

IrID：赤外線 LED による小型位置取得装置の実装と運用

伊藤 禎 宣^{†1,†2,†3} 岩澤 昭一郎^{†2} 土川 仁^{†4}
 篠沢 一彦^{†5} 角 康之^{†5,†6} 間瀬 健二^{†5,†7}
 鳥山 朋二^{†3} 小暮 潔^{†3} 萩田 紀博^{†5}

ユビキタスコンピューティング研究に関わる実験環境構築のキーデバイスとして IrID システムを実装、運用した。IrID は実世界環境での対象物の特定と位置取得のための装置である。実験環境で人やモノに設置、装着して運用することを想定し、小型化や隠蔽化、運用負荷軽減を目的に機能設計と実装を行った。実際に、人々に装着して実世界環境の体験を記録するプロジェクトや、公共空間でロボットによる対象物位置取得のために用いるなどの運用がなされた。本論文では、実装した IrID システムの機能的特長や実装上の工夫、実際の運用状況について詳解する。

IrID: Implementation and Operation of Local Positioning System Using Infrared LED

SADANORI ITO,^{†1,†2,†3} SHOICHIRO IWASAWA,^{†2}
 MEGUMU TSUCHIKAWA,^{†4} KAZUHIKO SHINOZAWA,^{†5}
 YASUYUKI SUMI,^{†5,†6} KENJI MASE,^{†5,†7} TOMOJI TORIYAMA,^{†3}
 KIYOSHI KOGURE^{†3} and NORIHIRO HAGITA^{†5}

This paper proposes an infrared based ID system for local positioning, and ID recognition of people and objects in the real world. We have implemented our system in large-scale experiments, and prototyped four generations of the system. We focused on downsizing and minimizing maintenance costs of the devices, i.e., IrID trackers and tags. This paper presents the functional characteristics of the system, practical issues of implementation, and findings of the experiments.

1. はじめに

ユビキタスコンピューティングの分野を中心に、実世界環境の状況や人々の行為をシステムが推察し、適

応的なサービスを提供する研究開発が数多く進められている。高精度な行為や状況の推察には、対象者の運動計測、視線計測、生理計測など多様な情報が用いられる。しかしこれら多くの計測手法には、比較的大規模かつ高価な装置が必要とされるため、特に複数人を対象とする実験環境の構築には困難があった。

我々は、多人数参加型の実証実験環境を実現するキーデバイスとして、“IrID (Infrared ID) システム”を開発した。これは、ほぼ実時間での対象物特定と位置取得が可能な屋内用 LPS (Local-Positioning System) である。たとえば図 2 下段に示すように、ビデオ映像内の対象物情報と画面上位置を実時間出力するといった使い方ができる。小型化や隠蔽が容易な構成と、利用者と実験運用者の負荷低減を考慮したデザインを特徴とする。

本論文では、実装した IrID システムの機能的特長や実装上の工夫、実際の運用状況について詳解する。

†1 東京農工大学

Tokyo University of Agriculture and Technology

†2 情報通信研究機構

National Institute of Information and Communications Technology

†3 ATR 知識科学研究所

ATR Knowledge Science Laboratories

†4 NTT サイバソリューション研究所、ネットワークサービスシステム研究所

NTT Cyber Solution Laboratories, Network Service Systems Laboratories

†5 ATR 知能ロボティクス研究所

ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories

†6 京都大学情報学研究科

Graduate School of Informatics, Kyoto University

†7 名古屋大学情報連携基盤センター

Information Technology Center, Nagoya University

2. IrID システムの利用シーン

理想的なユビキタスコンピューティング環境では、LPS のような観測機器類は環境に埋め込まれ隠蔽されていることが望ましい。しかし、観測性能や物理的制約の問題から、環境設置型装置による観測が困難な事象もある。たとえば、小型物体の位置取得や特定利用者の視野画像取得を、小規模な環境設置型装置で実現するのは困難である。

IrID システムは、環境や人、モノに装着して使用する小型 LPS である。小型軽量化により、装着者の身体的負荷や装着物の視覚的違和感、実験等運用者の運用負荷を低減させることを目指している。以下に、本システムが想定する利用場面と機能について述べる。

2.1 体験記録

我々は、人と人や人とモノとの相互作用の分析、相互作用を主とする体験記録の活用といった、新たな“体験記録メディア（UEM：Ubiquitous Experience Media）”の提案を目的として、体験記録プロジェクトを進めている¹⁰⁾。UEM では、多様な対話的相互作用を特徴づけるプリミティブな行為として“発話”と“視認”を設定し、その記録から、公共空間における体験の“コーパス”を生成する。具体的には、展示会場における代表的相互作用である、展示物の注視や共同注視、発話の聴取、対話、多人数対話などをコーパスとして構成する¹⁹⁾。IrID システムは、体験記録環境における人やモノの位置取得と視認対象物の検出機能を担う。

