

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21300051

研究課題名（和文）

人間を身体的・情報的に拡張する個人用知的移動体の研究開発

研究課題名（英文）

Personal Intelligent Vehicle that Extends Human Physically and Informationally

研究代表者

長尾 確 (Katashi Nagao)

名古屋大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：70343209

研究成果の概要（和文）：

本研究で開発された個人用知的移動体 AT (Attentive Townvehicle)は、搭乗者である人間や、自分を取りまく環境に適応し、個体間通信によって協調的に動作可能な個人用の乗り物である。AT に乗り込むことによって、実世界状況や文脈に合わせて、その時点で最適な情報サービスを受けることができる。具体的には、博物館や美術館などの屋内施設において、移動体の現在位置に応じた情報を施設側が提供できると同時に、個人の過去の体験履歴を利用して、特に興味を持つ情報を自動的に取捨選択して提供することができる。

AT の最大の特徴は、全方位に平行移動できることである。また、全方位を同時に計測するレーザーレンジセンサーを装備することで、任意の方向から接近する障害物を早期に検出できる。これによって、障害物を柔軟に回避し、安全に走行することができる。しかし、安全な移動のために、移動体そのものにも実装できる機能では、センサーの死角からの接近に対処できないなど、安全性を確保するのに十分ではないため、移動体を取り巻く環境に何らかの工夫を施して、移動体の機能を拡張する必要がある。そこで、本研究では自律移動が可能な無人移動体と連携・協調することで有人移動体の安全性を向上させる仕組みを実現した。これは、個人用知的移動体のセンサーの死角を補完するために、小型無人移動体（以下では、SUV: Small Unmanned Vehicle と呼称）を用いる仕組みである。AT と SUV を連携・協調させることで、移動体単体では実現が困難であった、安全性を飛躍的に向上させる仕組みを実現した。この仕組みは、SUV が自律的に周辺環境の地図を作成する機能、AT と SUV が自己位置推定をして、お互いのセンサー情報を統合する機能、AT が自動走行を開始すると SUV がその経路を先回りして死角領域をセンシングすることで事前に安全確認をし、AT がその情報に基づき、自動走行の経路を動的に変更するなどして可能な限り安全に目的地に移動する機能から成る。SUV は周辺環境のセンサー情報に基づいて3次元地図を自動生成することもできる。また、本研究では、搭乗者の手の動きをトラッキングし、そのパターンによって移動体の速度・方向・回転を制御する手法を実現した。さらに、ジェスチャによる大まかな指示を移動体のセンサー情報で補完し、周辺の障害物を避けつつ指定された動きをする、ジェスチャ安全走行と呼ばれる仕組みを実現した。このような仕組みによって、人間を身体的および情報的に拡張することができると思われる。本研究の成果は、知的移動機械の研究開発および実用化を促進させ、高齢者やハンディキャップを持つ人たちが自立して生活できる安全で安心な社会の実現に貢献する。

研究成果の概要（英文）：

We have been conducting a research project of a personal intelligent vehicle called AT (Attentive Townvehicle). AT has a function of automatic driving to the destination that its passenger specified.

One of example applications of AT is a museum appreciation support system that enriches museum experiences for each user who is a beginner of art appreciations. The system can encourage effective museum experiences to users by personalizing appreciation courses based on their past museum experiences. The system can tacitly record the museum experiences of the users who move in museums by boarding the automated vehicles.

AT is capable of omni-directional movement and rotation by using special wheels called

mecanum wheels and four servo motors. AT also has a function of automatic avoidance of obstacles by sensing 360 degrees around AT using four laser range sensors when its passenger specified a destination to automatically move.

During automatic driving, it is difficult for AT to avoid moving obstacles that are approaching AT from dead areas of AT's sensors. Therefore, we solved the problem by extending sensing areas of AT based on a Small Unmanned Vehicle (SUV). SUV has a function of generation of a 2D environmental map for localization of current position. SUV can search for places where there are some dead areas of AT on the way to its destination. SUV autonomously moves to the places and probes circumstances around there as a substitute of AT. Based on the above the mechanism, We developed a method of automatic safe transportation and evaluated its underlying techniques.

