

個人用知的移動体のジェスチャインタフェース

矢田 幸大^{†1} 渡邊 賢^{†2} 長尾 確^{†2}

我々の研究室では個人用の移動機械の知能化に着目し、個人用知的移動体 AT (Attentive Townvehicle) と呼ばれる乗り物の研究開発を行っている。AT は駆動輪としてメカナムホイールを用いており、全方位平行移動やその場回転を行うことが可能である。また、進行方向を指定すると自動的に障害物を回避することができる。

これまで AT の操縦はジョイスティックを用いてきたが、本研究ではより搭乗者の直感に合った操縦インタフェースとして、深度センサ（ピクセル単位でデバイスからの距離を計測するセンサ）を利用した搭乗者の手のジェスチャを用いる仕組みを実現した。これにより、より直感的な動作で AT を操縦することが可能となる。

A Gesture Interface for Personal Intelligent Vehicles

YUKIHIRO YATA,^{†1} KEN WATANABE^{†2}
and KATASHI NAGAO^{†2}

We are conducting the research project of personal intelligent vehicles that are intelligent enough to adapt themselves to their surroundings and users. A prototype of the vehicle is called Attentive Townvehicle (AT, for short). AT is capable of omni-directional movement and rotation by using mecanum wheels. AT also has a function of automatic avoidance of obstacles when its passenger specified a direction to move.

Based on AT's basic functionality, we developed a hand gesture interface as a new control interface of AT. Hand shapes and motions are recognized in real time by a depth sensor. We also evaluated our gesture interface from the viewpoint of visual feedback of recognition processes and found that our interface is intuitive enough for novice users to control AT as easy as possible.

^{†1} 名古屋大学 工学部 電気電子・情報工学科

Department of Electrical and Electronic Engineering and Information Engineering, School of Engineering, Nagoya University

^{†2} 名古屋大学 大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science, Nagoya University

1. はじめに

我々が普段使用する機械は、ボタンやリモコンなどを用いて操作されることが多い。しかし、ボタンによる操作は機械を操作する位置が限定されるため、日常生活において不便な場合がある。また、リモコンを用いた操作方法の場合は、機械から離れた位置での操作が可能となる一方で、操作者がリモコンの位置を把握できていない場合もあり、機械を操作するためにリモコンを探し出すという手間が増える可能性もある。一方、非接触型ユーザインタフェースとしてのジェスチャは、機械の操作インタフェースとしてボタンやリモコンなどを使用するよりも直感的であり、また、操作者の大まかな動きで機械を操作することが可能となるため、さまざまな分野への応用が期待されている。

一方、我々の研究室では、個人用知的移動体 AT (Attentive Townvehicle) と呼ばれる、自動で移動する個人用の乗り物の研究開発を行っている¹⁾。この AT は従来の乗り物とは異なり、全方位平行移動やその場回転を行うことができる。そのため、AT の操縦方法も従来の乗り物とは異なってくる。そこで、本研究では従来のジョイスティックによる操縦に加え、より搭乗者の直感に合った操縦インタフェースとして手のジェスチャを利用する仕組みを実現した。

また、搭乗者のジェスチャが AT にどのように認識されているのかという情報を搭乗者に提示する仕組みとして、アニメーショングラフィクスを用いる手法も実現した。この情報は AT に取り付けられているコンソールタブレットの画面上に表示され、搭乗者はその画面を見ることで自身のジェスチャがどのように認識されているのかという情報と AT がどのような動作をしているのかという情報を知ることができる。

2. 個人用知的移動体 AT

図 1 に AT の全体図を示す。AT は搭乗者である人間や AT 自身を取り巻く環境に適応して移動する個人用の乗り物である。この AT の特徴として、駆動系にメカナムホイールという機構を採用していることが挙げられる。このメカナムホイールは、図 1 のように車軸に対して 45 度傾けられた小型のローラーが車輪の周囲に複数取り付けられた構造となっている。この機構により AT は、全方位平行移動とその場回転を行うことができ、より効率的な移動が可能となる。