2.2 小型トラッキングシステム機能

屋内実世界環境では、屋外に比べて人の操作対象も比較的小型であるため、意味ある情報の取得には、cm から mm オーダの高精度な位置取得性能が求められる。同様の理由から、装着型のトラッキングシステムにも小型化と隠蔽化が必要とされる。また、屋内は照明条件が多様であり、IrID 装置以外の発光装置や自然光の入射などの外乱に耐える必要がある。IrID システムは、これらの条件を満たすことで、汎用利用可能な屋内用位置取得装置を目指した。

3. IrID システムの実装と特性評価

本章では、IrID システムを構成する IrTAG および IrTRACKER の機能と実装、特性評価について述べる。

3.1 基本構成と特徴

本システムの基本構成は、各種情報を符号化して赤外光で発信する小型の識別子“IrTAG”と、受光信号

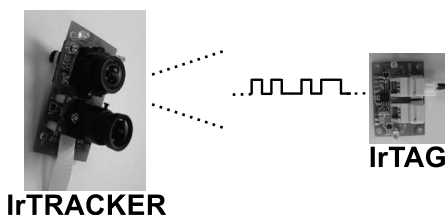


図 1 IrID システムの基本構成
Fig. 1 Basic configuration of IrID System.

を復号する“IrTRACKER”である（図 1）。

● IrTAG

IrTAG の最小構成は、1 個の IrLED（Infrared Light Emitting Diode）と発信制御用マイコンである。マイコンは、送信情報をマンチェスタ符号化方式により時系列符号化し、IrLED の明滅パターンを制御する。

● IrTRACKER

IrTRACKER の最小構成は、撮像光学系、イメージセンサと画像処理用マイコンである。マイコンは、取得連続画像から IrTAG 明滅部を抽出して、受信情報を復号し、同情報と明滅部座標を出力する。標本化定理から、撮像間隔（fps）を IrLED 明滅の 2 倍以上とすることで、同期信号などの外部信号なしでの復号が可能である。

IrTAG のような単一光源の明度を時系列変化させる通信方式の利点の 1 つは、復号限界が撮像系の限界解像力に依存しない点である。一般的なバーコード方式や複数光源方式では、発信側画像の空間周波数がイメージセンサの空間解像力を超えることはできない。単純には、撮像面上での画素間距離を上回るドットサイズの画像が必要である。このため、情報復号の成否には、発信側と受信側の距離と角度、そして光源や環境光により変化するコントラスト（明暗差）の 3 因子を考慮しなければならない。他方、単一光源方式では、光源が十分なコントラストを持つ場合、画像サイズが撮像面上の画素間距離を下回ることができる。すなわち、イメージセンサの画素数や撮像光学系の画角といった条件による復号限界距離への影響が少ない。

我々のシステムでは、IrTRACKER による IrTAG の復号可能範囲を立体的に制御し、一定範囲の IrTAG のみ識別するという機能を実現している（図 2 上段）。この機能には、復号可能範囲を任意に制御する必要がある。バーコード式や複数光源式では、条件制御が複雑かつ困難である。これに対して、単一光源方式では、光源の輝度制御により範囲を決定できるため、任意の識別範囲を設定したり、使用中に識別範囲を変更した

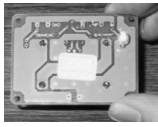
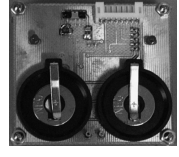
世代	第1世代	第2世代	第2.5世代	第3世代
外観		 電池式 電源式		 埋込式 露出式 通信用PD付
光源	850nm IrLED × 2個	850nm IrLED × 2個	850nm IrLED × 2個	840nm IrLED × 2個
配光制御	LED特性依存	LED光拡散キャップ	なし	Light-Shaping Diffuser
処理系	Atmel製	Atmel製 AT90S2323	Renesas製 H8系	Renesas製 H8系
パケット	10bit長, 固定	10bit長, 固定	10bit長, 固定	15bit長, 結合可能
高速通信	なし	なし	あり	あり
外形寸法	60 × 45 × 10mm	43 × 30 × 10mm	60 × 55 × 10mm	10 × 20 × 10mm (発光部) 処理系独立型
消費電流	5V50~80mA	5V50~80mA	5V10mA~	5V10mA~
製作時期	2002年	2003年	2004年	2005年

図 3 試作 IrTAG 一覧

Fig. 3 List of IrTAG.