As another useful application of SUV, we developed a mechanism to automatically generate indoor 3D maps by using a SUV. Our method can make a precise alignment between the 3D maps and the 2D environmental maps so that our generated 3D maps can be applied to highly informative indoor navigations.

In addition, based on AT's basic functionality, we also developed a hand gesture interface as an intuitive control interface of AT. Hand shapes and motions are recognized by a depth sensor in real time. We 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.

The outputs of this research can contribute to facilitation of R&D and deployment of intelligent moving machines and realization of safe and comfortable society in which senior citizens and handicapped people can live independently.

#### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	10,300,000	3,090,000	13,390,000
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	2,100,000	630,000	2,730,000
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：知能情報学

キーワード：知能ロボット、知的移動体、安全自動走行、ジェスチャインタフェース

#### 1. 研究開始当初の背景

ITS (Intelligent Transport System)の発達により、自動車の安全性や利便性を高める技術が高度化されているが、特に、高齢者や何らかのハンディキャップを持つ人を含む個人の移動を支援する、パーソナルモビリティについては未だ不十分である。パーソナルモビリティは、個人用の乗り物であるが、自転車やバイクとは異なり、搭乗者に適応し、安全で自動的に走行可能であることが望まれる。そこで、それらを実現するための新しい移動体技術が必要となる。

#### 2. 研究の目的

個人用知的移動体(personal intelligent vehicle)は、情報端末の発展形として考案された移動型情報マシンであり、個人の能力を拡張して社会に適応しやすくする。本研究で提案する手法は、個人に適応した情

報環境を人間と一体化させ、個人の情報処理機能だけでなく身体機能をも強化して日常生活をより安全で快適なものにする。本研究では、特に、移動体間の連携・協調に注視し、実機を用いて実験を行う。具体的には、全方位に移動可能な個人用知的移動体を製作し、センサーによる障害物回避や環境とのインタラクションに基づく安全なナビゲーションと自動走行、移動体間通信による協調および交渉に基づく移動体間の衝突回避、さらに、搭乗者の状況認識を支援し、搭乗者間のコミュニケーションを強化する仕組みを設計・開発し、実機による実験で詳細に検証する。

#### 3. 研究の方法

(1)1年目には、個人用知的移動体の具体的であるATの設計と製作、特に、高度な制御システムの提案と実装を行う。これによって、

目的地への自動走行と障害物回避が柔軟に行えるようになる。ただし、安全性においては、不十分であるため次年度以降に改良を行う。また、1年目にATの自動走行機能および搭乗者の活動履歴を管理する機能を活かした応用システムを実現する。具体的には美術館における観賞体験を個人向けにカスタマイズし、より充実したものにするための支援システムである。

(2)2年目には、ATの自動走行の安全性と効率性を強化するために、新規にSUVの設計と製作を行う。SUVによる、環境地図(レンジセンサーデータの集積によって2次元平面上の距離情報を可視化したもの)の作成、自己位置推定、自律走行機能を実現し、死角領域などに関してATのセンサー情報を拡張する仕組みを実現する。また、複数のSUVが環境を探索することで、走行が困難な経路を事前に発見することでATが自動走行中に動的に経路変更をする仕組みを実現する。

(3)3年目には、本研究の集大成として、ATとSUVの連携・協調による、個人用知的移動体の安全自動走行機能を実現する。これは、SUVによって作成された地図を用いた注意区間(走行中に周囲に特に注意を向けるべき区間)の検出機能、前年に実現したセンシング領域の拡張機能に基づいて、ATの自動走行中にSUVがその経路を先回りして注意区間に向かい死角からの障害物の接近を検知する機能、ATとSUVが連携して移動障害物に対応して、安全に目的地に到達する機能を統合したものである。さらに、SUVのその他の機能として、3次元地図の自動生成機能、ATの直感的な操縦インタフェースとして、ジェスチャ安全走行機能を実現する。