また、AT にはレーザーレンジセンサが搭載されており、AT の周囲の障害物までの距離を取得することができる。この値を利用することで、AT はより安全に走行することが可能と

なる。

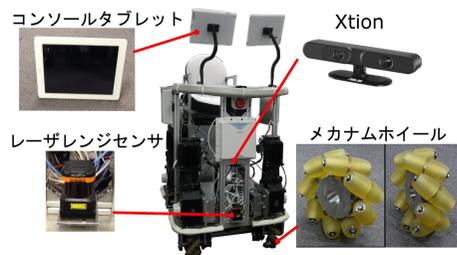


図 1 個人用知的移動体 AT の構成

2.1 AT の操縦インタフェース

AT の操縦は、図 2 に示すアナログスティックを倒したりボタンを押したりすることによって行うことができる。



図 2 AT の操縦に用いられるコントローラ

コントローラには、アナログスティック、C ボタン、および Z ボタンが備わっており、それぞれ以下のような機能を持つ。

- アナログスティック

倒す角度と傾きの度合いによって AT が移動する方向と速さを決めることができる。また、アナログスティックから指を離すと AT は停止する。

- C ボタン

C ボタンを押しながらアナログスティックを左右に倒すと、倒した方向に応じてその場回転を行うことができる。

- Z ボタン

押しながらアナログスティックを倒すことで駐機モードへ切り換えることができる。この駐機モードとは搭乗者が AT を降りた後に AT が自動的に人の邪魔にならないような隅や袋小路に移動するモードのことである。このモードにより、搭乗者が屋内の任意の場所で AT から降りたとしてもその AT が屋内を歩く人の邪魔になることはない。

しかし、このコントローラによる操縦方法では、搭乗者が常に操縦のためのデバイスを持ち続けなければならない、また、搭乗者の細かい指の動きが必要となる。

そこで、本研究ではこのコントローラによる操縦に加え、図 1 に示した Xtion と呼ばれる深度センサデバイスを用いたジェスチャによる操縦も実現した。この Xtion はピクセル単位でデバイスからの距離を取得することができる。AT はこの情報を元にジェスチャ認識を行う。このジェスチャ操縦の詳細については第 3 章で述べる。ジェスチャで操縦を行うことにより、搭乗者はより直感に合った操縦をすることが可能となる。

2.2 補助走行機能

レーザーレンジセンサの値を利用して、障害物を自動的に回避しながら移動する補助走行機能²⁾が実現されている。この補助走行機能では、搭乗者は自分自身が進みたい大まかな方向と速度を AT に伝えるだけで良い。AT はその方向と速度を元とし、さらに AT に搭載されているレーザーレンジセンサの情報も加味し、安全に走行できる方向と速度を計算し、その情報を AT の走行に反映させる。

この機能により、AT は周囲の障害物に衝突することなく走行することが可能となる。次章で説明するジェスチャインタフェースは、この補助走行機能を前提としている。

3. 個人用知的移動体のジェスチャインタフェース

深度センサを用いることで、AT はセンサ周囲の対象物までの距離を取得することができる。AT はこの情報を元に搭乗者の手を認識し、ジェスチャ認識を行う。また、搭乗者のジェスチャがどのように認識されているのかといった情報を搭乗者に提示することで、スムーズにジェスチャ操作ができるように工夫している。

3.1 操縦方法

AT には全方位平行移動とその場回転の 2 種類の動作がある。そこで、ジェスチャはそれ

ら2種類の動作に対応したものにする必要がある。そこで、図3に示すように、搭乗者が平行移動を行いたい場合は手の形状をグーにし、その場回転を行いたい場合は手の形状をパーにする。それぞれの形状のまま手を動かすことでATを操縦する。この図はXtionが取得した距離情報を可視化したものである。