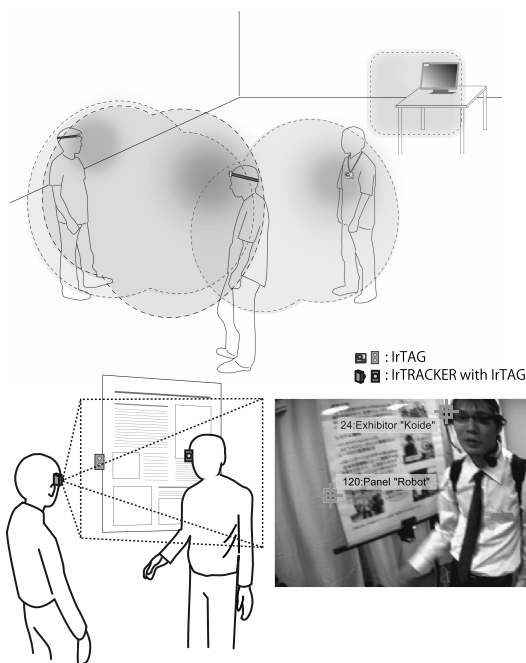


図 2 IrID システムの稼働イメージ（上段：IrTAG 被視（配光）範囲の例，下段：IrTRACKER による映像と IrTAG 付与対象物位置取得の例）

Fig. 2 Working image of IrID System.

りするといった使い方が，比較的容易である．同様に，光源の配光制御により，装置の装着方法に自由度が増すこと，光源に一定の表面積が不要であるため，より隠蔽が容易であること，といった利点がある．

次節以降では，複数種類の IrTAG 実装について述べる．

3.2 IrTAG の実装

図 3 に試作 IrTAG の外観と特徴的仕様について示す．以下で各機能の実装について述べる．

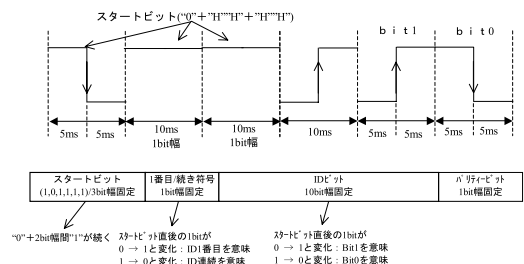


図 4 IrTAG の発光データフォーマット（第 3 世代）

Fig. 4 Blinking format of IrTAG.

3.2.1 ID 発信と高速通信

IrTAG 装置は，1 個または複数個の IrLED を持ち，固有の ID 番号を発信する．発信方式は，ID 番号をマンチェスタ符号化して 5 msec ごとに LED を明滅させるものである．送出データパケットは，スタートビット（3 bit 幅），連続判定（1 bit），データ（10 bit），パリティビット（1 bit）からなる，15 bit 相当の固定長である（図 4）．データ伝送レートは 66.67 bit/sec となる．なお，第 1 世代と第 2 世代はデータ結合に対応せず，データ長は 10 bit（スタートビット 1 bit，ID 番号 6 bit，パリティビット 1 bit，ストップビット 2 bit）である．第 3 世代では，連続する 6 パケットまでを結合し，最大 60 bit の ID 番号を扱うことができる．これにより， $2^{10} \sim 2^{60}$ 個の ID 番号を付与することができる．この最大データ長は，展示会場などの限られた屋内空間にある対象物群へ ID 番号を付与する用途には十分といえる．

ID 番号以外の対象物名称や対象物機能などの情報を IrTRACKER 側が得ようとする場合，この通信速度では，ID 番号をもとに外部のデータベースなどから対象物に関する情報を取得するというシステム構成が必要である．たとえば，対象物の状態変化など逐次変

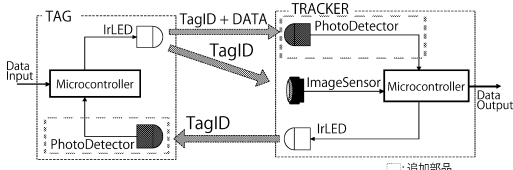


図 5 高速通信機能搭載型 IrTAG の構成 (第 2.5, 3 世代)
Fig. 5 Diagram of IrTAG with high speed communication function.

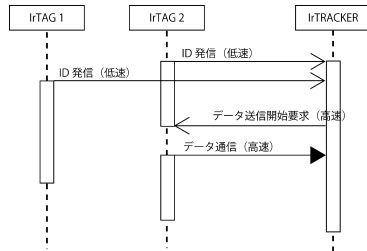


図 6 高速通信機能搭載型 IrTAG の通信シーケンス (第 2.5, 3 世代)
Fig. 6 Connection sequence of IrTAG with high speed communication.

化する情報を IrTRACKER 側に伝えようとする場合、対象物と IrTAG とデータベースを常時つなぐ通信経路が必要となり、運用場面によっては情報伝達の遅延や運用コストの上昇といった問題が生じる。そこで、IrTAG-IrTRACKER 間の通信速度を数 KB/sec 程度に上げ、対象物情報を直接取得可能にする機能を第 2.5 世代から追加した。IrTRACKER 側のイメージセンサ付近にフォトディテクタ (PD) を併置し、IrTAG 側からは低速なイメージセンサ用の明滅 (ID 番号) と高速な PD 用の明滅 (タグ ID + 任意の対象物情報) を発信する (図 5)。これにより、タグの位置識別と現実的な速度 (9,600 bps) での情報取得を両立させる機能を実装した。通信のシーケンス図を図 6 に示す。この方式は、PD の追加により実現できるため、無線 LAN など異なる通信手段を用いる方法に比べて、実装容積やコストの面で有利である。