#### 4. 研究成果

##### (1)1年目の成果

##### ①個人用知的移動体とその制御システム

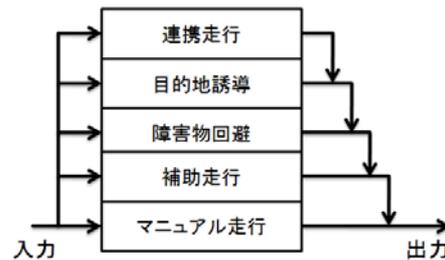
個人用知的移動体は、情報処理および通信機能を装備した1人乗りの移動体である。個人用知的移動体は、人間を移動させることと実世界と情報世界を繋ぐという2つの目的を持っている。我々はこのような目的を持つ情報処理の仕組みを、搭乗型コンピューティングと呼んでいる。この搭乗型コンピューティングのコンセプトのもと、我々は、個人用知的移動体の1つの具体例として左の図に示すAT(Attentive Townvehicle)を開発した。



個人用知的移動体は、搭乗者である人間や、AT自身を取り巻く環境に適応し、個体間

通信によって協調的に動作することを目的とした移動体である。

ATの制御システムはサブサンクション・アーキテクチャと呼ばれるアーキテクチャに基づいている。その特徴は、センサー入力と、モーター出力を行うレイヤーが複数存在し、それぞれのレイヤーに異なる制御手法を割り当てることで、複数の制御手法を並列に処理することができることである。各制御手法を並列に処理しているため、状況に応じて適切な制御手法を実行することができる。また、新たなレイヤーを加えることで機能を拡張することができる。ATにおけるレイヤーの構成を以下に示す。



第1レイヤー：マニュアル走行

後述する操縦コントローラによって搭乗者の操作を受け付けるレイヤー

第2レイヤー：補助走行

一定距離以内に障害物が存在した場合、停止や進路を自動調節するレイヤー

第3レイヤー：障害物回避

障害物を検知しそれを回避するレイヤー

第4レイヤー：目的地誘導

ID付き地図に基づいて現在位置から目的地まで自動走行を行うレイヤー

第5レイヤー：連携走行

他の移動体と連携しながら走行するレイヤー

##### ②ATの自動走行と美術館観賞支援システム

ATは自動走行する際に、地図情報を利用して目的地までの経路を知る。この地図情報は、AT自身が常に保持しているのではなく、建物ごとに存在する「環境情報サーバー」と呼ばれるサーバーが管理している。環境情報サーバーは、建物ごとに存在するサーバーで、その建物内の地図や、店舗、診療科などの施設情報、建物内にいるATの位置情報を管理している。環境情報サーバーはこれらの情報を搭乗者が要求した時に提供する。

環境情報サーバーはATから送信された出発地と目的地までの最短移動経路を計算し、それを基に出発地から目的地までの情報をまとめたリストをATに返信する。

ATはこのリストを基に、自身を制御するための命令群を生成する。この命令群のことを走行タスクと呼ぶ。走行タスクはプロセスと呼ばれる5種類の動作の単位に分割される。

各プロセスを組み合わせることで基本動作

を実現しており、各基本動作に対するプロセスの組み合わせは決まっているため、走行タスクは動作プランから一意に決定可能である。ATによる自動走行は、走行タスクを構成する各プロセスをシーケンシャルに処理することによって実現される。

このATの自動走行機能の応用として美術館観賞支援システムを開発した。このシステムは次のように利用する。まず、ATのタッチパネルディスプレイで利用者がユーザーIDの登録と、美術館滞在予定時間の設定を行い、そのデータを美術館側のサーバーに送信する。サーバーには、利用者毎の体験記録を保持するデータベース（利用者の鑑賞体験記録ベース）と、そのサーバが置かれた美術館に展示されている絵画の基本情報と位置情報、関連作品の情報を保持するデータベース（絵画のデータベース）がある。次に、登録されたIDの利用者の体験記録と、絵画のデータベースに登録された情報を照合して、利用者が過去に訪れた美術館で鑑賞した作品と関連する作品を選出し、その後、選出した作品の位置情報から利用者が設定した予定時間内で、可能な限り移動時間を短く、適切な数の作品を鑑賞するコースを生成する。コース決定後、ATは鑑賞すべき作品の前で停止しながらコース上に従って自動走行する。そして、鑑賞が終了すると同時に新たな鑑賞体験記録が生成され、利用者の鑑賞体験記録ベース内の該当ユーザーの記録を更新する。観賞中は以下の図のような画面を表示し、利用者の観賞体験を支援する。