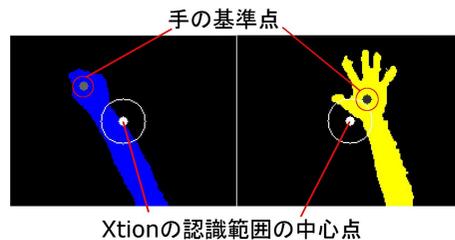


図3 グーとパーによる動作の切り替え

搭乗者の手の形状がグーかパーかを識別した後、図3で示している手の基準点の座標と図3の中心の点で示しているXtionの認識範囲の中心点の座標の差分を計算し、ATの進行方向、速さ、回転方向を決定する。

平行移動を行う場合は、Xtionの認識範囲の中心点を原点とする直交座標値を取得し、この座標を極座標に変換することでATの進行方向と速さを求める。ATの進行方向の指定はATの前方を0度、左側をマイナス、右側をプラスとした-180度～+180度の範囲で行う。また、座標距離から移動速度を計算する。

また、ジェスチャ操縦によって全方位平行移動を行う場合、ATの進行方向を固定する機能を追加した。これは、手を同じ位置に保持し続けることは搭乗者にとって負担であると考え、搭乗者が一度進みたい方向をATに伝えてしまえば、搭乗者の手がXtionの認識範囲から外れても搭乗者の進みたい方向にATが進み続けるというものである。通常のジェスチャ操縦では搭乗者の手がXtionの認識範囲から外れるとATが停止するようになっている。しかし、進行方向固定機能により進行方向が固定されると、搭乗者の手がXtionの認識範囲から出てしまっても固定された方向にATが進み続ける。この機能により、搭乗者が常に手を前に出している必要がなく、搭乗者の負担を減らすことが可能となる。なお、進行

方向が固定されるための条件は、搭乗者が進みたい方向に一定時間手の位置を固定することである。また、この一度固定された進行方向を解除するためには、Xtionの認識範囲内で手をパーにすれば良い。

その場回転方向の指定は図4に示す範囲で行われる。図4の左の範囲内に手の基準点がある場合はATが左回りにその場回転し、右の範囲内に手の基準点がある場合はATが右回りにその場回転する。



図4 回転方向が決められる範囲

3.2 搭乗者への情報提示

3.2.1 ジェスチャ認識画面を用いた情報提示手法

本研究では、搭乗者への情報提示として、ジェスチャ認識画面である図3のような画像を用いた。この画像より、搭乗者は自分の手をATがどのように認識しているのかを随時知ることができる。この情報はATのコンソールタブレット上に表示され、搭乗者はそのコンソールタブレットを見ながらジェスチャによる操縦を行うことができる。搭乗者が自身の手の状態を容易に確認しながらATを操縦することが可能となるため、よりスムーズなATのジェスチャ操作を行うことができる。

しかし、複数の被験者に、この方法で情報提示を行いながらATをジェスチャにより操縦してもらった結果、情報提示画面よりもジェスチャを行っている自身の手の方を見てしまう被験者が複数名見受けられた。このことにより、搭乗者の手がXtionの認識範囲から外れてしまっても、搭乗者がそのことに気付かず、思うようにATを操縦できていない場面が何度か見受けられた。

そのため、本研究ではこの方法とは異なる別の情報提示の手法も考案して比較した。次項でその詳細について述べる。

3.2.2 アニメーショングラフィックスを用いた情報提示手法

本研究では搭乗者に対して情報提示を行う手法として、図5のようなアニメーショングラフィックスを用いる仕組みを考案した。この情報はATのコンソールタブレットに表示される。

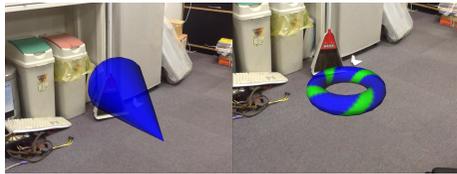


図5 ATの動作情報を伝える2種類のグラフィックオブジェクト

搭乗者の手がグーと識別された場合は、図5の左の円錐型のオブジェクトが表示され、搭乗者がATを移動させようとした方向をオブジェクトが指し示す。一方、搭乗者の手がパーと識別された場合は図5の右のリング型のオブジェクトが表示される。搭乗者がATをその場回転させようとしている向きに、このオブジェクトをアニメーションによって回転しているように見せることで搭乗者への情報提示を行う。