3.2.2 配光制御

IrTAG の基本的役割は、装着物に関する情報の伝達である。これに加えて、情報伝達可能な空間的範囲の制御により、同空間に機能的意味を与えることができる。

たとえば、体験記録において視認行為の検出は「利用者が対象物を視認可能な相対位置に滞在するか」の判定から始まる。単純には、大型ポスターは広範囲から見る事ができ、パソコンのディスプレイは近距離から見る必要がある、というように視認可能な範囲の大枠を設定することができる。この視認可能範囲を情

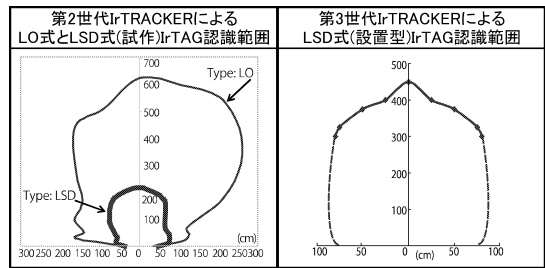


図 7 IrTAG 配光制御の例
Fig. 7 Example of radiation pattern of IrTAG.

報伝達範囲、すなわち IrLED の配光範囲として調整する機能を実装した。これにより、視覚的相互行為発生の蓋然性が低い状況を、状況推察過程から排除できる⁶⁾。

配光範囲は、第 2 世代までの運用¹⁷⁾ に基づく経験的調整と、立位姿勢での相互行為に関する実験⁸⁾ を経て、設定された。配光範囲のイメージを図 2 上段に示す。また、頭部装着用 IrTAG の配光例を図 7 左図に、広範囲用 IrTAG の例を図 7 右図に示す。

配光制御手法には、LED への印加電力や PWM (Pulse-Width Modulation) による電気的制御と、投光光学系による光学的制御の 2 種類がある。電気的制御はマイコンにより随時到達範囲の広狭を調整できるという利点がある。配光角や配光パターンの調整には光学的方法が必要である。第 1 世代から第 2.5 世代では、広配光角を持つ既製品 LED の利用や、LED 用拡散キャップなどを用いた調整を行った。しかし、製品性能の個体差は比較的大きく、調整時の光量ロスが大きいといった問題があった。そこで第 3 世代では、主に LSD (light-shaping diffuser²³⁾) を用いた調整を行っている。LSD は入射光をホログラム記録された拡散パターンに沿って任意に配光する光学部品であり、光量ロスが 10% 程度と少ない。これらの実装例を図 8 に示す。また、IrTAG 装着者の頭部方向を取得するため、個別の ID 番号を持つ 4 個の第 3 世代 IrTAG をメガネフレーム状に固定した装置を試作、運用した (図 9)。

3.2.3 形状と電気的特性

IrTAG の装着対象には、人や小型展示物、ロボットなどの移動体と、ポスターや壁面、机や椅子などの移動しない物体が想定されている。そのため、電源接続式の固定設置型と、電池式のバッジ型、機器内蔵型の 3 タイプを製作した。電源接続式は、一定数の IrTAG をデージーチェーン接続でき、環境敷設時の省力化を図った。各実装のイメージを図 3 に示す。

第 1 世代と第 2 世代の消費電力は 5 V50 mA ~

利用世代	第1～2.5世代対応		第3世代対応		不採用例
制御手法	LED初期特性 (LO)	LED光拡散キャップ	レンズ切断＋バフ処理 (LB)	Light-Shaping Diffuser (LSD)	
実装例					
目的	到達領域最大	凸状放射光の軽減	大量生産と性能安定化	安定的配光	結果:性能不安定

図 8 IrLED の加工例

Fig. 8 Example of processing method of IrTAG.

世代	第1世代	第2世代	第2.5世代	第3世代	第4世代
外観					
撮像光学系	画角60度(一部90度) ビデオカメラ並置(レンズ下側)	画角90度 ビデオカメラ並置(レンズ下側)	画角90度 ビデオカメラなし	画角90度 ビデオカメラ光軸一致	画角40度～調整可 ビデオカメラなし
光学フィルタ	赤外線パスフィルタ 三菱製 m64283fp 白黒 128 × 128 pixel ROI機能有り Pixel clock: 115200Hz 感度: 1V/lux・sec	赤外線パスフィルタ 三菱製 m64283fp 白黒 128 × 128 pixel ROI機能有り Pixel clock: 115200Hz 感度: 1V/lux・sec	赤外線パスフィルタ NS製 LM9630BIEA 白黒 126 × 98 pixel ROI機能なし, Max: 580fps Pixel clock: 10MHz 感度: 22V/lux・sec	狭帯域干渉フィルタ NS製 LM9630BIEA 白黒 126 × 98 pixel ROI機能有り, Max: 580fps Pixel clock: 10MHz 感度: 8.46V/lux・sec	なし Fillfactory製 IBIS5A-1300 カラー 1280 × 1024 pixel ROI機能有り Pixel clock: 40MHz 感度: 4.46V/lux・sec
処理系	Cygnal製 C8051F124, 40MHz	Cygnal製 C8051F125, 40MHz	Renesas製 SH7145, 20MHz Xilinx製 XC95144XL, 20MHz	Renesas製 SH7145, 16MHz Xilinx製 XC2C512	Renesas製 SH7145, 29MHz Xilinx製 XC2C512, 40MHz
外形寸法	100 × 60 × 35mm 150g (IrTRACKER本体35g)	60 × 35 × 30mm, 40g	90 × 90 × 30mm	ヘッド: 27 × 16 × 43mm, 27g 処理部: 110 × 62mm	100 × 100 × 50mm
消費電流(Max)	5V 50mA	5V 50mA (内蔵IrTAG除く)	5V 250mA	3.3V 250mA	6V 550mA
製作時期	2002年	2003年	2004年	2005年	2004年