(2)2年目の成果

### ①小型無人移動体とその基本機能の実現

ATと連携して自律走行する小型無人移動体 (Small Unmanned Vehicle、以下、SUVと呼称する) を2台製作し、ATの搭乗者の安全性を向上させるための拡張型センサーとしての機能を実現した。SUVの外観は次の図の通りである。

SUVは事前に環境を走行することにより、環境地図と呼ばれる周辺の物理環境に関する情報を生成する機能を持ち、その地図を利用して自己位置の推定を行う。環境地図を用いて自分の現在地を認識することができるた



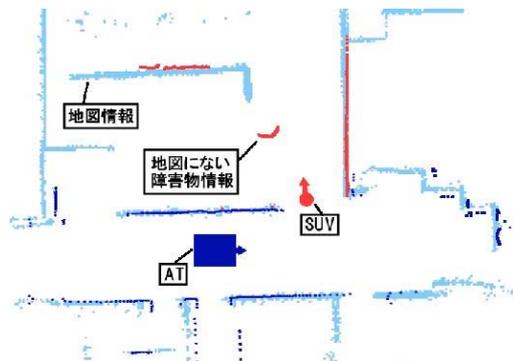
め、比較的柔軟な自律走行が可能である。また、地図と現在のセンサーの値を比較することで、人間などの地図には存在しない障害物を認識することが可能である。SUVはATと連携して走行することが可能であり、ATが自動走行を開始するとSUVはATよりも少し先を自律的に走行する。連携して走行する際に、ATに対して地図には存在しない障害物情報を逐次送信することで、ATは死角になっている領域の情報を補完することができる。

### ②SUVによるATのセンシング領域の拡張

自動走行する移動体の搭乗者の安全性を高めるためには、移動体そのもの持つセンサーでは十分ではなく、いかに環境側に周囲の情報を収集し伝達する仕組みを実現するか、ということが重要となる。この問題を環境設置センサーのみで網羅的にセンシングするのはコストの面で難しい。環境設置センサー以外、もしくはそれらと共存することができる新しい手法を実現する必要がある。本研究では、ATの前方にSUVを自律走行させ、それをATの拡張センサーとして利用し、AT自身のセンサーでは取得が困難な環境情報を取得する仕組みを提案する。

ATは、自分の目的地と走行予定経路をSUVに伝達し、SUVはATの経路上の少し前方を自律的に走行する。SUVにはレンジセンサーが搭載されており、このセンサーで取得した情報を常にATに送信する。このように、相互に通信して、連携することでATは自身のセンサーでは見えない領域のセンサー情報を取得することができる。

次の図は、SUVのセンサー情報をATのセンサー情報と統合し、ATの死角領域に存在する障害物を発見した様子である。



(3)3年目の成果

### ①個人用知的移動体の安全自動走行

自動走行する移動体の最大の課題は移動体が歩行者などの移動障害物に衝突することなく安全に目的地まで到着することである。衝突回避をしながら、自動走行をする移動体の研究は多くあるが、その多くは、次のようなプロセスに沿って行われている。(1)移動障害物の認識と移動ベクトルを求め、自身との危険性を評価する。(2)危険性の高い移動障害物に対して回避方向を決定し、その方向に移動する。しかし、これは移動障害物の認識から衝突まで十分な時間がある場合、例えば正面から来る移動障害物とのすれ違いなどは解決できるが、移動体の死角から接近する移動障害物との衝突を回避することは困難である。特に安全性が求められる自動走行可能な乗り物にとって、この問題を解決することは必要不可欠である。