搭乗者の手がXtionの認識範囲から外れるとこれらのオブジェクトは表示されなくなる。しかし、搭乗者がジェスチャ操作を行っている際に、搭乗者の意図とは異なり、手がXtionの認識範囲から外れることも起こり得る。そこで、これらのオブジェクトを搭乗者の手がXtionの認識範囲の中心から離れるにつれて、図6のように徐々に透明化させ、搭乗者の手がXtionの認識範囲から外れようとしているかどうかの情報提示も行う。



図6 オブジェクトの透明化

搭乗者が自分のジェスチャ操作の確認のために、ATのコンソールタブレットに注目しすぎて、ATの周囲の状況を正しく認識できずに誤って障害物に向かってATを移動させようとする場合もあり得る。2.2節で述べたATの補助走行機能により、ATは自動的に障害物を回避し、障害物と衝突することはないが、搭乗者の気付かないうちにATが障害物に向かって移動するような状況はできるだけ避けた方が良い。そこで、コンソールタブレット上にATの周囲のどの方向に障害物があるのかといった情報も表示し、搭乗者への情報提示を行う。

ATはレーザレンジセンサにより周囲の障害物までの距離情報を取得している。この情報を利用して、ATの周囲の一定距離内に障害物があれば、そのままかな方向を搭乗者に提示する。さらに、補助走行機能によりATが障害物を自動回避している場合、その情報も搭乗者に提示する。障害物に対する情報提示画面を図7に示す。

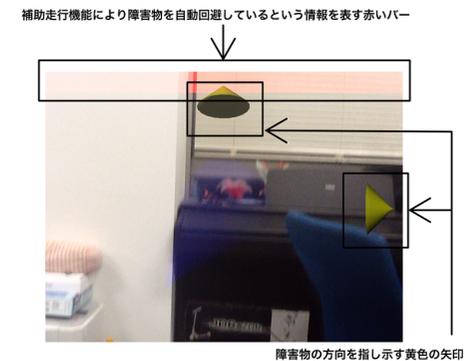


図7 障害物情報の提示

図7は、ATのコンソールタブレットの画面の上と右に、その方向に障害物があることを示す黄色の円錐が表示されている状態を表している。上下に表示される黄色の円錐は向きが傾いており、それぞれ前と後ろに障害物がある際に表示される。また、左右の円錐はATの左右に障害物がある場合に表示される。

また、ジェスチャによるATの操縦は補助走行機能を用いている。そのために、搭乗者の進みたい方向に障害物がある場合、ATは自動的にその障害物を回避して走行しようとする。しかしそのような場合、ATが搭乗者の意図とは異なった動きをするために搭乗者はATの

動きに困惑するかもしれない。そこで、ATのコンソールタブレット上にATが補助走行機能により障害物を回避している最中であるという情報も提示する。この情報提示は図7の上部にあるような赤いバーを、ATの進行方向に従って上下左右に点滅させながら表示することによって行う。図7のようにコンソールタブレット画面の上部に赤いバーが表示された場合はATが前方の障害物を自動回避していることを表している。

本章では、ATのジェスチャインタフェースと搭乗者への情報提示手法について述べた。ジェスチャによるATの操縦は搭乗者の手の位置とXtionの認識範囲の中心点を比較することで行われる。また、搭乗者に自身のジェスチャがどのように認識されているのかについてフィードバックを行うことや、周囲の障害物情報を示すことで、スムーズにジェスチャ操縦を行えるように工夫した。次章では本章で説明した2つの情報提示手法を用いた比較実験について述べる。

4. 評価実験

ジェスチャによってATを操作する際は、搭乗者のジェスチャに応じた適切なフィードバックが搭乗者に対して行われる必要がある。ATが搭乗者の意図した動きをしているのか、周囲に障害物があるのか、搭乗者の手はXtionの認識範囲内にあるのか、などといった情報は搭乗者がスムーズにジェスチャ操縦を行うために有用である。

そこで本研究では、搭乗者に情報提示を行う手法として、ジェスチャ認識画面を見せることで情報提示を行う手法とアニメーショングラフィクスにより情報提示を行う手法の2通りの手法を考案し、その比較実験を行った。本章では実験内容と実験結果を説明し、その考察を述べる。

4.1 実験内容

本実験は、2011年11月23日に愛・地球博記念公園で開催されたクルマ未来博2011の会場で行った。被験者は過去にATに乗った経験のない一般の人たちであり、あらかじめATのジェスチャ操縦方法について説明を行った。

被験者にATをジェスチャによって操縦してもらい、図8に示す情報提示画面のどちらか一方のみを提示した。図8の左の画面が搭乗者のジェスチャ認識処理過程の画面をそのまま提示している画面であり、右の画面が搭乗者のジェスチャ認識結果を元にアニメーショングラフィクスで情報提示を行う画面である。今回の実験では左の画面でATを操縦した被験者が5名、右の画面でATを操縦した被験者が10名であった。

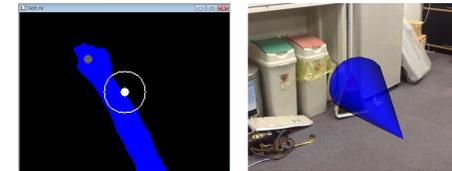


図8 実験で使った情報提示画面

その後、被験者にアンケートに答えてもらい、図8のどちらの画面の方が情報提示手法として優れているのかを調査する。以下にアンケートの設問を記述し、それぞれの意図について述べる。

設問1 ATの動作が分かりやすく表示されていましたか？

大変分かりやすい、分かりやすい、どちらとも言えない、分かりにくい、大変分かりにくい、という5段階で評価してもらった。

被験者のジェスチャによるATの動作を正しく把握できているのかを調査する。全方位平行移動時に進行方向が固定されているかどうかといった情報の提示が分かりやすいかどうかを調査するために用意した。

設問2 行っているジェスチャが分かりやすく表示されていましたか？

この設問の評価軸は設問1と同じものとなっている。

被験者のジェスチャがATにどのように認識されているのが容易に知ることができるかを調査する。被験者の手がグーとパーのどちらに認識されているのか、Xtionの認識範囲のどのあたりにあるのかといった情報の提示が分かりやすいかどうかを調査するために用意した。

設問3 ATの操作中に主にどこを見ていましたか？

評価軸として、ATのコンソールタブレット、被験者自身の手、ATの進行方向、その他の4つを用意した。

被験者が自身の手ばかりを見て、情報提示画面を見ないことが想定されるのでこの設問を用意した。

設問4 ジェスチャを覚えることは容易でしたか？

大変容易であった、容易であった、どちらとも言えない、容易でなかった、大変容易でなかった、という5段階で評価してもらった。

コンソールタブレット上で情報提示を行うこととは別に、ATを操縦するためのジェス

チャ動作が被験者にとって分かりやすい自然な動作であったのかを調査するために用意した。

設問5 ジェスチャによる操作は容易でしたか？

この設問は設問4と同じ評価軸で評価してもらった。

コンソールタブレット上で情報提示を行うことは別に、ATをジェスチャで操縦することが被験者にとって容易なものであったかどうかを調査するために用意した。

4.2 結果と考察

今回の実験では、階層分析法³⁾と呼ばれる手法を用いて結果をまとめた。階層分析法とは複雑な状況下で意思決定を行う際に用いられる構造化法の1つであり、今回の実験ではアンケートの各設問がそれぞれ独立した評価軸とは言えず、互いに関連しているためにこの評価手法を用いた。

図9に階層分析法によってまとめた今回の実験結果を示す。

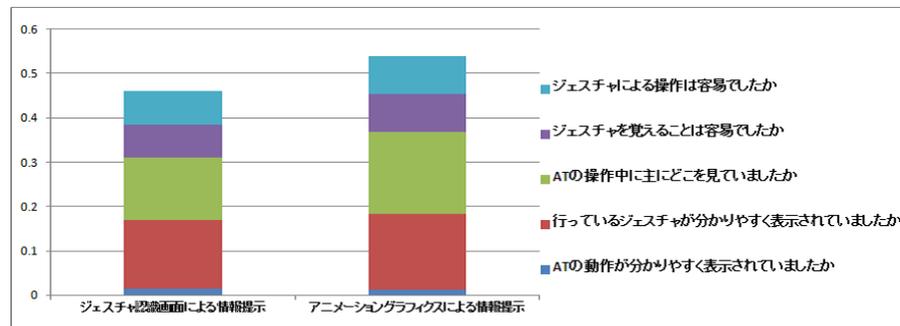


図9 階層分析法による実験の評価

図9より、ジェスチャ認識画面を用いて情報提示を行うよりも、アニメーショングラフィクスを用いて情報提示を行う方がより良い情報提示の手法と言える。

また、設問4と5の結果より、アニメーショングラフィクスを用いる情報提示手法の方がジェスチャによるATの操縦を容易だと感じた被験者が多く、適切な情報提示が行われるとジェスチャを用いたATの操縦をより習熟しやすくなると考えられる。また、アニメーショングラフィクスにより、被験者に対して、自身のジェスチャとそれに対応するATの動きを適切に結び付けられる情報提示を行うことができたと考えられる。

ただし、いくら情報提示画面で適切な情報提示を行ったとしても、被験者がその情報提示画面を見なければ情報提示を行う意味がない。設問3の結果より、ジェスチャ認識画面を用いた情報提示の場合は自身の手に注目してしまい、情報提示画面を見なかった被験者が見受けられたが、アニメーショングラフィクスを用いた情報提示の場合は自身の手に注目してしまう被験者は見受けられなかった。これにより、アニメーショングラフィクスによる情報提示手法が被験者の注目を集める手段として有効であると考えられ、情報提示を行う手法として効果的であると考えられる。

本実験から、ジェスチャ認識画面を用いた情報提示よりも、アニメーショングラフィクスを用いた情報提示の方が情報提示手法として効果的であることが確認された。また、ジェスチャ操縦を習熟する点においてもアニメーショングラフィクスを用いた情報提示手法の方が有効であることが確認された。

5. おわりに

本研究では個人用知的移動体の操縦インタフェースとして手のジェスチャを用いる仕組みを実現した。

また、搭乗者に対する情報提示手法としてジェスチャ認識画面とアニメーショングラフィクスを用いる手法を実現し、どちらが効果的に情報提示を行うことができるのかを調査した。実験より、アニメーショングラフィクスを用いる手法の方が効果的に情報提示を行うことができるという結果が得られた。

本研究で開発した仕組みと、これまでに行われてきた、ジェスチャによって周囲の機械を操作する研究⁴⁾を組み合わせることで、ジェスチャ認識の環境ごと移動し、周辺機器と通信を行うことで、あらゆる機械を一つのジェスチャ認識デバイスで操作可能にする仕組みが実現できると考えられる。

参考文献

- 1) 長尾確, 成田一生, 尾崎宏樹, 安田知加. 全方位に移動可能な個人用知的移動体とその応用. 情報処理学会第70回全国大会講演論文集(3), pp. 43-44, 2008.
- 2) 岸佳奈恵, 安田知加, 井上泰佑, 長尾確. 個人用知的移動体による狭空間での安全走行支援. 情報処理学会第72回全国大会講演論文集(3), No. 207-208, 2010.
- 3) 高萩栄一郎, 中島信之. Excelで学ぶAHP入門. オーム社, 2005.
- 4) 入江耕太, 若村直弘, 梅田和昇. ジェスチャ認識に基づくインテリジェントルームの構築. 日本機械学会論文集. C編, 第73巻, pp. 258-265, 2007.