図 10 試作 IrTRACKER 一覧

Fig. 10 List of IrTRACKER.

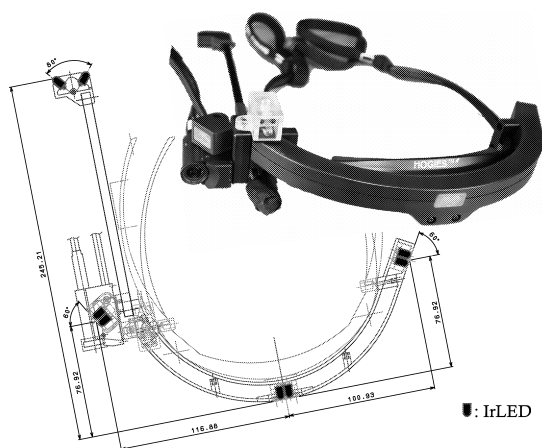


図 9 IrTAG を含む IrTRACKER ヘッドセット

Fig. 9 IrTRACKER headset with IrTAG.

80 mA である。大部分は IrLED (2 個) の発光に消費される。バッジ型の IrTAG では、コイン型リチウム電池 (CR2430) 2 個直列接続で 2～3 時間稼動する。第 3 世代では、同第 3 世代 IrTRACKER の受光感度が 1 Volt/Lux-sec から 22 Volt/Lux-sec へ大幅に向上したため、同程度の配光範囲を 5 V10 mA 程度の消費電力で実現できる (高速通信部は含まない)。なお、現在の仕様で IrTAG は ID 番号情報を連続発信しているが、IrTAG 検出頻度の時間解像度が要求されない

場合は、発信回数を半減させて駆動時間を倍化するといいこともできる。

3.3 IrTRACKER の実装

図 10 に試作 IrTRACKER の概観と機能比較を示す。

第 1 世代と第 2 世代の IrTRACKER は、撮像光学系に水平画角 90 度または 60 度のレンズと赤外線パスフィルタを持ち、三菱製 M64283FP (白黒, 128×128 pixel) をイメージセンサとして使う。映像撮影は視野方向を略一致させた並置ビデオカメラによって行う。第 3 世代の IrTRACKER は、撮像光学系に水平画角 90 度のレンズと 840 nm 帯バンドパスフィルタを持ち、National Semiconductor 社製 LM9630 (白黒, 126×98 pixel) をイメージセンサとして使う。映像撮影用ビデオカメラは、分光ミラーを介して同一光軸上に配置し、同視野角の映像を記録する。

各 IrTRACKER の仕様と機能的特長を以下に述べる。

3.3.1 第 1～2 世代 IrTRACKER

第 1 世代と第 2 世代の IrTRACKER の処理系は、三菱製 M64283FP イメージセンサと Cygnal 製 C8051F124 マイコンによるシンプルな構成が特徴である (図 10 参照)。

一般的なイメージセンサは「全画素露光 各画素

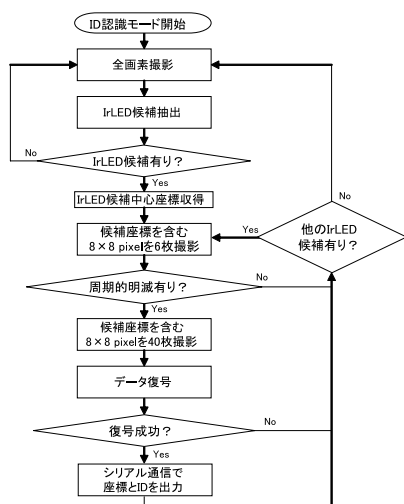


図 11 第 1,2 世代 IrTRACKER フローチャート
Fig. 11 Flowchart of 1st gen. IrTRACKER.