本研究では、SUVをATの拡張センサーとして用いることでこの問題を解決する手法を実現した。具体的には、ATが走行する経路上で、死角等があり特に走行に注意すべき場所を自動で検出し、その場所に小型無人移動体が自律的に移動し、ATの代わりに周囲の状況をセンシングすることで、ATの安全自動走行を可能にする方法である。本研究では、これまで解決が困難であった問題に対して新たな手法を提案し、それを実機によって実現した。さらに、本研究が対象とする問題は、本来は提案手法を用いることで安全性がどの程度向上したかを評価するべきだが、安全性を定量的に評価することは困難であるため、その手法を構成する各要素技術に関して精度の評価を行い、提案手法が十分に妥当であることを示した。

### ②SUVの拡張と注意区間の自動検出

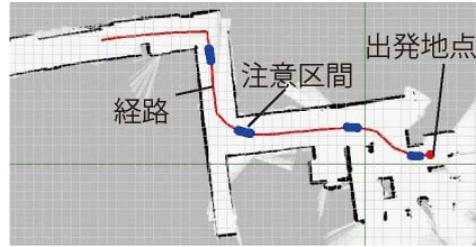
前年度に開発した小型無人移動体SUVを拡張し、下図に示すようにKinectと呼ばれるデ



バイスを搭載した。Kinectは平面上の障害物までの距離が計測できるレンジセンサーと異なり、物体の形状認識に適しているため、特に

歩行者の認識に用いた。このSUVを自動走行時の注意区間検出に用いた。注意区間とは、ある経路上を走行する際に、進行方向前方の視野外から接近する移動障害物と衝突する可能性がある場合、それを回避するために特に注意を払う必要がある、経路上の区間を指す。

この注意区間を環境地図から自動的に検出する手法を開発した。さらに、本研究では、その手法の精度を被験者実験によって検証した。注意区間の例を以下の図に示す。



SUVはこの仕組みで、これから走行する経路の注意区間を検出することができる。SUVはATよりも速い速度で自律走行を行い、注意区間の始点に差し掛かったときに速度を落とし、移動障害物の出現に備える。さらに注意区間の終点に着くと完全に停止し、ATが一定距離に近づくまでATの死角から接近する移動障害物を検出する。接近する移動障害物を確認した場合、SUVは移動障害物と衝突しない位置に回避し、移動障害物が通り過ぎるのを待つ。同時にATにも移動障害物を検出したことを伝達する。

### ③SUVによる3次元地図生成

本研究ではナビゲーションなどのインタフェースとしての利用が期待される3次元地図を、自動的に生成する手法を実現した。具体的には、SUVに環境中を自律走行させることでデータの収集を行い、収集したデータから3次元地図を生成する。データとはKinectによって取得できるRGB画像とDepth(深度)画像およびSUVの位置情報を指す。

3次元地図を生成するためには、収集したデータの重ね合わせを行う必要がある。本研究ではSUVが事前に環境地図を作成していることを利用し、従来のセンサーデータのみから重ね合わせを行う手法を拡張し、環境地図とも重ね合わせを行う手法を開発した。

### ④ATのジェスチャインタフェース

直感的で非接触なユーザーインタフェースとして、ATを手のジェスチャで操作する手法を実現した。これによって、常に操作のためのデバイスに触れている必要性がなく、より単純な動作での操作が可能となるので、搭乗者の負担を減らすことができる。

ATには全方位平行移動とその場回転の2種類の動作があるため、ジェスチャはそれら2種類の動作に対応した。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を操作する。また、搭乗者に対して、自身のジェスチャがどのように認識されているの

か分かるように、ジェスチャ認識結果に基づいたアニメーショングラフィクスを用いる手法を実現した。ジェスチャ認識結果だけではなく周囲の障害物に対する情報も提示することで搭乗者に注意を促すことができる。本研究成果によって、人間を身体的・情動的に拡張するための基盤技術が実現できたものと思われる。身体的には、個人の特性と適合した移動マシンによって、その運動能力が強化されると同時に、危険を回避するための認知的能力も補強される。また、情動的には、環境側の提供する情報を暗黙的に取捨選択する機能によって、移動中における情報処理能力が拡張されていると考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

