロボットは先に進むようにする。また万一、障害物に近づいてもユーザとの相対速度にいっこうに変化がみられない場合には、ロボットが障害物の存在を音声で知らせる。その後、障害物の位置に関係なく、ユーザに譲って先に進むように促す。

#### 6 切替え判断の実験

4 と 5 で述べた手法により、実機による動作実験を行った。図 5 に示す。結果として、ロボットはユーザの行動に合わせて 並走・縦走の切替えを判断し、適切な障害物回避で移動することが出来た。しかしながら、ユーザが急激な速度変化を伴う移動をすると、ロボットが対応出来ない場合があった。



(1)並走



(2)切替え



(3)縦走

図 5: 実験の様子

#### 7 むすび

実際の移動環境下での人間同士で生じるような、障害物による並走から縦走への切替えを自律的に行うロボットのシステムについて述べた。

今後の課題として、今回は静物体の障害物だけだったので、動物体の障害物(人間等)の場合の切替えについても検討していきたい。

<参考文献>

- [1] 宗片匠, 大矢晃久: “人間とともに移動する生活支援ロボット - 動作モードとインタラクション機能 - ”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'02 講演論文集, 2P1-K05, (2002.6)
- [2] Quan Huynh-Thu, Mitsuhiro Meguro and Masahide Kaneko: Skin-color extraction in images with complex background and varying illumination, IEEE (WACV2002), pp.280-285, USA (2002.12.)