電荷のシリアル転送」の繰返しにより動画撮影を行うため、撮影フレームレートの向上には、転送速度（ピクセルクロック）の高速化や転送経路の平行化が必要である。しかし、転送速度に見合う処理系を実装する場合、多くの高速度撮影カメラに見られるように、装置の大規模化は避けられない。本装置が採用する M64283FP「ビジョンチップ」では、特定画素のみ転送する機能（ROI：Region Of Interest）を持ち、転送画素数を減らすことで高いフレームレートを実現できる。本実装では、転送画素数を 64 pixel、ピクセルクロックを 115,200 Hz、積算時間（シャッタースピード）を約 2 msec とすることで、400 fps のフレームレートを実現する。

処理のフローチャートを図 11 に示す。10 bit 長の IrTAG 信号は、400 fps での 40 回の撮影で復号できる。よって最大認識数は毎秒 10 個である。ただし全画面撮影に約 150 msec 必要であるため、1 画面内の全 IrTAG 復号に必要な時間は、150 ms + (100 ms × ID タグ数) となる。なお、高速撮影中の IrTAG 移動へは、ROI 撮影画素（8 × 8 pixel）内でのみ対応する。水平画角 90 度のレンズを使用し、IrTAG までの距離が 2 m のとき、8 × 8 pixel は 250 mm × 250 mm の範囲に相当する。このため、IrTAG 移動に対する水平方向の最大追従角速度は 56.25 deg/sec である。ただし、ROI 撮影画素は全画面 16 × 16 分割既定領域の選択によるため、撮像条件によっては 1 pixel のズレでも復号に失敗する。

IrTRACKER による IrTAG 識別例として、IrTAG 識別結果とビデオカメラ画像を重畳表示するアプリケー

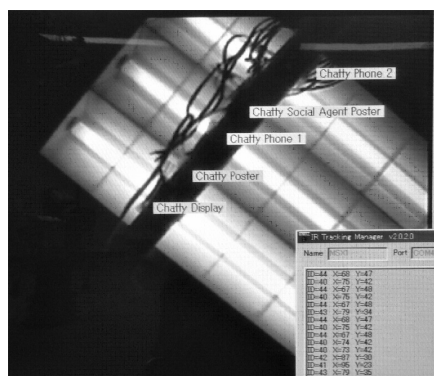


図 12 実際の検出状況

Fig. 12 Image of ID detection by 1st gen. IrTRACKER.

ションの画面を図 12 に示す。蛍光灯のような赤外線領域の放射がある光源下でも安定的に識別できている。

このようなイメージセンサ内の ROI 機能による情報処理量削減は、装置全体の規模や消費電力の削減に貢献し、バッテリーなどによる長時間駆動に有効である（図 10 参照）。しかし、比較的特殊な同機能付きイメージセンサは入手性が低く、長期的に多数の装置が必要となるユビキタスコンピューティングの実証実験では、製造個数が限られるなど運用上の困難もあった。

3.3.2 第 3 世代 IrTRACKER

第 3 世代 IrTRACKER は、IrTRACKER の撮像光学系を映像撮影ビデオカメラと共通化してヘッド部を小型化したことと、イメージセンサの National Semiconductor 社製 LM9630（高速度撮影可能、ROI 機能なし）への変更にとともに、画像処理系を Xilinx 製 XC2C512 CPLD とルネサス製 HD64F7145F50 CPU に分割し、処理系の大規模化を抑えつつ、IrTAG 追跡性能を安定化させたこと、IrTAG 識別感度が向上したこと、が特徴である。また、高速撮影機能搭載イメージセンサは比較的一般的であり入手性も高い。

IrTRACKER の撮像部と処理本体部を分割し、撮像部頭部装着時の利用者負荷低減を試みた。第 2 世代までは撮像部と画像処理部を一体型としたため比較的重量があり、利用者が頭部に圧迫感を感じるなどの問題があった。第 3 世代では、処理部を組み込み OS 搭載の本体部へ分離し、頭部に装着するヘッド部を 27 g へと軽量化した。これにより、ユーザの身体的負荷を低減させることができた。処理系の分離状況を図 13 および図 14 に示す。撮像部を頭部、処理部を腰部に装着することを想定し、撮像部-処理部間を 150 cm のケーブル接続としている。ただし、同ケーブル長でイメージセンサのアナログ信号を伝送すると、波形の減衰が避けられないので、途中にトランシーバ

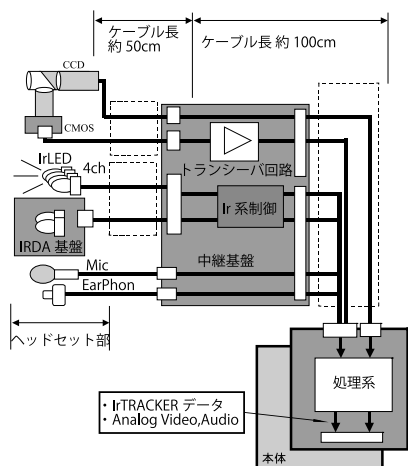


図 13 IrTRACKER 処理系分離状況 (第 3 世代)
Fig. 13 Cabling diagram of 3rd gen. IrTRACKER.



図 14 IrTRACKER を含む体験記録装置 (第 3 世代)
Fig. 14 Experience recording device with IrID System.

