

個人用知的移動体の状況認識と その応用に関する研究

鬼頭 信貴

名古屋大学 工学部 電気電子・情報工学科

2004年2月

目次

第1章	はじめに	2
1.1	研究の目的と背景	2
1.2	本研究で提案するシステムの概要	4
1.3	本論文の構成	4
第2章	個人用知的小型移動体 AT	5
2.1	システム構成	5
2.2	操作法	8
第3章	実世界対象の認識	9
3.1	赤外線タグとカメラを用いた対象位置の認識	10
3.2	赤外線タグと読み取り装置	16
3.3	赤外線通信	17
第4章	実世界対象認識の応用	20
4.1	関連情報の提示	20
4.1.1	関連情報の取得	20
4.1.2	情報の提示法	21
4.2	対象の遠隔操作	24
4.3	AT の誘導	26
4.3.1	対象物までの距離の計測	27
4.4	知識の構築と利用	27
第5章	関連研究	30
5.1	センサー携帯型の対象物認識手法	30
5.1.1	Ubiquitous Talker	30
5.1.2	WalkNavi	30
5.2	センサー埋め込み型の対象物認識手法	31
5.2.1	Active Badge Location System	31
5.2.2	ALTAIR	31
5.2.3	Active Bat System	32
5.3	関連研究との比較	32

第 6 章	おわりに	34
6.1	まとめ	34
6.2	今後の課題	34
6.2.1	機能の統合	34
6.2.2	認識方法の併用	35
6.2.3	装置の小型化	35
6.2.4	赤外線の指向性	35
6.2.5	対象認識の精度	36

概要

AT (Attentive Townvehicle) は、搭乗者である人間や、自分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指した、情報的に強化された乗り物である。本研究では、搭乗者を取り巻く環境の一つとして、AT の周囲に存在する物理的な対象を考える。それらの対象に与えられた ID に基づいて AT がそれらを認識し、関連情報を検索すると同時に、AT からそれらの対象への距離や方向を知るシステムを構築した。このシステムは、赤外線信号を送信する小型の赤外線タグを対象の表面に貼り付け、赤外線信号の受信装置を持った AT が赤外線タグからの赤外線信号を読み取ることで対象の ID を取得する。この仕組みを応用して、AT に搭載されたカメラから得られる映像に、認識された対象に関連する情報を重ね合わせて表示するシステムを構築することで、対象を単に見ただけでは知ることのできない情報を搭乗者に提示することが可能である。また、移動体が物理的な対象物の認識を行うことによって可能となるさまざまな応用についても考察を行った。

第1章 はじめに

1.1 研究の目的と背景

情報化社会と言われて久しい。今日では、膨大な情報を WWW (World Wide Web) などを用いることで手に入れることができる。ここで、得られる情報の中には、具体的な「物」と対応付けられるものも多く存在する。たとえば、お店の情報は、物理的なお店に対応しているし、書籍の評判も本に対応している。また、個人の書く日記も人間という物理的な存在と対応付けられる。しかし、現在の WWW など、情報を扱う仕組みでは多くの場合、情報の操作が実世界に直接影響を与えることはなく、情報の世界のみで完結している。

たとえば、情報の世界の中の何か(お店の情報など)をみて、それに深く興味を持ったとしても情報の世界だけではそれを体験することは難しい。古くは通信販売、最近では WWW での書籍販売 [1] などは情報の中の世界と物理的な世界とをつなげるひとつの手法として定着しているが、その手法で可能となることは限られる。それは、その手法で対応できるのは運搬できる物に限られるためである。つまり、おいしい料理を自宅まで運んで持ってきてもらうことは可能だが、おいしい料理を出してくれる料理店を持ってくることはできないのである。そこで、より一般的に、情報の世界と物理的な世界をより滑らかにつなぐ方法が求められている。

情報と、それが参照する物理的な対象を密接に関連付けるためには、物理的対象がもつ性質が問題となる。それは、物理的対象を移動させる、あるいは、物理的対象の位置まで移動する手間が無視できないということである。通信販売やインターネットショッピングでは対象物の運搬という手段を用いたが、本研究では移動体を用いて人間を動かすという発想で情報と実世界の関連付けの方法を探っている。つまり、乗り物に情報処理・通信機能を持たせ、情報処理と物理的な行動を連動させる、いわば Mountable Computing (搭乗型コンピューティング) という発想である。

また、一方で、それ自身が物理的な対象である移動体を情報技術で強化し高度な輸送手段となることが可能である。たとえば、搭乗者個人の嗜好や特性を蓄積していくことによって、乗りやすい仕組みを構築することが可能になる。また、乗り物の周囲にある実世界の対象物を認識し、個人の嗜好とを考え合わせ、興味を持ちそうな情報を搭乗者に提示することで、より有用な乗り物とすることが考えられる。

以上のことを考慮して、AT (Attentive Townvehicle) という小型の知的移動体を研究・開発した。AT は、搭乗者である人間や、自分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指した乗り物である [2]。AT の開発には車体の開発だけではな

く、物理的・情動的なインフラの設計や実現が不可欠となる。本研究もこのようなインフラの設計と実現の一部をなすものである。

物理的対象を運搬するのではなく、人を物理的対象まで運ぶことで情報と実世界の関連付けをするという構想を実現させるためには、たとえば、移動体によって人を自動的に物理的な対象物まで運ぶことが必要とされる。もし、あらかじめ地図が与えられているのであれば、それにしたがって移動することで目的の場所まで到達するのはそれほど困難なことではないと思われる。しかしそれだけでは不十分である。それは真っ暗な場所で照明を使わないで歩き回っているのと同じである。危険であるし、本当に目的の対象物が地図の示す場所にあるかも分からず、外見が類似しているものが多数並んだ状態ではどれがその対象物かは分からない。

したがって、移動体の周囲の状況を認識することは必要不可欠である。特に、安全に移動するための障害物の検出と、移動体の周囲に存在する対象物を認識するような仕組みが必要とされる。本論文では、後者の仕組みの実現について中心的に述べる。この仕組みは、先に述べたような周囲の対象物を認識し、搭乗者に情報を提示する際には必須の技術となる。

これまで、実世界の対象物を認識して、その情報を利用する試みとして拡張現実感システムの研究などが盛んに行われてきた。対象物の認識以外に、人間の位置を認識して、利用する研究としては、赤外線を発するバッジを用いる Active Badge [3] や超音波を用いる BAT [4][5]、タグなどを用いないでカメラのみを用いて映像から人間の位置を認識する研究 [6] などが行われてきた。しかし、これらのシステムは物理環境側にセンサーを埋め込む必要があり、導入が比較的困難であると考えられる。また、画像処理のみを用いる方法では個々の物体を厳密に識別することが困難である。そのため、同じ形状であっても別の「物」であれば異なる種類の ID を付けそれらを別のものとして扱うこと想定している本システムには適用することはできない。

一方で、人間ではなく対象物に赤外線のタグを貼り付ける研究 [7] や、対象物に視覚的タグを貼り付け、カメラを使って対象物を認識する研究 [8] も行われてきた。これらは、設置は比較的簡単にできるが、それらは HMD (Head Mounted Display) などの身体装着型の装置を用いてシステムを実現していたり、小型の液晶ディスプレイを使うことで実現され、それを持ち歩くことが必要とされたり、また、屋外で使用することができなかつたりした。これらの研究では、体にさまざまな装置を装着するため、装置の重みや違和感などにより体の自由が損なわれるという問題点があった。また、利用者に対して情報を示す方法としても、これまでディスプレイに表示することや音声で知らせるなどの方法しかなかったが、移動体上にシステムを構築したことによって乗り物の向きを変えたり対象物の方向に向かって走るなどの物理的行動によって情報を提示する方法も可能となる。

これらの点で、乗り物である AT 上に構築した、本システムのような対象認識システムは有用であると期待される。

1.2 本研究で提案するシステムの概要

本研究は、知的小型移動体 AT の周囲に存在する対象物を認識する手法と、その手法を用いたアプリケーションを開発することを目的としている。このシステムでは、実世界対象を認識する方法として、ユニークな ID を赤外線信号で送信する赤外線タグを対象に貼り付け、赤外線センサーアレイが搭載された AT で読み取るという方法をとっている。このとき、赤外線信号の指向性を用いて対象物の方向も読み取ることができる。

この ID を元に対象物の関連情報を得て、その情報を搭乗者の目の前にある液晶ディスプレイに提示するなどの応用を行っている。

それ以外にこの技術の将来的な応用としては、1 つには複数の AT が協調して実世界の対象物の位置のマップを作ることが考えられる。AT は地面に設置された RFID (Radio Frequency Identification) タグを認識ことによって、自身のだいたいの位置を知ることができる。そこで、その周囲を走ることによってその位置にある対象物を意識的あるいは無意識的に認識することができるのである。さらに、その情報を複数台の AT 間でネットワークを介して共有することで、多くの対象物の位置等の情報が徐々に獲得されていく。

また、このシステムによって、対象物の位置に AT を移動させたり、人間が赤外線タグを持ち、AT を誘導することなどが実現できる。

1.3 本論文の構成

本論文は2章以降、次のような構成になっている。まず第2章では、本研究のプラットフォームとなっている知的移動体 AT に関して述べる。第3章では、実世界の対象物を認識する方法として赤外線タグを用いる方法を提案し、その手法を述べる。第4章では、前章の手法を用いたいくつかの応用システムについて述べる。第5章では関連する研究を紹介し、本研究との比較について述べる。最後に、第6章でまとめと今後の課題について述べる。

第2章 個人用知的小型移動体 AT

AT (Attentive Townvehicle) は、搭乗者である人間や、自分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が可能な個人用の乗り物である。AT の開発は物理的・情報的なインフラの設計や実現を含めて進められ、本研究もその一環として位置づけられている。本研究以外にも複数台の AT 間での連携走行の研究 [9] や、RFID タグを用いて場所や対象に関する ID を取得し、関連情報を提示する実験などが行われている。

同様の研究としては、人の移動をより高度に支援することを目指した ITS (Intelligent Transport Systems) [10] や、ITS の中でも特に歩行者の移動を考えている歩行者 ITS [11] などが存在している。これらは、現在の車や道路等のインフラに適合する形での高度化を目指している。したがって、屋内も屋外も走行するような乗り物である AT の目指すものとは異なる方向性を持っている。また、ネットワーク技術の利用は、各移動体が情報インフラを通じて情報サービスを受けるためのものであり、AT が目指すような搭乗者同士のコミュニケーションや移動体間のアドホック通信とは異なる方向に焦点が当てられている。

2.1 システム構成

AT は主に軽量化を図るためアルミ材でフレームを構築し、車輪には電動車椅子用のものを装着して、それを移動体の動力として使用している。AT は屋内、屋外どちらでも人を乗せたまま移動できることが前提であるので、車体は一般的な扉やエレベータの入り口を通り抜けることができる幅に抑えられ、さらに、エレベータに乗り込めるような長さに抑えられている。

AT には立ち乗り型で、電動雲台つきカメラやタブレット型情報端末を備えた高機能なタイプ A (図 2.1) と、立ち乗りや座り乗りまたは荷台へと変形が可能なタイプ B とがあるが、本研究ではタイプ A の AT を用いてシステムの実装を行っている。

写真を見て分かるように、タイプ A のタブレット型情報端末は、搭乗者が乗り込んだときちょうど見やすい位置に装備されている。同様な機能をタイプ B では PDA (Personal Digital Assistant) を用いて実現しているが、表示面積が小さいために機能には制約がある。ただし、PDA は小型のため、AT から降りてからも取り外して携帯することができる。そのため、PDA の携帯時に個人情報を入力したり、行動の記録をとることで、AT をより個人に特化した乗り物にするという応用が考えられている [12]。

AT のシステム構成を図 2.2 に示す。以下で述べるように、AT の操作は足の左右 2 つのペ

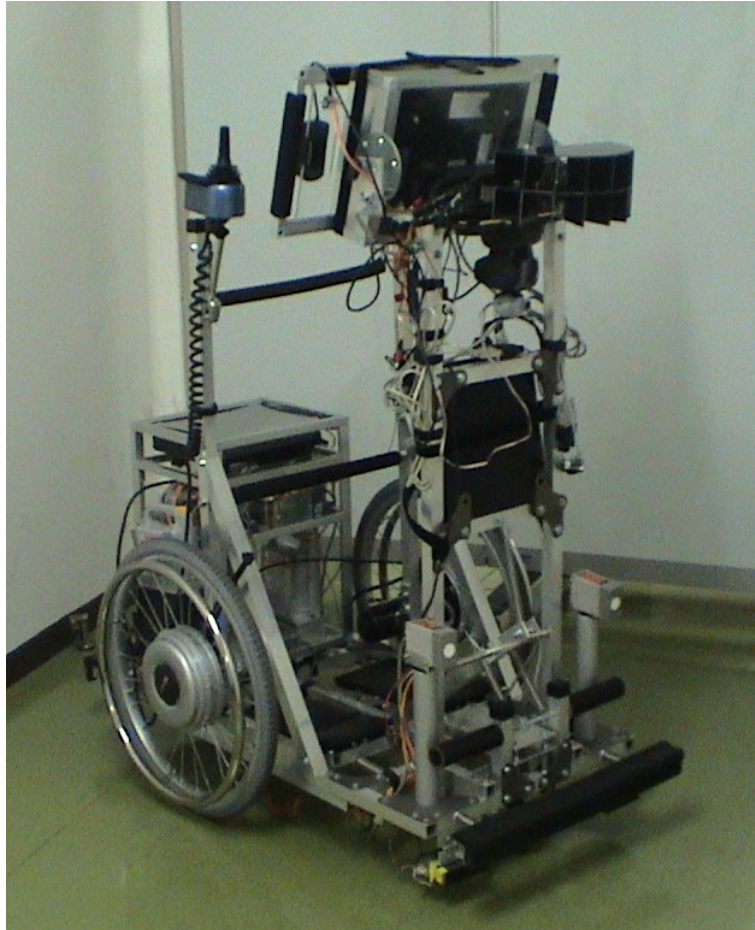


図 2.1: Attentive Townvehicle (Type A)

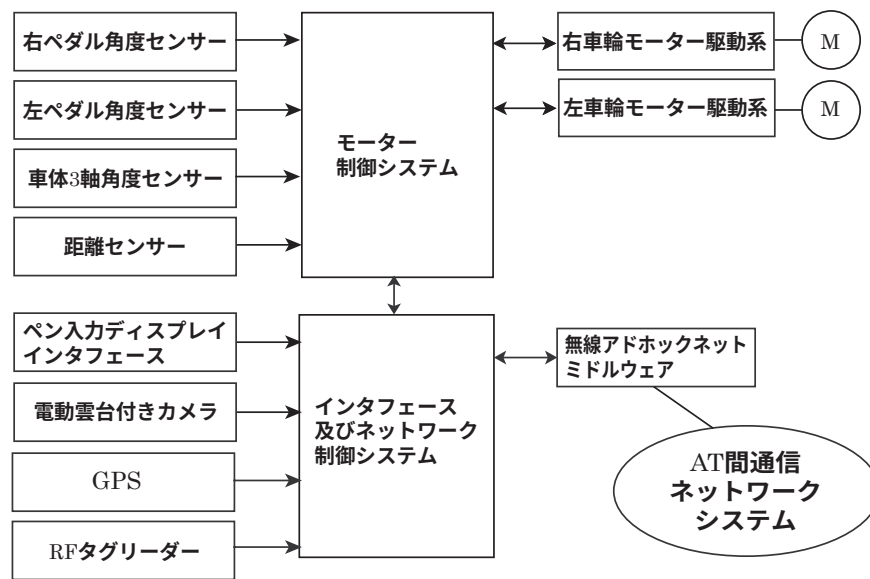


図 2.2: Attentive Townvehicle のシステム構成図

ダルによって行う。それを実現するために、ペダルがどの程度踏み込まれているか調べるための角度センサーがそれぞれのペダルの裏側に1つずつ装備されている。しかし、斜面ではペダルが踏み込まれていなくても、計測値からでは踏み込まれている状態と区別できないので、斜面であることを検出するためにペダルではなく車体側に3軸の角度センサーを装備している。この3軸角度センサーは、yaw, pitch, roll の直交する3つの軸の角度を知ることができるセンサーである。このセンサーは、自律走行を行うときに車体の方向を知る目的にも利用される。ほかにも、モーターに内蔵されたエンコーダを監視する装置が搭載されており、これを用いて速度や走行距離、車輪の回転方向を検出している。

上に挙げたような、走行制御にかかわるセンサーや装置だけではなく、このほかに、AT車体下には、地面に埋め込まれたRFIDタグを認識できるように、RFIDタグリーダーが2個設置されている。これは、見通しの悪い屋外や屋内などGPSの使用できない場所で、ATの現在地を知るためのひとつの方法として使用されたり、情報の提示のトリガーとして用いられったりする。将来的には、UWB (Ultra Wide Band) などを用いて屋内でも詳細な位置情報を得ることが可能となると考えられる。

特に、タイプAのATには、衝突回避を実現するための超音波距離センサーや、屋外でATの位置を知るために必要となるGPSとDGPS (Differential GPS) レシーバーが搭載されている。超音波距離センサーは、超音波の送信機と受信機がペアになっており、送信機から出た超音波が反射して受信機に戻ってくるまでの時間から距離を算出するセンサーである。このセンサーは20cmから100cmまでの距離が計測でき。障害物が50cm以内にある場合には停止する。また、万が一障害物に衝突した場合のために、バンパーがATの前後に設置され、その衝突を検出できるようになっている。

さらに、タイプ A には個人認証を可能にする指紋センサーが搭載されている。この指紋センサーは個人を特定し、その人に適した操作感を実現するのに使われる。たとえば、現時点ではペダルを操作したときの加速・減速の具合を個人の熟練度に適した状態にするのに使われている。将来的には、それだけではなく個人の嗜好にあった情報を優先して提示するようにしたり、個人の過去の履歴から次に行う行動を予測するなどの利用法が考えられている。

2.2 操作法

AT の走行はペダルを使って足で操作する。ペダルを前に踏み込めば前に進み、後ろに踏み込めば後ろに進む。回転する場合にはペダルを両足で互い違いにすればよい。つまり、AT は両足だけを使って操作することができる。この方法は、自動車のように速度はペダルを用いて調節し、方向は手を使ってハンドルで調節するという方法では無く、両足がペダルをどのように踏み込んだかによって速度と方向が決まるという点でユニークである。これは、AT では搭乗者は情報端末を用いることが前提になっているので手を走行のために使用するのとは好ましくないからである。

第3章 実世界対象の認識

本研究で最も重要な部分は実世界対象の存在と方向を認識する手法である。これまで、カメラより得られる映像から画像処理を用いて対象を認識する方法 [6] や、超音波や赤外線などを発するタグを用いることで位置を検知する方法 [3][4] などが考えられてきた。しかし、これらの方法は実世界に適用するには適していない、大掛かりな設備が必要であるなどの問題があった。

本研究で提案するシステムでは、対象に貼り付けられた赤外線を発する赤外線タグと、カメラからの映像の画像処理を組み合わせることで対象の存在と方向を検知する。このとき、特殊な設備を部屋の中に備え付ける必要は無い。また、認識に必要な機器は移動体である AT に搭載するので身体的な負荷は受けない。

本システムで、使用した実世界対象の認識手法の概略を述べると次のようになる。まず、対象を一意に指定できるように ID を赤外線信号として発信する赤外線タグを対象に貼り付ける。その ID を AT に取り付けられた赤外線センサーアレイで読み取る。このとき、センサーアレイでの読み取り状況からどの方向に対象があるかおよその見当がつく。さらに、タグから送信されている赤外線信号を赤外線のみを通すフィルタをつけたカメラで撮影すると点として見えるため、さらに詳細な方向が分かる。さらに、その点の大きさがどの程度であるかを求めることで距離を知ることができる。

このシステムは図 3.1 のような構成となっている。赤外線センサーと赤外線 LED から構成される赤外線センサーアレイは赤外線信号送受信装置につながり、可視光フィルタが装

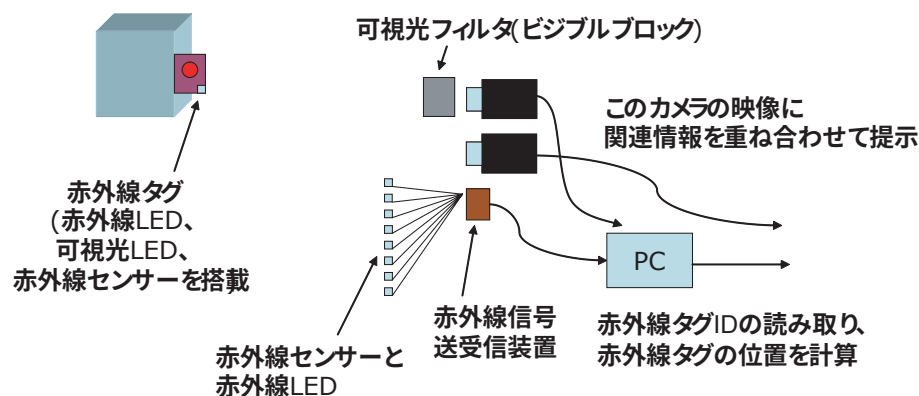


図 3.1: システム構成図

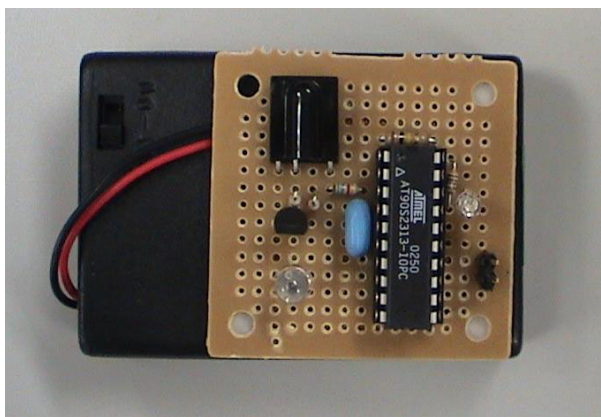


図 3.2: 赤外線タグ

着されたカメラと同様に PC に接続されている。この PC では、可視光フィルタがつけられたカメラからの映像を画像処理し、同時にセンサーアレイで読まれる赤外線タグの ID も受信を行っている。

この過程で得られる情報は、図中には載っていないがもう一台の PC に送られ、次章で述べるような対象物の関連情報を提示するためなどに利用される。

3.1 赤外線タグとカメラを用いた対象位置の認識

上に述べたように、対象に張り付けられた赤外線タグ (図 3.2) から発せられる赤外線信号は、AT に搭載されている赤外線信号送受信装置 (図 3.3) に接続された赤外線センサーアレイの 16 個のセンサーで読み取られる。このセンサーアレイは、赤外線信号を送信するための赤外線 LED、赤外線信号を受信する赤外線センサーと、センサーの読み取りに指向性を持たせるため、1 つ 1 つのセンサーごとに仕切りをするための光を通さない黒色の ABS 樹脂でできている。センサーは、図 3.4 のように 1 つの面に 8 個、これを 2 段に重ねて配置している。

図 3.4 を見ると分かるように、センサーアレイ中のセンサーはそれぞれ別の方向に向けられているため、どのセンサーで信号を受信したかによって AT から見た対象の相対的な方向を知ることができる。このとき、図中のとおり上段の左側から 8 番から 15 番、下段の左側から 0 番から 7 番までセンサーに番号をふると、下段のセンサー i で信号を受信したならば水平方向での対象の角度 D は

$$D = 11.25 + i \times 22.5$$

上段のセンサー j で受信したならば D は

$$D = 11.25 + (j - 8) \times 22.5$$



図 3.3: 赤外線信号送受信装置とセンサーアレイ

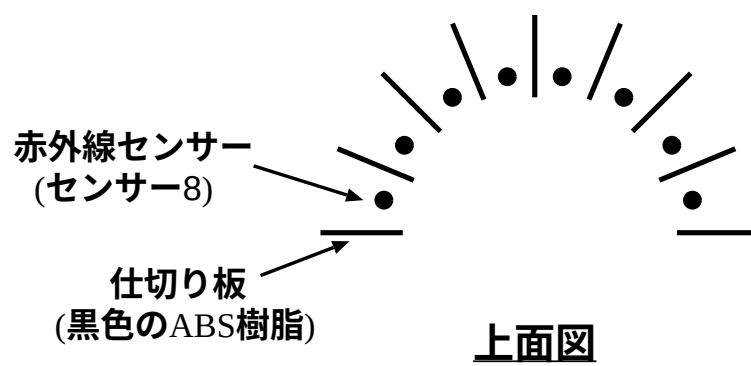


図 3.4: 赤外線センサーの配置

となる。ただし、単位は度で、方向は図 3.4 の左側を 0 度とおき、正面を 90 度と置いている。垂直方向の場合の角度 S は

$$\begin{aligned} S &= -7.5 \quad (\text{センサー 0 から 7}) \\ S &= 7.5 \quad (\text{センサー 8 から 15}) \end{aligned}$$

と仮定する。センサーは上下には 2 段しか並んでいないため、上下方向にはあまり正確な方向は出ない。しかし、水平方向と異なり、人間が対象物を見る時の垂直方向の角度の範囲はある程度絞られおり、大抵のものはこの 15 度 ($=7.5+7.5$) の範囲に入ると想像される。

上の変換式を用いれば、対象物の位置がおおよそ分かるのであるが、対象が送信する ID をエンコードした赤外線信号は秒に数回という割合でしか発信されないため、単純に考えると赤外線信号が出ていない瞬間には対象を認識することができない。

そこで、センサーアレイで読み取った結果に寿命をつけ、寿命が尽きるまではまだ有効な結果であると判断する方法を用いた。現在有効な対象をリストとして保存しているが、その情報の更新手順を箇条書きで示す。

1. リストの各要素を調べ、同じセンサーで読まれた同じ ID の要素がすでにあれば、その要素の生存時間を 0 にする
2. リストの各要素を調べ、同じセンサーで読まれた同じ ID の要素が無ければ、新しい要素を作り、生存時間を 0 にする
3. 一定時間ごとに、生存時間を増やし寿命を超えたものをリストから削除する

これで、現在有効なデータを更新し続けることができる。このリストの情報から、搭乗者が見ているカメラ映像の中での画面上の座標を計算する。この座標点は、搭乗者に対象の関連情報の提示を行う際に必要となるものである。計算するには、つぎの 4 つの値が必要となる。

1. 対象の方向 (垂直方向の角度 D 、水平方向の角度 S)
2. 雲台の方向 (垂直方向の角度 D_r 、水平方向の角度 S_r)
3. カメラの水平画角 (Hl) と垂直画角 (Vl)
4. カメラ映像の縦幅 ($height$)、横幅 ($width$)

使用した電動雲台つきカメラ (Sony EVI-D100) の垂直画角はズームしていないとき、仕様から 65 度で、垂直画角はカメラから得られる映像の縦横比から推定され、48.8 度と計算できた。なお、ズームしたときには画角の値が変わるが、ほかの値はズーム前と変わらない。

計算の手順としては、まず、対象の方向から雲台の方向を引くことで、カメラから対象への相対的な方向を出し、その方向がカメラ映像の中のどの座標に対応するのか計算するのである。そのためにはまず、対象の方向を算出する必要がある。上に書いたように、IDとそのIDを読み取ったセンサーの対はリストとして保存されているので、初めに挙げた式から対象の方向が分かる。ただし、ATが移動したときなど、1つのIDを複数のセンサーで読み取る場合がある、その場合には、平均を取って方向を出す。ここで、カメラから対象への相対的な方向を D_c (水平方向の角度)、 S_c (垂直方向の角度) とすると

$$\begin{aligned} D_c &= D - D_r \\ S_c &= S - S_r \end{aligned}$$

で求められる。この方向がカメラの映像中のどの座標点に投影されるかは次の式で求められる。左上を原点とする座標系で y は下向きに伸びているとき、 (x, y) に対応付けられるとすると x, y は

$$\begin{aligned} x &= \frac{\text{width}}{2} \times \frac{\tan(D_c)}{\tan(\frac{\theta}{2})} + \frac{\text{width}}{2} \\ y &= -\frac{\text{height}}{2} \times \frac{\tan(S_c)}{\tan(\frac{\phi}{2})} + \frac{\text{height}}{2} \end{aligned}$$

で計算される。

ただし、赤外線センサーアレイによって得られる、対象の方向は大雑把なので、より正確な方向を得るために搭乗者提示用のカメラと同じ向きに、赤外線のみを通すフィルタをつけたもう1台のカメラを設置した。このカメラを通すと赤外線タグ上の赤外線LEDは白い点として見え、背景は黒く映る。この映像のフレームを切り取って画像処理を行う、手順は次のように進められる。

1. **閾値処理**: 蛍光灯などからも弱い赤外線が放出されるため薄く映ってしまう。それらを取り除くため、適当な値を閾値として閾値処理を行う。
2. **2値化**: 閾値処理で得られた結果を元に、画像を明るい1の点と、暗い0の点というように2つの値で置き換える。
3. **ラベル付け**: 明るい点の集まりに番号をつけていく。それらの1つ1つが対象の存在する方向の候補となる。
4. **ラベルの中心座標と面積の計算**: 明るい点の集まりの1つ1つのピクセルの座標について平均を計算することでラベルの中心座標を求める。同時に、対象までの距離を推定するためにラベルに含まれるピクセル数を計算する。

対象までの距離は、赤外線フィルタを装着したカメラで撮影した際の、赤外線LEDの点の大きさから算出している。これは、点の大きさと対象までの距離は反比例の関係になることを利用している。ただし、電池の消耗による赤外線LEDの輝度の低下や、カメラに映

る際のサンプリングのタイミングの問題などによって対象までの距離と画像上での点の大きさが対応しない場合があるため、距離の値がふらついてしまった。そこで、次章では距離を計測する別の方法について考察を行っている。

また、この処理には搭乗者提示用のカメラとは異なる種類のカメラを用いているため、画角とカメラ映像の大きさが異なる。そのため、補正を行わないと搭乗者に提示する映像の中のどの座標点に対応するのか分からない。そこで、画像処理に用いるこのカメラの垂直画角を VL' 、水平画角を HL' 、幅を $width'$ 、高さを $height'$ とおくと、座標点 (x', y') は次のようにして、おおよそ搭乗者提示用カメラの座標点 (x, y) に変換できる。

$$\begin{aligned} x &= \left(\left(\frac{x'}{width'} - \frac{1}{2} \right) \times \frac{HL'}{HL} + \frac{1}{2} \right) \times width \\ y &= \left(\left(\frac{y'}{height'} - \frac{1}{2} \right) \times \frac{VL'}{VL} + \frac{1}{2} \right) \times height \end{aligned}$$

これまでの処理からカメラ映像から画像処理を用いて対象位置の候補が得られた。しかし、これも赤外線センサーアレイから得られる ID の情報と同じで、常に値が得られるわけではないため、有効な情報のリストを作り、情報に寿命をつけて管理する必要がある。具体的には、次の手順で行う。

1. リストの各要素を調べ、その要素から得られた点までの距離が近いときには同じ点だとみなし、その要素の生存時間を 0 にする
2. リストの各要素を調べ、それまでの点とは遠い場合には、新しい要素を作り、生存時間を 0 にする
3. 一定時間ごとに、生存時間を増やし寿命を超えたものをリストから削除する

カメラでは赤外線信号を読み落とすことが多いため、情報の寿命は長めにとっている。これは、赤外線信号の送出にかかる時間が短く、カメラのサンプリング間隔と合わないためだと考えられる。ただし、情報の寿命を長めにとると、AT で移動したときに古い情報がしばらく残ることになるため好ましい方法ではない。この問題は、赤外線タグから赤外線信号を送信する頻度を高くすることである程度避けることができる。しかし、赤外線タグの電池寿命が著しく短くなるというトレードオフの問題となるため、それほど頻度をあげることはできない。

こうして得られた、対象の細かい位置の情報をセンサーアレイで得られた ID の情報と組み合わせる必要がある。手順は次のようになる。

1. センサーアレイで得られた ID について、推定されるカメラ画像上での座標と、画像処理で得られた点とを比較して一定の閾値以下になっていて、一番近いものを選ぶ。
2. その点と ID が一致しているとみなす。ただし、すでにその点が別の ID と一致している場合には近いほうを選び、遠かったほうは無効にする。

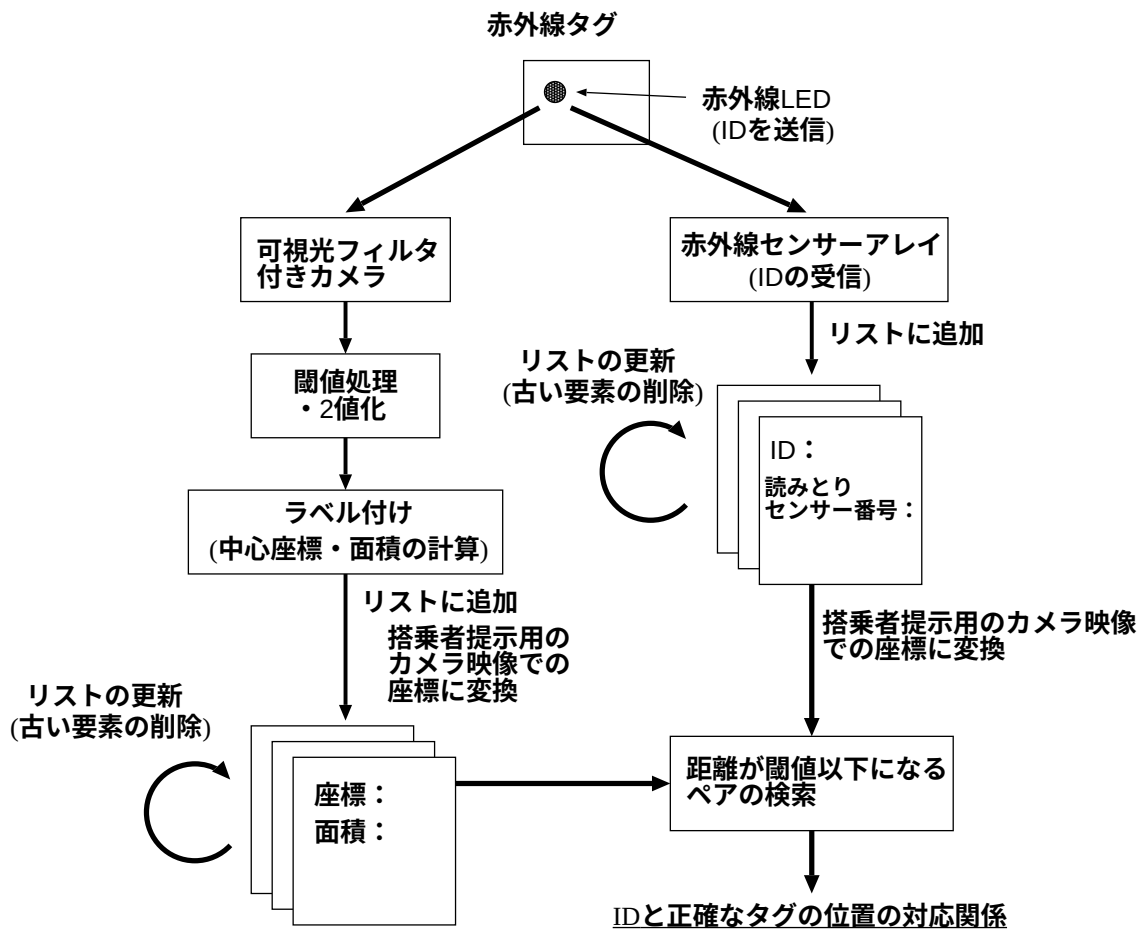


図 3.5: 対象認識手順の概要

これまでの対象位置の認識手順をまとめると図 3.5 のようになる。

注意すべきなのは、カメラの視野の外にある対象については細かい位置を知ることができないという点である。

また、赤外線センサーアレイの中心と、雲台の回転の中心とは物理的な制約からずれやすい。しかし、位置を離しすぎると対象の方向によっては位置の認識がうまくいかなることがある。特に、近距離にある対象ではそれが強く現れる。したがって、センサーアレイとカメラは近づけて設置することが必要になる。センサーを増やし垂直方向にもセンサーを多くつけるようになると、取り付け位置の物理的な制約が厳しくなるため、カメラを設置する位置についての考慮が必要になる。

3.2 赤外線タグと読み取り装置

赤外線タグは、8bit の固有の ID を持ち、タグ上の赤外線 LED からその ID を送信する小型の装置 (図 3.2) である。ID は 1 秒間に数回程度の頻度で常に送信され続けている。それと同時に、赤外線タグは赤外線信号の受信も同時に行い、ID に依存した特定の赤外線信号によってタグ上の可視光の LED が点灯するようになっている。

まだ実装は行っていないが、双方向通信が行えるため AT が近づいたときだけ ID の赤外線信号を送信するようなものとする 것도可能である。そのような双方向の通信をすることによって電池の寿命を延ばすことが可能となる。

また、ここでは ID を 8bit にしているが、ID のビット数を大きくすることも可能である。

赤外線タグの回路は図 3.6 のようになっている。使用したマイコンは Atmel 社の AT90S2313-10PC で、このマイコン用のクロスコンパイラとして gcc version 3.3.1 [13] を用いて C 言語でプログラムを開発した。遠くからでも対象の位置が分かるようにするため、LED が明るくなるよう LED に流れる電流が大きくなるような設計になっている。電源は、単三乾電池を 3 本直列につないで 4.5V として使用している。赤外線センサには 3 つの端子 V_s , GND, OUT があるが、 V_s と GND はそれぞれ電源端子とグラウンド端子で、OUT が出力端子である。タグには、ジャンパピンがつけられているが、これは赤外線を使って赤外線タグに ID を書き込むときに使用する。誤って ID を書き換えないようにするためである。赤外線タグの ID はマイコン内の EEPROM (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory: 不揮発性の半導体メモリ) に保存されるので、電源をつないでいなくても ID は保持される。

AT に搭載されている赤外線信号送受信装置 (図 3.3) は Altera 社の FPGA (Field Programmable Gate Array) EP1C12Q240C8 を用いている。また、回路の記述には VerilogHDL を使い、コンパイルには Quartus II Version 3.0 Web Edition を使用した。

この装置には 16 個の赤外線センサーと、赤外線タグに向けて赤外線信号を送信するための 16 個の赤外線 LED で構成されたセンサーアレイが接続されている。この装置にはシリアルインタフェースが用意されており、PC とシリアル接続で接続して使用する。

装置は、センサーで読み取られた赤外線信号をデコードして得られた赤外線タグの ID を

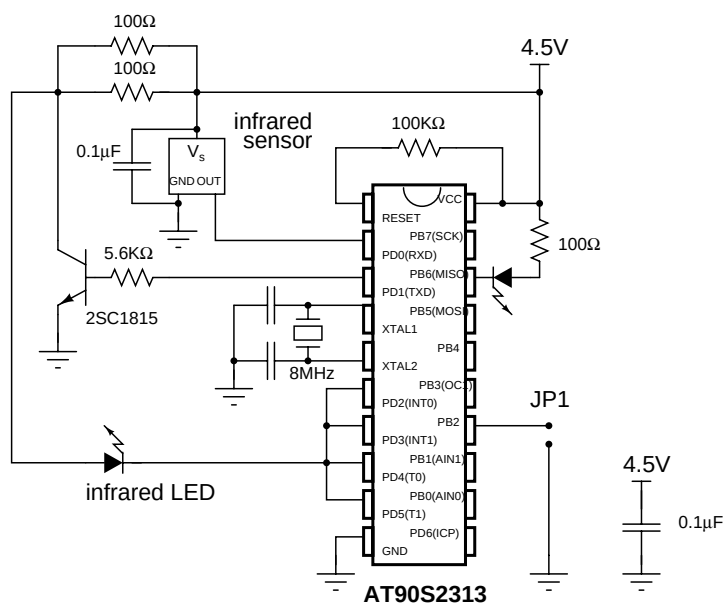


図 3.6: 赤外線タグ回路図

PC に送り、タグ上の可視光 LED を点灯する場合には、PC 側から ID を装置に送ることでエンコードして赤外線信号として送信する働きをする。

3.3 赤外線通信

赤外線タグと AT との間では赤外線を用いて数バイトのコマンドを送受信している。赤外線 LED は点灯と消灯の状態しか持たないので、モルス信号のように点灯・消灯の組み合わせで送信するのである。そのため、どのような形で消灯と点灯を組み合わせでコマンドを送信するかを決める必要があることが分かる。本章では、AT と赤外線タグとがどのようにデータを通信しているかを述べる。

AT と赤外線タグとは数バイトデータを送り、そして受信しているが、それらは 1 バイトの送信または受信を繰り返すことで達成している。AT が赤外線タグに向かって、可視光の LED を点灯させたい場合には、1 バイトずつ数回に分けてコマンドを送っていくことが必要ということである。ここで、まずはじめに 1 バイトずつの通信がどのようになされているのかをみてから、その後、AT-赤外線タグ間の通信の内容について見ていくことにする。

赤外線タグと AT との間でやり取りされる赤外線信号は、赤外線タグ上のリソースを最大限に使うため、PC で使われるシリアル通信と同じ形式で送受信を行う。これは、今回使用したマイコンにはシリアル通信を行うための UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) モジュールが組み込まれているため、このモジュールを用いることで容易に

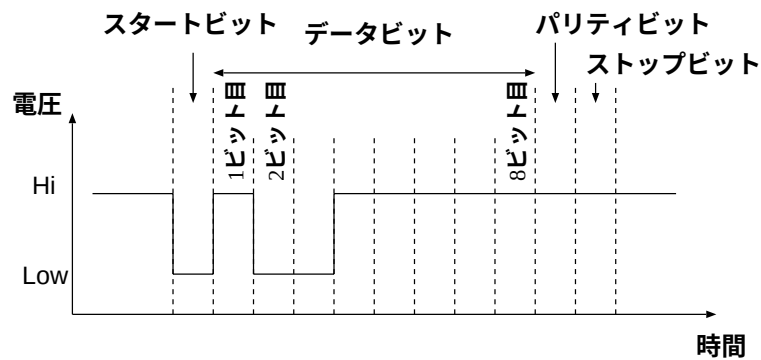


図 3.7: シリアル通信

効率的な通信を行うことが期待できるためである。

なお、空中を光で通信するため、ノイズが入ることが十分考えられるのでパリティ付きの通信を行っている。通信速度は2400bpsとした。

パリティ付きのシリアル通信で1byteを送る際の信号を図にしたものが図3.7である。はじめにあるスタートビットは、データを送信する前にこれからデータを送信することを知らせるためにあるものである。データビットはLSB (Least Significant Bit: もっとも小さい桁) から送信することになっている。パリティビットは、奇数パリティとなるように設定している。つまり、データビットとパリティビットを含めてHiになっているビット数が奇数になるように設定するのである。こうすることで、ビットが反転するなどの障害に強くなる。

この図のLowを赤外線LEDの点灯、Hiを赤外線LEDの消灯に対応付けると赤外線LEDとセンサーで通信が可能となる。この割り当ては直感とは逆となっているが、ここでHiを赤外線LEDの点灯に割り当てると、信号を送信していない間は赤外線LEDが点灯し続け消費電力が大きくなるためである。

一方で、赤外線センサーの中ではノイズの影響を避ける目的で、38kHz周辺の周波数をよく通すようなバンドパスフィルタがかけられているため38kHzの信号を使って通信を行う必要がある。このときのセンサーの出力は図3.8のように38kHzの部分が消えて出力される。また、図3.8を見て分かるように、赤外光が無いときに出力の電圧が高く、光があるときに低い電圧が出力されるという仕様になっている。

したがって、図3.9のようにシリアル通信のデータを38kHzの信号に乗せたものをタグとATの間でやり取りをする。図3.9を見ると分かるように、シリアル通信でLowだった部分が38kHzでの赤外光の点滅に変わっている。この信号がセンサーで読み取られると、赤外光の点滅があるときにはセンサの出力電圧が低くなり、光が無いときには出力電圧が高くなるため、センサーで読み取られた結果は図3.7で示したような通常のシリアル通信の信号と形状が同じとなる。

この通信方法は、Lego社のMindStormsの赤外線通信で使われている方法と同じもので

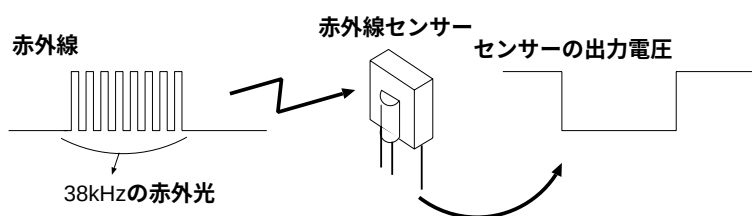


図 3.8: 赤外線センサーの入出力の関係

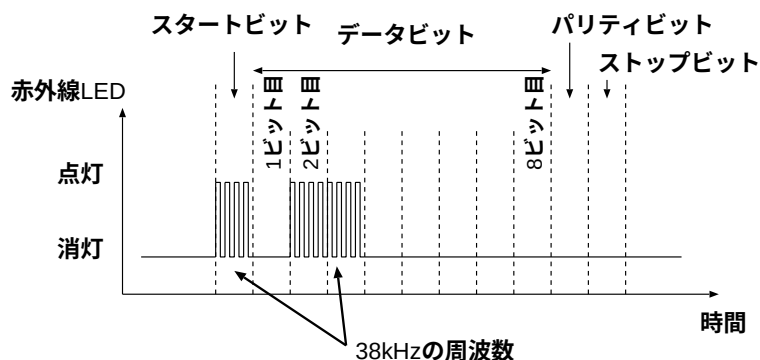


図 3.9: 赤外線通信

ある。この通信方法は、容易に RS-232 の信号と相互に変換することができるため、PC などと組み合わせて使うことが容易である。その一方で、テレビなどに使われているようなリモコンが使用している赤外線通信の方法とは異なっている。

以上のデータ送信法に基づいて、赤外線タグが送信する ID 情報のコマンドと AT 側からタグ上の可視光 LED を点灯させるコマンドを表 3.1 に示す。

数値は 0x で始まる 16 進数で書いている。たとえば ID が 1 のタグを光らせる場合には 0xaa, 0xee, 0x11, 0x01, 0xfe の順に赤外線で信号を送ればよい。

最小限の通信内容しかないが、これは、対象に対する、より複雑な操作は無線 LAN などの無線通信を使うことで伝達するという方針からである。赤外線の指向性をうまく使って対象を特定し、それに対する複雑な情報処理が必要な場合は、通常の無線データ通信を用いるべきだろう。

表 3.1: 赤外線通信で用いられるコマンド

コマンド	フォーマット				
タグから発信される ID 情報	0x55	0xee	0x11	id	0xff-id
タグ上の LED を点滅	0xaa	0xee	0x11	id	0xff-id

第4章 実世界対象認識の応用

前章の議論から、AT より実世界の対象物を認識することが可能である。この技術を用いて、いくつかのアプリケーションを構築した。また、この技術をベースにして将来可能になるシステムについても考察を行った。

ここではまず、2種類のアプリケーションについて述べる。1つ目のアプリケーションは得られた対象の情報から対象の関連情報を検索し搭乗者に提示するものである。2つ目は、認識された対象に対して操作を行うアプリケーションである。

それから、さらに2つの応用例を挙げる。これらは現時点では構想の段階ではあるが、本手法を応用することで可能となるものである。1つ目は、乗り物である AT の特性を活かし、赤外線タグを用いて AT を誘導する、もしくは、対象を追尾するものである。もうひとつは、走りながら対象物を認識する AT は対象の位置を含めた関連情報を徐々に収集していくが、複数の AT 間で情報交換を行うことによって物理的な検索を行うものである。

4.1 関連情報の提示

搭乗者の前方に取り付けられたタブレット型情報端末に認識された実世界の対象の関連情報をカメラ映像に重ね合わせる形式で搭乗者に提示するシステムを実現している。以下では、実世界対象の関連情報をどのように取得し、そして表示するかについて述べる。

4.1.1 関連情報の取得

第3章で述べたように、実世界対象に貼り付けられた赤外線タグから発信される赤外線信号を AT に搭載された赤外線信号送受信装置で読み取ることで、その対象につけられた ID を読み取る。したがって、この ID をキーとして関連情報を取り出すことができる。

具体的には、取得した ID をキーとしてローカルマシン上のデータベースを検索する。将来的にはネットワーク上のサーバーに問い合わせることで対象の関連情報を検索できるようにするべきであろう。

たとえば、認識した対象の ID が 208 で、何らかの手段でデータベースサーバーのアドレスが分かった場合、図 4.1 のように、そのアドレスに対して、決められた手順で、ID に対応した関連情報について問い合わせを行えばよい。

AT は移動体であり、屋内だけではなく屋外でも走行するため、ネットワーク環境が整っ

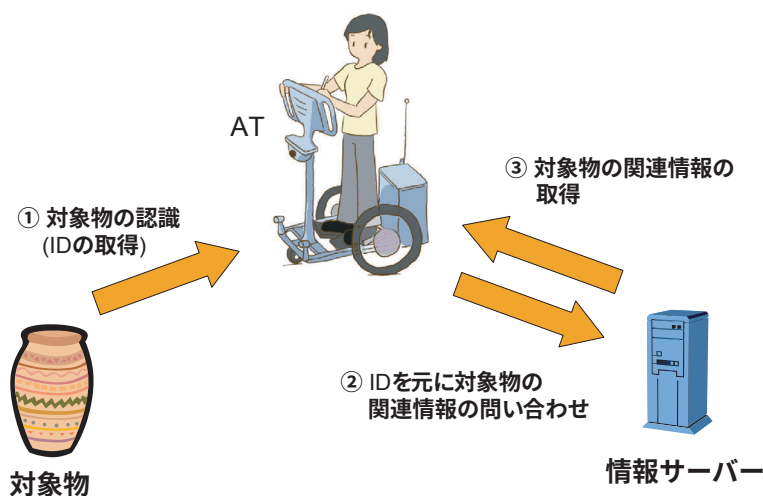


図 4.1: サーバーへの関連情報の問い合わせ

た場所だけではなく、屋外での局所的でアドホックなネットワーク環境をも想定している。したがって、本システムの関連情報のサーバーもアドホックなネットワーク環境を想定したものである必要があるだろう。

たとえば、インターネットにつながらないような屋外などを想定して、局所的なアドホックな無線のネットワークとそのネットワークにつながっているサーバーを使うことによって、その近辺にある対象物に関する関連情報を検索するのである。

この手法は、たとえば場所に局所的な情報を提供するためにも使うことができる。これは、情報を公開するとどこからでも見られるようにする、というこれまでのネットワークの目標とは違う方向性を持っている。しかし、どこからでも見られることが常に良いこととは言えない。そのときのためにも、このような方法が提供されるのが望ましい。

4.1.2 情報の提示法

ID を基にして得られた関連情報は図 4.2 のようなカメラ映像に重ね合わされた形式 (オーバーレイ) で搭乗者に提示される。

しかし、カメラの視野には入らない対象もあるため、認識されたすべての対象の関連情報は映像を表示するウィンドウの脇に一覧として提示している。また、映像ウィンドウ内に表示されている対象とそれ以外とを区別するために、図 4.3 のように関連情報の一覧につけられたアイコンの色を区別している。

これら以外にも、カメラ映像の右側と下側にスライドバーを付け、これを動かすことでカメラを上下左右に動かす機能がつけられている。

ウィンドウ内や、脇には対象物に関する名称等の簡単な情報が表示されるが、それらの対象物に関するさらに詳細な情報を搭乗者に提示する場合、対象物の関連情報の一覧の中

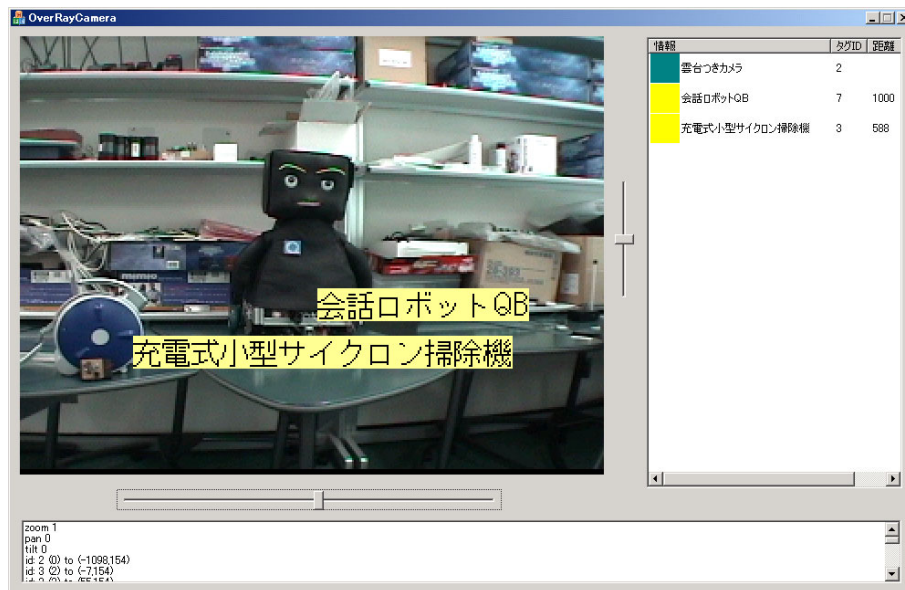


図 4.2: 関連情報の重ね合わせ表示

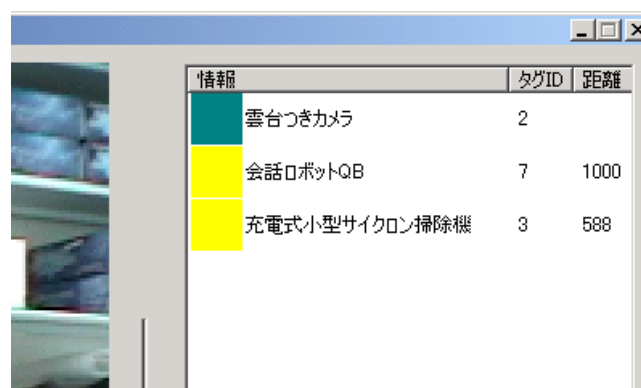


図 4.3: 認識された対象物の一覧

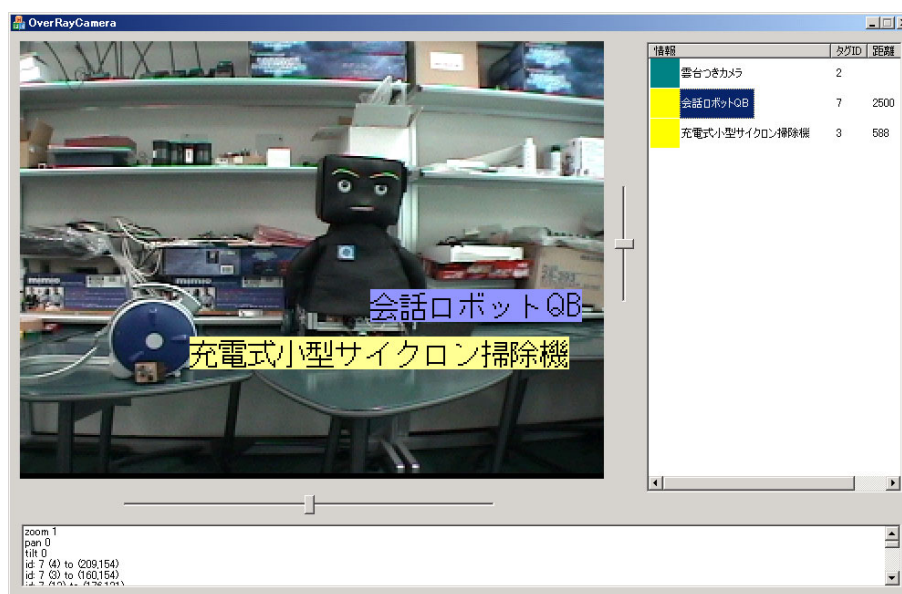


図 4.4: 対象選択時の関連情報提示

の任意の要素をクリックするとその対象のより詳細な関連情報を Web ブラウザを用いて搭乗者に示す仕組みになっている。そのとき、その対象物が画面内に映っていたときには、どの対象物なのかを示すために図 4.4 のようにオーバーレイして表示されている関連情報の部分の背景色が変化する。

対象が映像ウィンドウ内に現れていない場合、その対象物がどれなのか知りたい場面も考えられるので、表示された関連情報の一覧の中の要素をダブルクリックした時に以下の動作が行われ、対象物の位置が分かるようになっている。

- カメラ雲台を回転し、対象がカメラの映像の中心に来るように調整
- AT から赤外線信号を送信し、対象上の赤外線タグの可視光 LED を光らせる
- カメラを 2 倍のズームにして対象を表示
- 詳細な関連情報があれば、それを搭乗者に示すために Web ブラウザをひらく

その時、画面は図 4.5 のように表示される。カメラのズームがそのまま変わらないのでは不便なため、ウィンドウ内の任意の場所をクリックすることでズームを解除できるようになっている。

この図の例では、正しく対象が画面内に収まったが、ズームの倍率が固定となっているため場合によっては対象物が画面からはみ出してしまうことがありうる。それを避けるためには、対象の大きさと対象までの距離がわかっている必要がある。



図 4.5: ズーム時の対象物の提示

現時点では、認識された対象物をすべて画面脇に表示し、対象物が画面内に映っていたときにはその対象物に対する関連情報はすべて画面に重ね合わせた形式で表示する。しかし、それでは周囲に多くの対象物が存在する場合には画面が関連情報であふれるため、カメラ映像が見えなくなるという問題が起こる可能性がある。その問題に対応するために、情報提示に優先順位を考え、遠くにあると認識された対象は優先順位を低くし、近くにあると認識されたものは優先度を高くすることで、優先順位が高いものから順に画面にあふれない程度表示するという方法が考えられる。これは、画面脇に表示される認識された対象物のリストに対しても当てはまり、近くにあるものを上に、遠くにあるものを下に表示する方法が考えられる。

さらに、情報提示の優先度をもとめる別の方法として、個人の過去の履歴を用いる方法が考えられる。たとえば、毎日見て見慣れている対象物は優先度を低くし、初めて見るものは優先度を高くする。あるいは、何度も詳細な情報を必要としたならば高い優先度を与える、などのルールを用いるのである。

4.2 対象の遠隔操作

対象が電気製品であれば、遠隔で複雑な制御をすることが原理的には可能である。ここでは、簡単な対象の制御を試みている。これまで、対象に赤外線タグを貼り付けることを考えていたが、電気製品であれば、機器に赤外線タグの機構をあらかじめ組み込んでおくことが可能であり、電池が切れるという心配が無いいため、このシステムとの親和性は高い

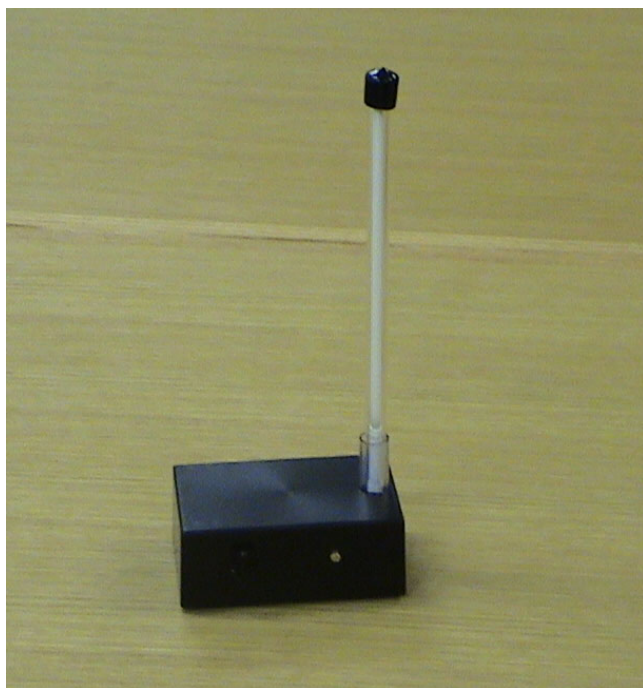


図 4.6: 赤外線タグの機能を内蔵した照明器具

と考えられる。

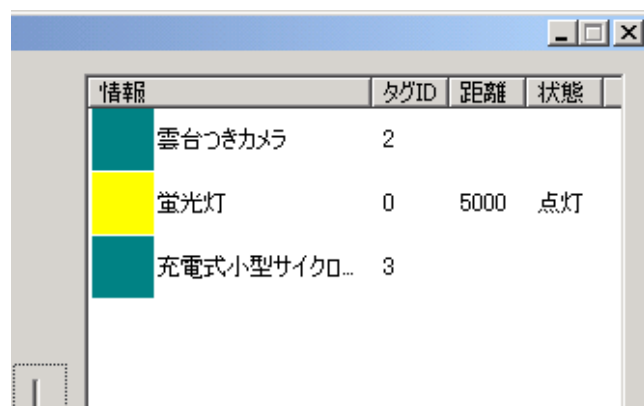
そこで、図 4.6 に示すような赤外線タグ機能を内蔵した照明器具を試作し、その照明器具を AT の上から操作できるようにした。ここでは、冷陰極管を用いて照明器具を製作している。

AT から照明器具の状態を識別できたほうが都合がよいと、状態ごとに別々の ID を用いた。つまり点灯しているときと、点灯していないときで異なる ID を送信するようになっている。こうすることで、部屋に入ったときに消えていた照明器具が点灯し、部屋を出るときに照明が消えるなどの操作を自然に実現することができると考えられる。

なお、先に述べた情報提示アプリケーションを拡張して、画面上で照明の点灯や消灯ができ、図 4.7 のように現在の状態を表示できるようにした。

ここでは、赤外線を用いて照明器具を操作を通信していたが、実際には無線通信を使ってこの機能を実現することが好ましい。なぜなら、赤外線で通信を行うよりは無線を用いて通信を行ったほうが汎用性があり、通信速度もより高速である。たとえば、将来的に AT から少し離れたコーヒーマーカーを操作してコーヒを沸かせ出来上がったところで搭乗者を誘導するというような仕組みを実現する場合を考えると、コーヒーマーカーのステータスの取得や操作などは赤外線通信で実現するのには向いていない。搭乗者がコーヒーマーカーから離れた場所で操作する場合もあるからである。

また、赤外線信号から ID を取得すれば対象物の識別は可能なため、それ以降の処理では無線通信を用いることは可能である。無線通信を使って対象物の操作やステータスを得



情報	タグID	距離	状態
雲台つきカメラ	2		
蛍光灯	0	5000	点灯
充電式小型サイクロ...	3		

図 4.7: 照明器具の状態表示

るときの枠組みをどのようなものにするかという問題点があるが、具体的には、先に述べたような、搭乗者に提示される Web ブラウザから対象を操作するような方法と、cogma (COoperative Gadgets for Mobile Appliances) [14] のようなモバイルエージェントシステムをベースとしたミドルウェアを用いる方法などが考えられる。

4.3 AT の誘導

本システムでは、対象の認識と同時に、AT から見た対象の方向が分かるためその対象の方向に AT を移動させることも可能である。

これは、たとえば、AT からコーヒーメーカーを操作して動かし、コーヒーが出来上がったところに、搭乗者にそれを伝え、自動的にコーヒーメーカーの位置まで移動できるようにする場合など、移動体としての AT の応用を考えるとときには必要となる。

たとえば、コーヒーメーカーまで移動するとき、大まかな現在位置は床に設置されている RFID タグを読み取ることで知ることができる。しかし、それだけでは、どれがコーヒーメーカーなのか知らずに AT は移動するため、最終的にコーヒーメーカーから少しずれた位置に到着する可能性がある。

そこで、このシステムを使用してコーヒーメーカーを探しその位置に正確に移動できるように補正するのである。このほかに、人間が赤外線タグを持ち、それを持ちながら歩くことで無人の AT を誘導することなどが考えられる。また、複数台の AT を連携して動かす実験が行われている [9] ので、赤外線タグによって複数台の AT を一列に並べて誘導することなどもできるようになるであろう。

本システムが対象を認識できるということは対象が発する赤外線が AT まで到達するということであるから、その場合、AT から対象までの間には大きな障害物は存在しないと考えることができる。

そのため基本的には AT を対象物の方向に向け、そして対象物に対して直線的に動けば

良い。このとき、その経路に障害物があった場合には、AT に接続された超音波センサーや、バンパーへの接触などによって認識されるため停止すれば問題は無いと考えられる。

ただし、この制御を行うためには対象物までの正しい距離が分かっていることが必要である。しかし、カメラに映る赤外線 LED の大きさだけでは対象物までの距離が不正確にしか分からないためその方法を考える必要がある。

4.3.1 対象物までの距離の計測

これまで、対象に対してひとつのタグのみを貼り付けてきたが、異なる ID を持つ複数のタグを対象に貼り付けることで、対象物までの距離を計測できる。タグ間の間隔データをあらかじめ ID と関連付けておけば、認識された時の映像内での間隔と比較し、スケールに関する計算を行うことで対象までの比較的正しい距離が認識できる。

ただし、関係ないタグがカメラ画像内に現れており、タグと ID の対応付けに失敗した場合、対象との距離を正しく計算できない場合がありえる。このような問題に対応するためには、たとえば以下の3つの方法が考えられる。

1. AT からの指示で赤外線タグ上の可視光 LED を点灯させ、可視光 LED の点灯前と点灯後でカメラ画像の差分をとることでタグの位置を検出する方法である。その結果、ID と位置の正しい関係付けが得られるので正確な距離を計測することができる。この方法では、可視光 LED が光るため、対象物の位置に誘導しているということが視覚的にも分かりやすい。
2. 他の対象物認識手法と組み合わせる方法も考えられる。たとえば、赤外線タグに特殊な視覚的タグを印刷するなどして、カメラに映るその視覚的タグの大きさからも距離を計測する方法である。
3. 誤って衝突しそうになった場合のためにセンサーを強化する方法である。現時点でも超音波距離センサーが接続されているが、センサーが比較的大きく、また超音波が出てから反射して戻ってくるまでの時間を計ることで距離を計測するデバイスであるので、対象物に凹凸面がある場合など、送信された超音波が戻ってこない場合には障害物までの距離を計測できないという問題点がある。したがって、さらに指向性は強いが小さい、光学的に距離を測る PSD (Position Sensitive Detector) センサーなども用いて衝突しないように対策することなどが考えられる。

4.4 知識の構築と利用

現時点ではこのシステムは、ネットワークを介して情報を検索するが、自ら新しい情報の生成は行わない。しかし、GPS や RFID タグなどを用いて AT が自らの位置を知っている

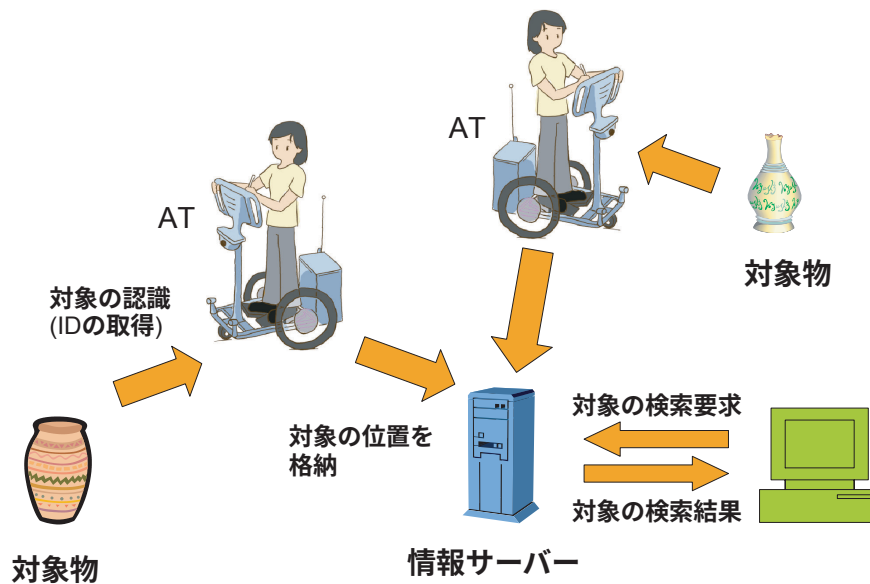


図 4.8: 実世界対象と位置の対応付けと検索

ことを前提とすると、さまざまな場所を移動し、同時に対象物を認識するこのシステムは、対象物とその位置に関する対応付けを知らない間に構築しているとも考えることもできる。

さらに、複数の AT 間でその情報を共有すれば情報は飛躍的に増え、対象物の物理的な検索にも応用ができるようになるはずである (図 4.8)。

ただし、対象物の位置が変わりうることも考えられるため、関連情報として移動の頻度などをあらかじめ与えておくことで対応することが可能である。また、認識されてから間もないものはその場所にとどまっている可能性が高いので、認識されてからの時間を見て存在する場所の確からしさを提示することも考えられる。

対象物を探すだけでなく、対象物に対する関連情報を強化する枠組みを構築する方向にも応用を考えることが可能である。たとえば、掲示板やアノテーションのような仕組みを用いることで搭乗者が少しずつ対象に関する情報を補足していくのである。ただし、乗り物に乗りながらその作業を行う必要があるため、たとえば音声入力などを用いて、簡潔で、なおかつ短時間でその作業が行われる必要があると考えられる。そういう意味で、このようなシステムの実現には、ユーザー入力に関するさらなる考察が必要になるであろう。

これまでは、システム全体としての知識の構築について考察を行ったが、個人のレベルでの経験の記録とその応用を考えることもできる。たとえば、この章のはじめに述べた対象物の関連情報を提示するアプリケーションでは、利用者のカメラの操作や、クリックの操作などで、搭乗者がどの対象物に対して興味を持ったかが推察される。

このような搭乗者の行動を記録しておくことによって、対象物の検索を行うなどの際には、過去に興味を持ったものが上位にくるようにするなどの応用が考えられる。

また、移動中にも対象物の認識をすることで、利用者がよく見ているであろう対象を推

察することができる。たとえば、搭乗者のオフィスの中にコーヒーメーカーがあれば、ATはそのコーヒーメーカーを何度も認識するはずである。そして、そのコーヒーメーカーは毎日見るため強く印象に残っているはずである。この場合も、搭乗者がコーヒーメーカーを検索する際には、オフィス内のコーヒーメーカーを先に提示するなどの工夫が可能となる。

さらに、コーヒーメーカーの使用頻度が高くなると、コーヒーメーカーの前を通るときにATが搭乗者に注意を促すなど、搭乗者側からではなく、環境側から自動的に、有用と思われる働きかけを行うなどの応用が可能となる。

第5章 関連研究

実世界の対象物を認識する際、あるいは、人間の位置を知る際には何らかのセンサーを必要とする。たとえば、赤外線センサーであったり、カメラであったりする。ここでは、対象物を認識する手法として人間がセンサーを携帯するものと、環境側にセンサーを埋め込むものとの大別しそれぞれについて関連する研究を取り上げた。

そして最後にまとめとして、今回取り上げていないものも含め、さまざまなシステムをさまざまな観点で比較し、本システムの優位点についての考察を行った。

5.1 センサー携帯型の対象物認識手法

5.1.1 Ubiquitous Talker

これは、拡張現実感を実現するために、Sony CSL の長尾 (現所属は、名大) らが作成したシステムである [8]。自然言語処理の過程で発話された状況や文脈が限定される仕組みを構築することで、言語の認識を容易にするという発想からシステムを構築している。

このシステムは、周囲を映し出す小型の液晶ディスプレイと、視覚的タグ (色分けされたバーコード) によって ID を付与された実世界の対象物を認識するカメラ、音声認識用のマイクと合成された音声を出力するスピーカーから構成されている。システムはディスプレイと音声によって対象物に関連する情報をユーザーに提示し、また、音声によって対象物に質問などの要求を行えるようになっている。

しかし、このシステムは、開発当時のマシンの制約から音声・映像処理用マシンと有線で接続されているため、どこにでも携帯できるものではなかった。

5.1.2 WalkNavi

WalkNavi は Ubiquitous Talker と同様に長尾らによって開発されたシステムである [15]。このシステムは基本的に、背負って屋外で使用することを想定しており、GPS と赤外線 ID を用いることによって利用者の位置を知ることによって場所に関連した Web ページを携帯ディスプレイに表示したり、音声や地図で経路案内を行う。

歩きながらシステムの操作に集中することは難しく、また、入力の手間を減らすために、このシステムは自然言語での対話によって操作ができるようになっている。

このシステムは、GPS、バッテリーをはじめ多くの機器を背負う必要があるため体力が必要とされるシステムである。その点で、AT は機器を背負ったりする必要が無いため利用者に優しい。

5.2 センサー埋め込み型の対象物認識手法

5.2.1 Active Badge Location System

Active Badge Location System は ORL (Olivetti Research Ltd, 現在の AT&T Laboratories Cambridge) で開発されたオフィス環境で人の位置を読み取るシステムである [3]。利用者は、各人の固有の赤外線信号を出すようなバッジを身に着ける。これは環境に設置されたセンサーネットワークで読み取られさまざまなサービスに利用される。たとえば、人の居場所とその人から一番近い電話の内線番号を一覧にすることで、電話の転送を効率化することなどが行われた。

このサービスを実際に ORL で使用したところ、電話の受付をした人が電話の転送のために人を探し回ったり、人の居場所をたずね回ったりする必要が無くなり、同時に、研究員も会議をひらく際の連絡がとりやすくなるなどの利点が確かめられた。

ただし、行動が自分の手の届かないところで記録され、そして使われることになるので、プライバシーについて気にかねる必要があるという問題点がある。しかし、このシステムは単にバッジのありかをトレースしているのであり、システムは利用できなくなるが、都合が悪いときはバッジをはずすという手段が用意されている。このような回避法があることについて開発者は、システムが受け入れられるためには重要なことだと考えているようである。

このシステムは、人間にバッジをつけ、環境側にセンサーをつけるという仕組みになっており、環境側の対象物にタグをつけ、人の乗る乗り物にセンサーをつけるという本研究での手法とは異なっている。そのため、人間が行動する範囲にセンサーをつける必要があり、広いオフィスでは設置するコストが大きくなるという問題がある。

5.2.2 ALTAIR

Active Badge と同様に、赤外線を発信するタグを用いて人の位置を認識する方法にはほかに奈良先端科学技術大学院大学の坂田による ALTAIR [16] がある。このシステムでは、タグの検出にカメラのみを用いる。

このシステムは赤外光に撮像感度を持つ広角カメラを用いて、ユーザーが持ち歩く無線端末に取り付けたタグの発光する赤外光を撮影することでユーザーの位置同定を行い、ネットワーク技術を利用してタグを制御することで、自動的に各ユーザーを識別することを可能にしているのである。

タグの位置をカメラで同定する点では本論文で提案する手法と同じであるが、タグの識別方法が異なっている。本論分で提案するシステムでは、タグ自身が赤外線IDを発信しているので無線端末以外の対象物にも対応が可能であるが、このシステムでは、タグの識別に無線端末の存在を仮定しているため、無線端末を持った人の位置しか認識できない。

5.2.3 Active Bat System

また、一方で、Active Badgeの後継としてAT&Tで開発された、Active Bat System [4]も存在する。このシステムはBatと名付けられた利用者が携帯する小型のデバイスを用い、3次元で位置をはかり取ることができるものである。計測原理としては3点測量を用い、Batから発せられる超音波を多点で読み取り位置を計測する。計測の精度は高いが、読み取りセンサーは1.2mの格子状に配置しなくてはならないという問題点がある。

5.3 関連研究との比較

これまでに挙げた関連研究などと本システムを比較する。

ここでは、6つの点でシステムの比較を行った。その結果を、表5.1に示す。比較項目は以下に挙げるものである。

- **手法:** その対象物の認識手法が用いている、手法を挙げている。
- **対象識別能力:** 対象物や人間を区別することができるかを比べている。EasyLivingでは個々の人が誰であるかわからないので、この能力は無いと判断した。
- **認識主体:** 対象物あるいは人間の位置を認識する場合、ユーザーが自ら周囲の対象物を認識するのか、環境側に埋め込まれたセンサーなどで全体を一元的に認識する方法かを分別している。
- **精度、粒度:** システムごとの対象物認識の精度や、目的としている対象の粒度について比較を行っている。
- **機動性:** システムを利用したアプリケーションを利用する際の利用者の動きやすさを比べている。たとえば、WalkNaviは重い機材を背負う必要があるため△である。
- **コスト:** 設置する際に必要とされる、導入コストを比較している。環境側にセンサを設置する必要の無いATやUbiquitous Talkerは◎とした、また、環境側にセンサーを設置する必要がある、Active BadgeやALTAIR,BATなどは導入に必要なセンサーの量などに応じて○または△の評価をしている。

表 5.1: システムの比較

	手法	対象識別能力	認識主体	精度、粒度	機動性	コスト
Ubiquitous Talker	カラーコード, カメラ	有	ユーザー	高	×	◎
WalkNavi	GPS, センサー	有	ユーザー	低	△	◎
Active Badge	赤外線, センサー	有	システム	部屋単位	◎	○
ALTAIR	画像処理, ネットワーク	有	システム	高	◎	○
Bat	超音波	有	システム	高	◎	△
EasyLiving	カメラ	無	システム	高	◎	○
AT(提案手法)	赤外線, センサー, カメラ	有	ユーザー	高	◎	◎

表から明らかなように、本研究で提案している AT 上の対象物認識システムは他の手法と比べても優位であることが分かる。

このほかに、この表から分かることは、環境側にセンサーを埋め込む方式ではシステム側で一元的に読み取る方式が多いという点である。これは、読み取る対象物と同じ場所にあるタグが赤外線や超音波で ID を出す仕組みになっているためである。このような仕組みは、対象物の位置が常にシステムに読み取られることになるため物理的な検索には適しているが、人間の位置を把握ためのシステム (ロケーションシステム) としてはプライバシーの問題を意識する必要がある。

しかし、AT でも用いている手法であるが、逆に RFID タグのように物理的環境に固定されている対象が ID を持つ場合もある。この場合には対象物の位置をユーザー側で認識することになるため人間の位置の把握が可能であると同時にプライバシーの管理にも適していると考えられる。RFID タグを用いるこのような手法で先行する研究としては NaviGeta [17] などがある。

第6章 おわりに

本章では、本研究のまとめと今後の課題について述べる。

6.1 まとめ

本研究では、乗り物に情報機器を搭載し、人間がそれに乗り込むという Mountable Computing (搭乗型コンピューティング) という発想のもと、情報世界と物理世界の融合を実現するプラットフォームとして開発を行った知的移動体 AT 上に、赤外線信号を送受信するタグがつけられた実世界対象の対象物を認識し、その方向を検出する仕組みを設計・実装した。

また、その仕組みを用いたアプリケーションとして、対象に関連する情報をカメラ映像内に重ねて搭乗者に提示する拡張現実感システムを構築した。従来、拡張現実感を実現するシステムでは重い機材を持ち歩くことなどが求められたが、移動体上に機材を搭載することでそのような不便を感じさせないシステムを構築することができた。また、移動体上にシステムを構築したことによって初めて可能になる、この仕組みをベースにした、さまざまな新しいアプリケーションについて考察を行った。

6.2 今後の課題

今後、改良すべき点などを挙げる。

6.2.1 機能の統合

現在、AT を用いてさまざまな実験が行われている。たとえば、1 台の AT がたどった経路を、別のもう 1 台の AT がたどる実験や、地図情報を与えて指定の位置まで移動する実験が行われている [9]。このほかにも、床や地面に設置された RFID タグから ID を得て場所を認識し、情報を提示するなどの機能が実現されている。

したがって、今回提案した、赤外線タグを用いる方法だけではなく。対象物が建物などの大きい場合は RFID タグを用いて、対象物が小さい場合は赤外線タグを用いるなどの使い分けを考えることができる。しかし、RFID タグと赤外線タグを統合して扱えるような

仕組みにはなっていないため現時点ではそういった使い分けができない。また、走行制御と赤外線タグやRFIDタグのシステムとが緊密に連携したシステムにはなっていないため、得られる情報を総合して搭乗者に提示することや、利用者が興味を持ちそうなので減速するなどの処理ができないでいる。

本システムと、RFIDタグのシステム、走行制御とを連携して動かすことができれば、電源が切れかけているときにコンセン트의近くを通りかかったときに搭乗者に、充電することを促したり、速度の制限が必要な場所では速度が制限内に収まるようにするなどの応用が考えられる。

6.2.2 認識方法の併用

このシステムは、近距離にある、比較的小さいものを対象にしている。遠距離になると赤外線が届かなくなるが、大抵の場合、大きなものは離れた場所から見るので大きなものには適していない。

たとえば、大きな山や海のようなもの、ビル全体などを認識するのは難しいのである。このような対象物には画像処理、特にパターンマッチングが適していると考えられる。

パターンマッチングを単体で用いると、海の写真や、山のポスターにも反応してしまう可能性があるが、赤外線のタグも併用すればそのような誤認識を防ぐことが可能であろう。タグを設置することであらかじめそれは写真であると認識できるようにしておけば良いからである。

6.2.3 装置の小型化

センサーが大量に必要なため本システムは比較的大きなものとなってしまった。ATに搭載している赤外線信号送受信装置ではFPGAを使用しているが、これはややオーバースペックであった。したがって、適切な性能のものに変更することで多少の小型化は可能である。また、装置で一番大きな体積をとっているのは赤外線センサーであるので、センサーを小型化できれば装置全体の小型化を実現できる。ATは乗り物であるので大きな装置を搭載することができるが、装置を小さくすればより多くの装置を詰め込めるため都合がよい。

6.2.4 赤外線の指向性

本システムでは赤外線の指向性を用いることで対象の位置を認識することが可能となっているが、一方で指向性が強いために赤外線タグの設置位置とATとの位置関係によっては対象を認識することができないという問題点がある。しかし、赤外線LEDの光に指向性があることによって、より細かい情報提示が可能となっている。たとえば対象物の面ごと

に別の ID を割り振ることで、異なった情報を提示することが可能となっている。

したがって、赤外線タグの指向性はそのまま残し、対象物の複数の位置にタグを貼り付けることでその問題点を緩和することが期待される。つまり、対象物の複数の位置に赤外線タグをつけることで、AT から見たときに赤外線の信号が受信できない死角を作らないようにするのである。

しかし、このタグを複数貼る方法は十分に赤外線タグが小さくないとタグが目立ってしまい実用的ではない。ただし、赤外線タグの機能はそれほど複雑ではないので現在の半導体技術でも十分に小型化することができると考えられる。

6.2.5 対象認識の精度

赤外線センサーから得られる対象の ID とカメラ映像を画像処理して得られる対象の位置とを対応付ける処理がなされるが、ここで対応付けに失敗することがあるため誤った位置に関連情報が提示されるという問題点がある。この問題点は、さらにたくさんのセンサーを装着することで緩和されることが考えられるが、装置の体積がさらに増えることになるため、バランスをとる必要がある。

また、移動中では、誤った場所に情報の提示がなされるという問題点がある。これは、赤外線タグから送信される赤外線信号の送信頻度が低く、それを補うために情報の寿命を長くとしているのが原因となっている。これを解決する方法として赤外線信号を送信する頻度を上げることが考えられるが、この方法を用いると赤外線タグの電池寿命を著しく短くするため運用コストが高くなる。しかし、AT と赤外線タグ間では双方向通信が可能なので、AT が近くにいるときだけ ID の情報を赤外線信号として出すようにすれば、電池寿命を伸ばすことが可能である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、指導教官である長尾確教授、大平茂輝助手には、研究の心構えなど基礎的なことから、ゼミ等を通しての貴重なご意見、論文指導等を賜り大変お世話になりました。御礼申し上げます。

梶克彦さんには、研究室の明るい雰囲気作りに努めていただき大変感謝しております。山根隼人さんには、研究に関する多くの有用なコメントをいただき大変感謝しております。山本大介さんには、映像を扱う際にアドバイスをいただいたり、研究だけではなく生活面でも相談にのって頂きました。松本和之さんには、研究以外の面でもさまざまな助言を頂き感謝しております。加藤範彦さんには、さまざまな新しいテクノロジーについて教えていただきました。松浦真治さん、清水敏之さん、細野祥代さんには、研究に関して大変有用なコメントを頂きました。ありがとうございました。

田中和也君には、本研究だけではなく研究室生活などさまざまな局面で有用な意見を頂きました、本当に感謝しております。また鈴木考行君、不破洋平君、小酒井一稔君には、本研究に関して多くの助言などを頂き、大変参考になりました。ありがとうございました。

長尾研究室秘書の兼松英代さんには学生生活ならびに研究活動のための様々なサポートをいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- [1] amazon.com. <http://www.amazon.com>.
- [2] 長尾確, 山根隼人, 山本大介, 鬼頭信貴, 田中和也. Attentive Townvehicle: Communicating Personal Intelligent Vehicles. Proceeding of the Second Symposium on Intelligent Media Integration for Social Information Infrastructure, pp.159-161 . 2004.
- [3] Roy Want, Andy Hopper, Veronica Falcao, and Jonathon Gibbons . The Active Badge Location System. ACM Transactions on Information Systems, Vol. 10, No. 1, pp.91-102. 1992.
- [4] AT&T Laboratories Cambridge. The Bat Ultrasonic Location System.
<http://www.uk.research.att.com/bat/>.
- [5] Andy Ward, Alan Jones, and Andy Hopper. A New Location Technique for the Active Office. IEEE Personal Communications, Vol. 4, No. 5, pp.42-47 . 1997.
- [6] John Krumm, Steve Harris, Brian Meyers, Barry Brumitt, Michael Hale, and Steve Shafer. Multi-Camera Multi-Person Tracking for EasyLiving. 3rd IEEE International Workshop on Visual Surveillance, Dublin, Ireland, pp. 3-10. 2000.
- [7] 角 康之, 伊藤 禎宣, 松口 哲也, シドニー フェルス, 間瀬 健二. 協調的なインタラクションの記録と解釈. 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.11, pp.2628-2637. 2003.
- [8] Katashi Nagao, and Jun Rekimoto. Ubiquitous Talker: Spoken Language Interaction with Real World Objects. In Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-95), Vol.2, pp.1284-1290. 1995.
- [9] 田中和也, 長尾確. 個人用知的移動体における移動体間通信と連携協調動作.
http://www.nagao.nuie.nagoya-u.ac.jp/papers/tanaka_ipsj66.xml. 2004.
- [10] 国土交通省道路局. ITS (Intelligent Transport Systems).
<http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/>.
- [11] 国土交通省道路局. 歩行者 ITS.
<http://www.its.go.jp/ITS/j-html/index/indexPedestrian.html>.

- [12] 山根隼人, 長尾確. AcTrec: 行動履歴を用いた個人行動支援.
http://www.nagao.nuie.nagoya-u.ac.jp/papers/yamane_ipsj66.xml. 2004.
- [13] WinAVR. <http://winavr.sourceforge.net/>.
- [14] 河口信夫, 稲垣康善. cogma: 動的ネットワーク環境における組み込み機器間の連携用ミドルウェア. 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム, pp.1-8. 2001.
- [15] Katashi Nagao, and Jun Rekimoto. Agent Augmented Reality: A Software Agent Meets the Real World. In Proceedings of the Second International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-96), pp.228-235. 1996.
- [16] 坂田 宗之. ALTAIR: アクティブ IR タグを用いた複数ユーザ位置同定システム.
<http://chihara.aist-nara.ac.jp/people/2001/muneyu-s/research/index-j.html>. 2003.
- [17] 椎尾一郎. RFID を利用したユーザ位置検出システム. 情報処理学会研究会報告 00-HI-88, pp.45-50. 2000.