①渡邊 賢, 長尾 確, 小型無人移動体との連携による個人用知的移動体の安全自動走行, 情報処理学会論文誌 (掲載決定)

[学会発表] (計 12 件)

①尾崎 宏樹, 渡邊 賢, 長尾 確, 小型無人移動体を用いた 3 次元地図の自動生成, 第 167 回 情報処理学会 知能システム研究会, 名古屋大学, 2012/3/21

②矢田 幸大, 渡邊 賢, 長尾 確, 個人用知的移動体のジェスチャインタフェース, 第 167 回 情報処理学会 知能システム研究会, 名古屋大学, 2012/3/21

③矢田 幸大, 渡邊 賢, 長尾 確, 個人用知的移動体のジェスチャインタフェースに関する研究, 情報処理学会 第 74 回全国大会, 名古屋工業大学, 2012/3/8

④尾崎 宏樹, 渡邊 賢, 長尾 確, 小型無人移動体を用いた 3 次元地図の自動生成に関する研究, 情報処理学会 第 74 回全国大会, 名古屋工業大学, 2012/3/7

⑤渡邊 賢, 長尾 確, 小型無人移動体との連携による個人用知的移動体の安全走行, 情報処理学会 第 74 回全国大会, 名古屋工業大学, 2012/3/6

⑥渡邊 賢, 長尾 確, 個人用知的移動体の安全走行のための注意区間検出, 第 16 回知能メカトロニクスワークショップ, 計測自動制御学会, 高知工科大学, 2011/9/2

⑦渡邊 賢, 井上 泰佑, 長尾 確, 小型無人移動体による個人用知的移動体のセンシング領域の拡張とその応用, 第 163 回 情報処理学会 知能システム研究会, 名古屋大学 2011/3/23

⑧渡邊 賢, 尾崎 宏樹, 矢田 幸大, 長尾 確, 個人用知的移動体の安全自動走行, 第 165 回 情報処理学会 知能システム研究会, 国立情報学研究所, 2011/1/12

⑨井上 泰佑, 渡邊 賢, 長尾 確, 小型無人移動体による障害物の探索と個人用知的移動体との連携, 第 161 回 情報処理学会 知能システム研究会, 国立情報学研究所, 2010/11/22

⑩長尾 確, 知能システムのこれから, 第 161 回 情報処理学会 知能システム研究会, 国立情報学研究所, 2010/11/22 (基調講演)

⑪安田 知加, 井上 泰佑, 岸 佳奈恵, 長尾 確, 知的移動体による美術館での鑑賞体験の個人化, 第 159 回 情報処理学会 知能と複雑系研究会, 名古屋工業大学, 2010/3/15

⑫安田 知加, 井上 泰佑, 岸 佳奈恵, 長尾 確, 自動走行可能な移動体によるミュージアムでの鑑賞体験の個人化, 情報処理学会第 72 回全国大会講演論文集, 東京大学, 2010/3/12 (学生奨励賞受賞)

[その他]

メディア報道 (計 4 件)

①番組名: 東海テレビ SKE48 あいちテル!  
日付: 2011 年 12 月 17 日 (土)

放送時間: 17:26~17:30

②番組名: CBC テレビ イッポウ

日付: 2011 年 11 月 23 日 (水)

放送時間: 16:50~19:00

③番組名: NHK ニュース 845 東海

日付: 2011 年 11 月 23 日 (水)

放送時間: 20:45~21:00

④番組名: 中京テレビ news every

日付: 2011 年 11 月 22 日 (火)

放送時間: 16:49~19:00

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

長尾 確 (NAGAO KATASHI)

名古屋大学・大学院情報科学研究科・教授  
研究者番号: 70343209

##### (2) 研究分担者

大平 茂輝 (OHIRA SHIGEKI)

名古屋大学・情報基盤センター・助教  
研究者番号: 60339695

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: