

5 ユニバーサル端末

5 *Universal Terminals*

5-1 高齢者・障害者移動支援のための屋外環境認識と半自律型移動ビークル

5-1 *Outdoor Environment Recognition and Semi-Autonomous Mobile Vehicle for Supporting Mobility of the Elderly and Disabled People*

香山健太郎 矢入(江口)郁子 猪木誠二

KAYAMA Kentaro, YAIRI Ikuko Eguchi, and IGI Seiji

要旨

我々は、主に視覚・聴覚・下肢駆動機能に障害を持つ高齢者・障害者を対象とした、屋外における人間の移動に不可欠な認知・駆動・情報入手の三つの要素行動を包括的に支援するようなシステムとしてロボティック通信端末(Robotic Communication Terminals, RCT)を開発した。そして、その端末として、道端の高さ数 m の位置に設置したカメラによって自動車・自転車・歩行者等のあらゆる動物体を時刻・天候にかかわらず検出する一般道路監視システムと、市販の電動スクーターに液晶モニタ・周辺環境認識用センサ・位置情報取得センサ・通信装置・障害物回避機能を付け加えた半自律型移動ビークル Intelligent City Walker (ICW) とを開発した。また、これらの端末を連携させ、公道にて移動支援実証実験を行った。

Elderly and disabled people with impaired vision, hearing, and mobility often find it difficult to get around because their physical impairment mean that they partially lack the three elemental abilities necessary for mobility, i.e., recognition of the environment, actuation through their legs, and ready access to information for navigation. We developed Robotic Communication Terminals (RCT) as a system to support these three elemental abilities comprehensively for mobility outdoors. General road observation system and semi-autonomous outdoor mobile vehicle (Intelligent City Walker, ICW) are some components of the RCT. General road observation system detects various types of moving objects for all times and weathers by a camera mounted about 5 meters above the ground alongside a road. ICW, which is based on commercial electric scooter and equipped with variable sensors and interfaces, can avoid obstacles semi-autonomously. We also performed field experiments on public roads by cooperating these terminals.

[キーワード]

移動支援, ITS, コンピュータビジョン, 知能移動ロボット, バリアフリー

Mobility support, Intelligent Transportation Systems, Computer vision, Intelligent mobile robot, Barrier-Free

1 はじめに

人間にとって、移動とは自立的かつ快適に生活するための不可欠な行動である。しかし、現在の社会環境では、視覚・聴覚・下肢駆動機能に障害を持つ高齢者・障害者の場合、移動に必要な認知・駆動・情報入手の三つの要素行動に問題が生じるため、自立的な移動に多大な労力を要することになる。

そこで、我々は認知・駆動・情報入手の三つの要素行動を包括的に支援するロボティック通信端末(Robotic Communication Terminals, RCT)プロジェクトを提案・推進した。

RCTは一般道路を監視し動物体を検出・認識するシステム、知能化屋外移動ビークル、障害者向け情報提供デバイス、歩行者支援用GISというような様々な構成要素からなり、それらが連携することによって、高齢者・障害者を主とする歩行者の屋外移動支援を効率的に行うことができる。

高齢者・障害者支援の研究として、ヨーロッパにもTIDE、フランスのVAHMプロジェクト、ブレーメン自律車椅子“Rolland”，車椅子“Maid”，スペインのSIAMOプロジェクトなど、様々な研究が存在するが、多くは屋内を対象としたものである[1]。

一方、屋外の市街地・住宅地を対象とするものとしては、小谷、森らによって盲導犬の代わりをする歩行ガイドロボット(Robotic Travel Aid, RoTA)が研究開発されている。このシステムでは、あらかじめ移動したい経路の様々な画像特徴を記憶しておき、道路の境界線、壁、段差、ランドマークを認識しつつ走行している[2]。

これらに対し、RCTでは、単一のシステムではなく、上述のように複数のシステムを連携させ、包括的に支援を行うというコンセプトとなっている。

本稿では、まず**2**でRCTのコンセプト・特徴について述べる。そして、RCTの各構成要素のうち、**3**で一般道路監視システム(EET: Environment-Embedded Terminal)について、**4**で半自律型屋外移動ビークル(ICW: Intelligent City Walker)について詳述する。また、これらを連携させた実世界における実証実験について、**5**で説明する。

2 ロボティック通信端末

ロボティック通信端末(Robotic Communication Terminals, RCT)プロジェクトの目的は、屋外の歩行者、特に高齢者・障害者を対象として、移動に必要な認知・駆動・情報入手の三つの要素行動を包括的に支援することである(図1)[3][4]。

RCTの特徴は次のとおりである。

- 障害の種類・程度などに応じた幅広い範囲のユーザに対して、それぞれに合致したサポートを提供する。
- 認知・駆動・情報入手のそれぞれに対し、ユーザとの対話と各種端末の役割分担でもって統括的な解決手段を提供する。
- 実世界・インターネット・ユーザとを接続し、いつでもどこでも情報に統一的な手段でアクセスできる環境を提供する。

RCTは以下の構成要素からなる(図2)。

これらが通信し互いに協力し合って、市街地においてユーザがより簡単に目的地に着けるように、そして安全・自由に移動できるようにサポートする。また、これらの端末はインターネットにも接続できるようになっており、様々な情報にアクセスが可能である。

環境端末(Environment-Embedded Terminal, EET)は、駅や道端などの地面から高さ数mの位置に設置されたカメラ(図2右下)、そこから得られた画像から道路状況や動物体の軌跡等を求める認識システム及び移動端末との通信部からなる[5]-[7]。

この認識システムについては後に詳述する。

なお、現在、東京都小金井市の情報通信研究機構構内に3基、神奈川県鎌倉市に1基、愛知県春日井市の中部大学構内に2基、京都府精華町の知識創成コミュニケーション研究センターに4基の環境端末が存在する。

ユーザ携帯型移動端末は高齢者・障害者が持ち運べるウェアラブル、あるいはハンドヘルドのコンピュータによる知的ナビゲーションシステムである。これは、環境端末や地図サーバと通信し、周囲の状況や経路などの情報をユーザに提示する機能を持つ。

ユーザ携帯型移動端末として、我々は無電源小型通信端末(Compact Battery-less Information

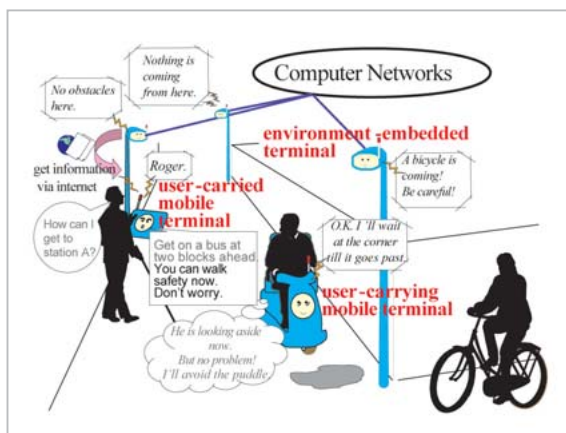


図1 ロボティック通信端末(RCT)プロジェクト

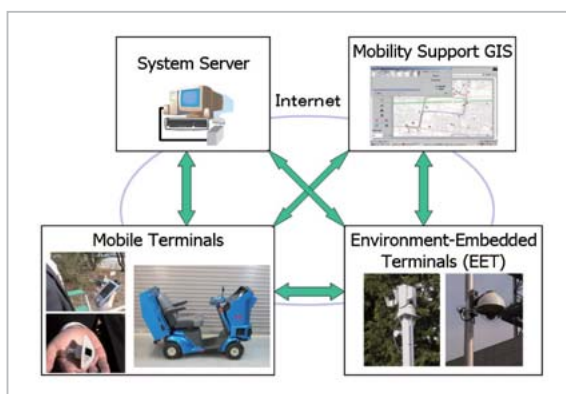


図2 RCTの構成要素

Terminal: CoBIT) を利用している [8][9]。CoBIT は、レーザーや超指向性 LED による信号を受け取り、受信器側の光電変換素子により電力を取り出す。この電力は、音の波形を元に変調されているため、受信器側では無電源で振動情報や音声情報を受け取ることができる。そして、現在、イヤホンタイプ、振動子タイプ、骨伝導ヘッドホンタイプの受信器が製作されている(図2左下の左上・左下)。

また、地図情報サーバと接続されたり、その地点での案内を手話アニメーションで行ったりできる PDA タイプのユーザ携帯型移動端末も製作されている。

ユーザ搭乗型移動端末 Intelligent City Walker (ICW) は市販の福祉用電動スクータに障害物回避や環境認識のための各種センサ・タッチパネル付液晶モニタ・処理装置を付け加えた半自律型屋外移動ビークルである(図2左下の右)。これには、ユーザ携帯型移動端末の機能に加え、搭乗型移動

端末に搭載されたセンサや環境端末によって検出された障害物の自動回避機能などの運転補助機能がある [10][11]。

これについても後に詳しく述べる。

歩行者支援 GIS は、従来の地図と比べて歩行者にとって有益な情報をより追求した地理情報システム(図2右上)である。これには、車道のみならず小道や歩道などの情報も記述されており、それぞれの道について道幅・傾斜・段差の有無などが登録されている。また、様々なバリア・バリアフリー情報ともリンクされている。そして、障害の種類・程度に応じて適切なルートを示唆してくれるようになっている [12][13]。

現在、小金井市を中心とする約 11 平方 km・京都東山周辺・東京秋葉原地区周辺の 3 種類のものが作成され、一部は試験的にインターネット上で公開されている。

システムサーバ(図2左上)は、各端末・GISの IP アドレスや各端末の実世界での存在位置を把握している。そして、5 で述べるような移動端末・環境端末の連携の際には、移動端末の位置に応じて、その周辺を観察対象とする環境端末を検索しその IP アドレスを提示するなどの仲介を行う。

3 一般道路監視システム

3.1 一般道路監視システムの概要

環境端末 (Environment-Embedded Terminal, EET) として、我々は一般道路用動物体認識システムを開発している。

本システムのハードウェアは、道路などを監視するカメラ(図2右下)と、そこから得られた画像を処理する PC 端末からなる。

カメラは高さ数 m の位置に設置され、角度を制御することが可能である。設置場所は、住宅街などの規模の小さな道路や駅の構内などの比較的狭いエリアの状況を把握できる場所を想定している。

また、PC 端末ではカメラから入力される画像の処理を行うほか、ネットワークに接続されている歩行者支援 GIS や移動端末と通信し、移動端末などの位置情報を取得するとともに、一般道路監視システム側で認識した障害物情報や危険情報を発信する。

本システムで行う動物体認識とは、それほど車や人の交通量が多くない道路において、街灯程度の高さのカメラから得られる情報から、24時間常に自動車・二輪車・歩行者を含むすべての動物体の軌道を求めることである。一般に、動物体の検出においては明るさの変動が、追跡においてはオクルージョンが大きな問題である。そこで、検出に関しては、次節で正規化距離を利用した解決法を述べる。また、追跡にあたっては、上條らが提案した時空間 Markov Random Field モデルによる手法をベースに用いている [5][14]。

3.2 正規化距離を用いた動物体検出

屋外の環境認識では、雲の移動、カメラの特性などによる画面全体の輝度の変化がしばしば発生する。そこで、本システムでは、長屋らが提案した、軽度の照明変化に強い正規化距離を利用した手法を適用している [15]。

正規化距離とは、照度変化の影響を受けにくい特微量であり、着目領域の各画素値を要素とするベクトルを単位球上に射影したものの距離として定義される。これを利用して、その領域でシーン変化・背景変化・構造変化・照度変化が起こっているかどうかをそれぞれ判定し、そこから移動物体の存在する時間区間の検出と背景更新を行う。

なお、長屋らはこれを画像中の一部に対して用いているが、我々は、松山ら [16] と同様、画面全体を多数の小ブロックに分割し、各ブロックに対しこの処理を適用している。ただし、松山らと異なり、小ブロックの大きさは 8×8 pixel としている。

しかし、正規化距離は、対象環境の輝度値が低くなるとノイズの影響を大きく受けるようになる。また、車のライトなどの強い光源に照らされた領域は輝度値が飽和してテクスチャがなくなってしまう、正確な正規化距離を求めることができない。

そこで、夜間については、状態を光源なし・弱い光源が存在・強い光源が存在の三つに分類し、光源がない場合は一定期間の画像の画素値を足し合わせてノイズを軽減する処理を、光源がある場合はその位置を推定する処理を行って解決している [5]。

3.3 動物体検出・追跡の性能評価

以上の処理を行った結果を評価するため、東京都小金井市の情報通信研究機構本部構内及び神奈川県鎌倉市のビルにカメラを設置して評価実験を行った。カメラはそれぞれ地面から高さ数 m の位置に、道路の進行方向が 50 m~80 m 程度にわたって見えるように傾けて設置されている。

これらのカメラからの画像を、時刻(朝・昼間・夕方・薄暮・夜間)・天候(晴天・曇天・雨天・雨上がり後・雪天)別に 23 種類に分類し、各種類から動物体が含まれている画像列をカメラ 1 台につき基本的に 3 例ずつ、計 125 例のサンプル画像列を抽出し、ここまで述べたアルゴリズムを搭載して評価を行った。なお、サンプル中の動物体は自動車が 61%、自転車が 22%、歩行者・小動物が 17% となっている。対象とした領域は交通量は少ないが、自動車の速度は最高で 60 km/h 程度であり、カメラの視界内に最低でも 4 秒間は存在する。また、数台の自動車が連なったりすれ違ったりするサンプルも含まれている。

そして、ここでは、後述の実験のように、動物体と移動端末とが衝突する危険があるかどうかを判定できるようにするため、動物体の軌道が計算できる程度の時間にわたって検出・追跡ができることを目標とした。

その結果、日中(朝・昼間・夕方・薄暮前半)についてはすべての動物体を画面存在中(遠方にあって動いているかどうか判別不能な状態のときを除く)の 70% 以上の時間での検出・追跡に成功した。夜間についても、歩行者 2 例を除き画面存在中の 30% 以上の時間での検出に成功した。また、失敗 2 例でも、10% 程度の時間の検出には成功している。

4 半自律型屋外移動ビークル ICW

4.1 ICW のハードウェア

ユーザ搭乗型移動端末として、我々は半自律型屋外移動ビークル Intelligent City Walker (ICW、図 3) を開発している。これは市販の 4 輪電動スクータ(スズキ社の「セニアカー」)を改造したものであり、下記のような特徴がある。

- 屋外を移動する
- 通常時は搭乗者の運転通りに動き、危険時の



図3 Intelligent City Walker (ICW)

み制御をサポートする(半自律)

- 低速である(最高時速 6 km)
 - 車道ではなく歩行者と同様の場所を移動する
- ICWには超音波センサ・赤外線センサをセットにしたユニットが前後左右に七つ搭載されており、また前方斜め下を向いた3眼ステレオカメラが設置されている。これらを用いて、周囲数 m の動的環境情報を求めている。

これらを含む様々な仕様を表 1 に示す。

4.2 ICW における情報提示

ICW には

- ICW 自らが求めた周囲数 m の動的環境情報
- 一般道路監視システムが求めた周囲十数 m ~ 数十 m の動的環境情報
- 歩行者支援 GIS による広範囲の静的環境情報の 3 種類の情報が集められ、それがタッチパネル付液晶モニタを通じてユーザに提示される(図 4)。

表 1 ICW の仕様

外界センサ	超音波・赤外線センサユニット×7 赤外線 LED レーザセンサ×4 半導体レーザセンサ×1
ステレオカメラ	3 眼カメラ×1, 2 眼カメラ×1
位置センサ	GPS, 電子コンパス
内部センサ	ジャイロ、ハンドル角センサ、 車輪回転センサ
インタフェース	タッチパネル付 LCD モニタ マイク、無線 LAN(802.11b)
電源	30 分の充電で 2.5 時間走行可能
処理ユニット	PC (Linux OS)×2

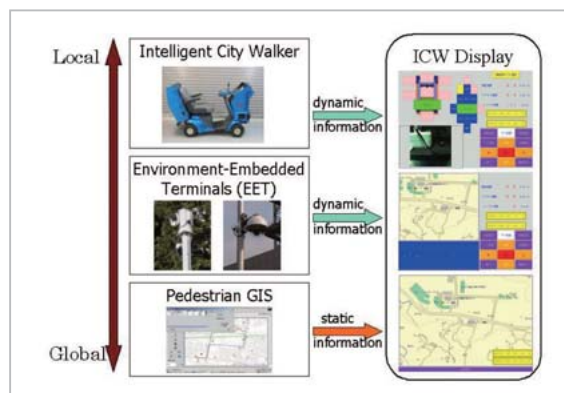


図4 ICW における情報提示

ICW に搭載されているタッチパネル付液晶モニタには次の 3 種類の表示モードが存在する。図 4 の右側は上から順にそれぞれのモードの表示である。

- センサ情報モード(速度・超音波センサと赤外線センサの値・画像センサの処理結果を表示)
- 通常モード(操作パネル・速度・現在位置・簡易地図・警告情報を表示)
- 地図モード(詳細地図を表示、経路探索が可能)

一般道路監視システムからは、ICW と衝突する危険のある動物体があるかどうかの情報が送られてくる。ICW はその情報をモニタに表示するとともに、必要に応じて自動的に停止するなどの行動を取る。また、歩行者支援 GIS を通じて、適切な移動経路の検索をすることができる。なお、これら RCT の他構成要素とは無線 LAN を通じて通信を行っている。

これ以外に、ICW は自分自身のセンサで集めた周囲の環境情報を内部で処理し、モニタを通じてユーザに提示することができる。この環境情報の作成方法について次節以降で述べる。

4.3 3次元占有格子法による環境地図の作成

占有格子法は、様々なノイズを含むセンサ情報からよりロバストな周囲の環境情報を得るため、Elfes らによって提案された環境記述法である[17]。本手法では、空間を格子状に分割し、各格子に物体が存在する確率を付加することによって環境を記述する。従来の研究では確率計算のために超音

波センサから入力される情報を用いること及び格子としては2次元のものを用いることが多い。しかし、本研究では、特に地面の段差に着目し、

- 階段(回避)とスロープ(そのまま進む)の区別
- 歩道の一般部縁石(高い段差:回避)と車両・歩行者進入用の切下げ部縁石(低い段差:そのまま進む)の区別

を実現するため、高さ方向を特に細かくした3次元格子を採用した。現在の格子サイズは、高さが4cm、幅・奥行きがそれぞれ8cmとなっている。また、格子数は64×128×128である。

また、格子の作成のために使うものとして、3眼あるいは2眼カメラから得られる画像から計算した、各画素に対応する3次元座標を用いている。

その占有格子を可視化したものを図5に示す。図5の上の画像を撮影したときのICWのカメラは下の画像の右端に位置する。下の画像から階段の段差や遠くの樹木・ポールがきちんと認識されており、後述のデモ・実証実験でも問題なく危険回避ができる程度の情報が得られている。

4.4 危険領域の判定と危険回避

このように作成した3次元占有格子をもとに、次のような手順で危険領域を検出する。

- (1) 各地点において、物体存在確率が一定値以上となる格子の最大高さを求め、2次元段差地図を作成する。
- (2) 2次元段差地図の各地点において、4近傍とのどれかの地点との高さの差が2単位高さ(ここでは8cm)以上となった地点を危険領域とみなす。

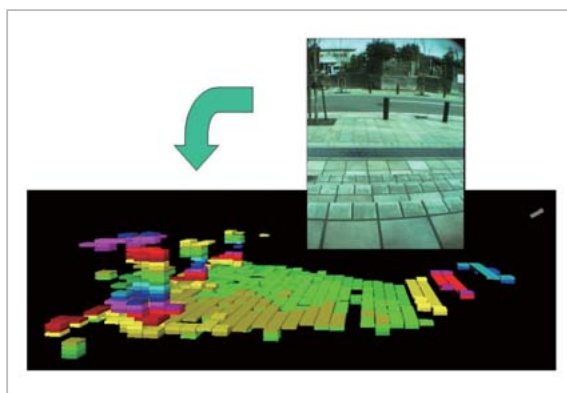


図5 3次元占有格子

なお、このとき、正確な高さが出ていない領域は対象外とする。

これにより、高さが連続的に変化していて通れる部分(スロープなど)と段差とを区別できるようになる。

そして、この情報及び超音波・赤外線センサのデータから、ICWが衝突・転落などの危険を認識した場合、ユーザから制御を奪って回避行動を自動的に行う。周辺に安全に回避できるような余地がない場合にはその場で停止する。

ただし、ICWは原則としてユーザの操作によって動き、通常は自動運転は行わず、危険なときのみ自動モードに移るという半自律型である。これは、ユーザの自由に運転する楽しみを尊重するためであり、また、完全自動運転に対する法的・技術的障壁の高さのためでもある。

5 屋外実験

5.1 移動端末・環境端末連携実験

RCTの各端末の統合実験として、移動端末と環境端末との連携によって、見通しの悪い交差点で車をやり過ごす実験を行った(図6)。

通信にはIEEE802.11b標準規格に基づく市販の無線LANを使用し、各端末間でプライベートなネットワークを構成した。

この実験は、鎌倉市でのユーザ搭乗型移動端末(ICW)との連携実験、小金井市でのユーザ搭乗型及び携帯型移動端末との連携実験が行われ、強風によるカメラの揺れによる誤認識を除き、動物体の検出と警報の発信は正常に行われた。なお、車の検出から移動端末までの通報には2~3秒を要

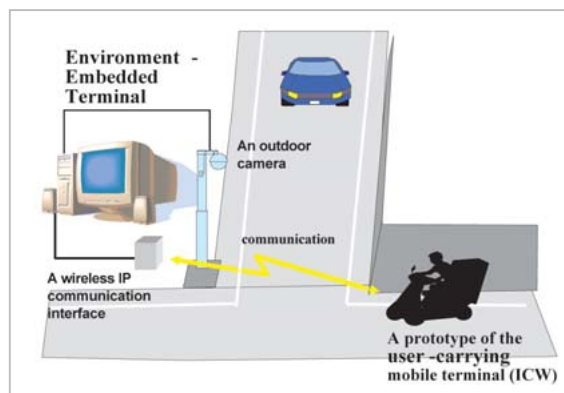


図6 ICW・環境端末連携実験

している。

この他、春日井市においては、検出・認識した動物体を含んだ周辺地図を ICW に付属しているディスプレイに表示させる実験にも成功した。

5.2 ICW インタフェースの検証

前述したように、ICW はそのセンサによって単体で危険回避をする機能を持つ。その障害物回避機能及び回避時の安全性・快適性を検証するため、まず、60 歳以上の被験者 11 人を募って実証実験を行った。

そして、回避のタイミング、回避後の軌道復帰などについて、被験者の ICW に関する知見の程度や嗜好によって若干の違いはあるものの、安全な回避性能が得られていることが確認された。なお、どの時点で回避するのが良いかについては、速度にかかわらずほぼ 3m 手前で回避を始めるのが快適であるという結果が出た。

そして、この機能を実装し、多数の展示会・一般公開の機会に段ボール箱等でコースを設置し、デモを行っている。

2006 年 7 月に行われた展示会では、ICW のインタフェースに対して、3 分程度の試乗の後にアンケート調査を実施した。アンケート対象者は、30 代・40 代を中心とした 10 代～60 代の男女 31 人であり、画面表示の必要性を 5 段階評価してもらったほか、衝突回避のタイミング、将来の適切な市販価格などを聞いた。

その結果、地図情報に関する要望が高い(評価 4.53) こと、周辺状況の提示は大まかなもので良い(障害物の簡単な表示の評価 4.17、障害物の詳細な表示の評価 3.93) こと、ボタンによる操作は需要が低い(評価 3.07) ことが分かった。

また、衝突回避のタイミングは、早いのが 6%、ちょうど良いのが 74%、遅いのが 19% であった。適切な市販価格は中央値が 30 万円であり、これは知能化されていない電動スクータの市販価格と同程度であった。

5.3 公道走行実験

2005 年 11 月に、京都府精華町において、ICW 単体の能力によって衝突を回避する実験、及び公道上で、ICW の死角から近づいてくる自動車を環境端末で認識してネットワークを通じて ICW

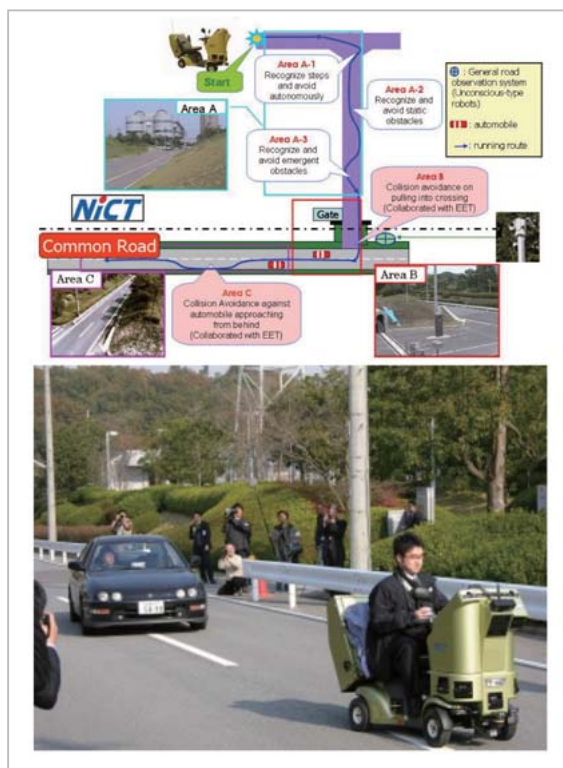


図7 公道走行実験

に情報を提供し、それによって ICW が自動車を自律的に避けるという実験を一般住民に対する公開で行った[18]。

この実験では、一般参加者約 10 名に ICW に搭乗して回避行動を体験してもらったほか、約 150 名の一般参加者が見学した。

これらの参加者に、屋外での ICW の実用化に向け、今後どのようなことが必要になるかアンケートをとったところ、107 名から回答が得られ、安全についての要求が極めて高く(72.0%)、また操作性についても要求が高い(48.6%) こと、価格についても厳しい要求があること(47.7%) が分かった[11]。

6 おわりに

我々は、歩行者、特に高齢者・障害者の屋外での移動を包括的に支援するロボティック通信端末(RCT)を研究開発している。

本稿では、その中でも特に一般道路の動物体を検出する環境端末と、ユーザ搭乗型移動端末 ICW について詳述した。環境端末では、屋外に

おける不規則な照明変動に対するために、画像を小領域に分割した上でテクスチャの類似度を見るという正規化距離法を用いて動物体のロバストな検出を実現した。また、ICWにおいては、多種類のセンサを用いて周辺環境記述を作成し、運転中に障害物を半自律的に回避できるようなシステムを作成した。さらに、これらを連携させて公

道等で実証実験を行った。

今後、RCT システム全体の実現に向けては、更なる安全性の向上、法律の整備など様々な問題が存在する。そこで、これからは要素技術を更に磨き、部分的に実用化していくことが重要と考えられる。

参考文献

- 1 S. G. Tzafestas, "Research on autonomous robotic wheelchairs in Europe", IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol.8, No.1, pp.4-6, Mar. 2001.
- 2 小谷信司, 清弘智昭, 森 英雄, "視覚障害者のための歩行ガイドロボットの開発", 映情学誌, Vol.51, No.6, pp.878-885, Jun. 1997.
- 3 I. E. Yairi and S. Igi, "A Mobility Support System Assisting the Elderly and the Disabled by Connecting the Real-world, Computer Networks, and Users", Proceedings of the 7th International Workshop on Mobile Multimedia Communications, pp.1-6, 2000.
- 4 矢入(江口)郁子, 香山健太郎, 猪木誠二, "高齢者・障害者の自立的移動を支援するRobotic Communication Terminals(5)ー近未来チャレンジサイババル完了に寄せてー", 人工知能学会誌, Vol.20, No.1, pp.82-89, 2005.
- 5 香山健太郎, 矢入(江口)郁子, 猪木誠二, "高齢者・障害者の移動を支援するロボティック通信端末における屋外環境認識システム", 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J88-D-I, No.2, pp.536-546, 2004.
- 6 K. Kayama, I. E. Yairi, and S. Igi, "Outdoor Environment Recognition System on Robotic Communication Terminals Supporting Mobility of Elderly and Disabled People", Systems and Computers in Japan, Vol.37, No.8, pp.56-67, 2006.
- 7 H. Fujiyoshi, T. Komura, I. E. Yairi, and K. Kayama, "Road Observation and Information Providing System for Supporting Mobility of Pedestrian", Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Computer Vision Systems, pp.37-44, 2006.
- 8 T. Nishimura, H. Itoh, Y. Nakamura, and H. Nakashima, "A Compact Battery-less Information Terminal For Interactive Information Support", The Fifth Annual Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2003), Workshop: Multi-Device Interfaces for Ubiquitous Peripheral Interaction, 2003.
- 9 S. Oyama, I. E. Yairi, S. Igi, and T. Nishimura, "Walking support using compact terminals with infrared audio communication", ICCHP 2004, pp.468-475, 2004.
- 10 K. Kayama, I. E. Yairi, and S. Igi, "Three-dimension simultaneous localization and mapping for semi-autonomous scooter in residential area using stereo vision", Proceedings of the 11th World Congress on Intelligent Transportation System, 2004.
- 11 K. Kayama, I. E. Yairi, and S. Igi, "Recognizing and Displaying Surrounding Environments on Low-speed Intelligent Buggy", Proceedings of the second IASTED International Conference on Human-Computer Interaction, 569-073, 2007.
- 12 矢入(江口)郁子, 猪木誠二, "高齢者・障害者を含むすべての歩行者を対象とした歩行空間アクセシビリティ情報提供システムの研究", 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.12, pp.2940-2951, 2005.

- 13 I. E. Yairi and S. Igi, "Mobility Support GIS with Universal-designed Data of Barrier/Barrier-free Terrains and Facilities for All Pedestrians Including the Elderly and the Disabled", Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.2909-2914, 2006.
- 14 S. Kamijo, K. Ikeuchi, and M. Sakauchi, "Vehicle Tracking in Low-angle and Front-View Images based on Spatio-Temporal Markov Random Field Model", 8th World Congress on Intelligent Transportation System, 2001.
- 15 長屋茂喜, 宮武孝文, 藤田武洋, 伊藤 渡, 上田博唯, "時間相関型背景判定法による移動物体検出", 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J79-D-II, No.4, pp.568-578, 1996.
- 16 松山隆司, 和田俊和, 波部 斉, 棚橋和也, "照明変化に頑健な背景差分", 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J84-D-II, No.10, pp.2201-2211, 2001.
- 17 M. C. Martin and H. P. Moravec, "Robot evidence grids", Technical Report CMU-RI-TR-96-06, Carnegie Mellon University, Mar. 1996.
- 18 K. Kayama and S. Igi, "Outdoor Network Robots for Mobility Support", 電子情報通信学会ネットワークロボット研究会, NR-TG-1-16, pp.13-18, 2005.



香山健太郎

知識創成コミュニケーション研究センターユニバーサルシティグループ研究員(旧情報通信部門けいはんな情報通信融合研究センターユニバーサル端末グループ研究員)

博士(工学)
ロボットビジョン、人工知能



矢入(江口)郁子

知識創成コミュニケーション研究センターユニバーサルシティグループ研究マネージャー(旧情報通信部門けいはんな情報通信融合研究センターユニバーサル端末グループ主任研究員)

博士(工学)
福祉情報工学、ヒューマンインタフェース



猪木誠二

研究推進部門統括(旧けいはんな情報通信融合研究センター長)

博士(工学)
福祉情報工学、ヒューマンインタフェース