回路を設定した。なお、本体部は、MPEG4 エンコーダを内蔵する ARM 系 32bit CPU LC690132A を搭載し、組み込み Linux (AxLinux) 環境で映像音声の圧縮やデータベースへの接続、各種情報の転送処理などを行っている²⁰⁾。

撮像光学系は、水平画角 90 度のレンズと 840 nm 帯バンドパスフィルタを持ち、映像撮影用ビデオカメラと LM9630 は、ホットミラーを介して同一光軸上に配置され、同視野角の映像を記録できる。ホットミラーにより赤外光と可視光を分光しているため、光量の減衰を抑えることができる。撮像光学系の構造図は図 10 内に示す。また IrTRACKER ヘッド部と IrTAG を装着したヘッドセットを図 9 に示す。

第 3 世代の LM9630 は、第 2 世代までの感度 1 Volt/Lux-sec に対して 22 Volt/Lux-sec と大幅に向上していること、ROI 機能は持たず全画素 580 fps 撮像が可能であることが大きな特徴である。ピクセルクロックも 10 MHz へと大幅に上昇してしまうため、イメージセンサの出力を直接 CPU で処理する構成は適

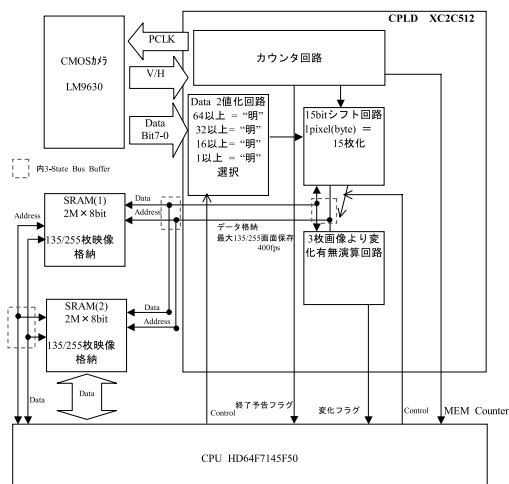


図 15 IrTRACKER のブロックダイアグラム (第 3 世代)
Fig. 15 Block diagram of 3rd gen. IrTRACKER.

切でない。そこで、本装置では、高速な実時間処理が要求される各画素の明滅判定を CPLD で処理し、抽出された明滅部の復号を CPU で処理する構成で開発した。動作のブロックダイアグラム (図 15) とフローチャート (図 16) を示す。処理的には簡易な明滅判定を高速動作可能な CPLD 側で行うことで、CPU での処理量を減らし、400 ~ 500 fps での全画面画像処理が可能となっている。具体的には、1 秒あたりの処理情報量 (読み込み Pixel 数) が、 $126 \times 98 \times 400 = 4,939,200$ から IrTAG 候補明滅点数 (2 値化済) \times IrTAG 移動量 $\times 400$ となる。10 個の静止 IrTAG の場合 4,000 pixel 相当であり、第 1, 2 世代と同程度へ削減できていることが分かる。

復号処理は画像取得と並行に行う (図 16 最下段に模式図を示す) ため、復号結果出力には画像取得枚数 \times 撮像間隔時間の出力遅延がある。400 fps で 60 枚単位の撮像では、約 150 msec の遅延である。また、同遅延時間の範囲内で、IrTAG の認識処理を行っている。このため、排除すべき外乱光や IrTAG の画面内移動の条件によって、1 度に復号可能な IrTAG の個数は変化する。一般的な蛍光灯照明環境の屋内での認識個数は、毎秒 10 ~ 15 個程度であった。また、運用時は消費電力を抑えるために CPU クロックを 16 MHz としている。動作周波数を倍化させると、処理可能な IrTAG 数もほぼ倍化する。

3.3.3 第 4 世代 IrTRACKER

第 4 世代 IrTRACKER は、IrTAG 検出位置精度が求められる利用場面を対象として、イメージセンサの高解像度化を行ったものである。第 3 世代までの低解像度イメージセンサによる IrTRACKER で、

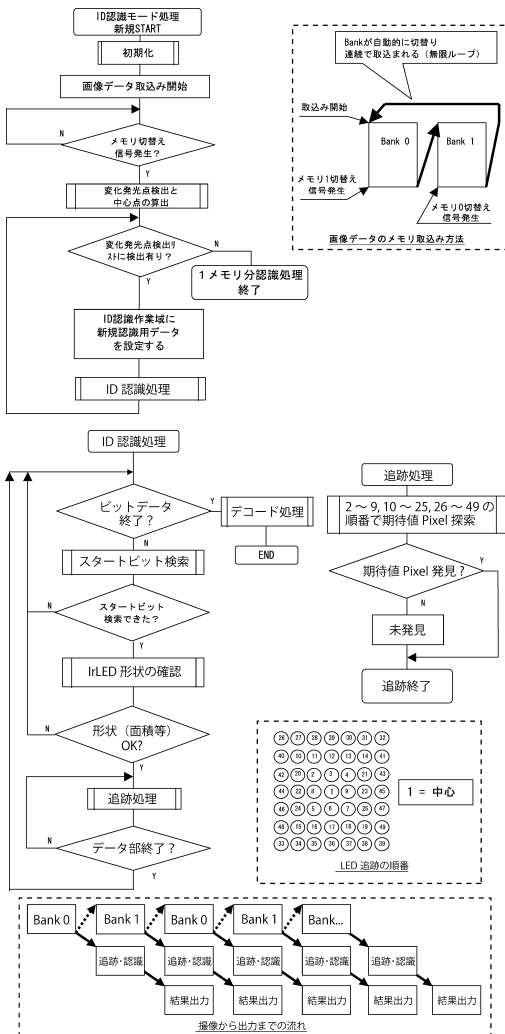


図 16 ID 認識処理のフローチャート (第 3 世代)

Fig. 16 Flowchart of ID recognition process.

IrTAG 位置を高精度に求めることは困難である．たとえば，IrTAG に 3 個以上の LED を設けて相対 3 次元位置を求めるシステムを作成しようとした場合， 128×128 pixel の解像度で画角 90 度レンズを用いる IrTRACKER では，2m 以内の利用でも空間解像度は約 3cm になってしまい，IrTAG の形状と用途が限定されてしまう．第 4 世代装置は SXGA ($1,280 \times 1,024$) 解像度の Fillfactory 製 IBIS5A-1300 イメージセンサを搭載する．同画角 90 度レンズで同距離の空間解像度は約 3mm であり，3 次元位置取得用の IrTAG 製作も現実的に構築可能となる．IBIS5A は ROI 機能を持つ．IrTAG の復号方式は，全画素撮影と特定領域の高速連続撮影による復号であり，処理の流れは第 1 世代～第 2 世代と同様である．ただし，ピクセ

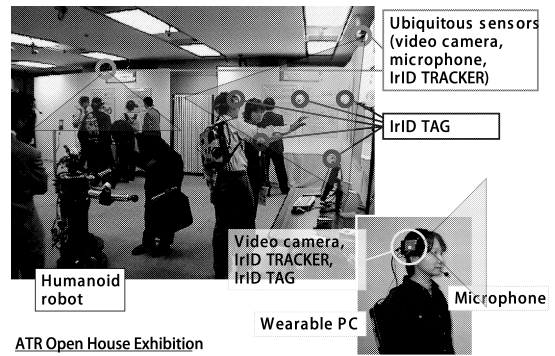


図 17 体験記録環境における IrID システム

Fig. 17 IrID System in UEM.

ルクロックが 40 MHz と高速であるので，CPLD を用いて撮影画像のメモリへの転送を行い，CPU がメモリから画像を読み込む構成としている．また，採用 IBIS5A は赤外光を透過するベイヤ配列の色フィルタを備え，カラー画像を同時に取得する機能も実装できている．なお，本装置は機器内蔵や環境設置を目的とした大型品 ($100 \times 100 \times 50$ mm) であるため，第 1, 2, 3 世代のような装着用途では使えず，代替とはならない．

4. IrID システムの応用と運用

4.1 体験記録

図 17 に体験記録環境における IrID システム利用の様子を示す．環境設置型 (Ubiquitous) 装置群と身体装着型 (Wearable) 装置群から構成され，双方に IrID システムが内蔵されている．主な機能として，環境設置型 IrTRACKER は，室内上方から IrTAG 付きの人やモノの位置を記録する．身体装着型装置は頭部へ装着し，主観視点の視覚的体験映像と，撮影対象として IrTAG 付き撮影対象物名を記録する．IrTAG の識別可能範囲は，装着対象物の被視性 (視認可能性) に沿って制御され，視覚的行為である注視や視認と発話をともなう対話など，相互作用の発生蓋然性が高い相対位置を検出する．この相対位置を “Interaction-Scope”⁷⁾ と呼び，その実装により，より正確な状況推察とコーパス化を目指している．

なお，IrID システムによる “InteractionScope” 判定には，IrTRACKER が眼球運動ではなく頭部に固定され，擬似的な視野範囲を撮像しているという理由から，利用可能な状況に制限がある．具体的には，まず，対象環境は立位姿勢で自由移動可能な屋内空間とする．たとえば図 17 の展示会場 (1 室約 $10\text{m} \times 7.5\text{m}$) のような公的空間である．このような社会的

交流をともなう公的空間・場面への参加者を、体験記録の対象者とする。参加者数は 1m^2 あたり 1 人程度を上限とする。これは Hall の近接学 (proxemics)²⁾ という個体距離の遠方相から社会距離の近接相にあたり「個人的関心や関係を議論でき、相手の表情は細部まで見てとれる距離」や「フォーマルな会話、個人的でない事項のやりとりが行われる距離」とされる。過度な混雑による不快感や、滞在位置や姿勢の変更に困難がない状況でもある。このように身体的制限や心理的制限がない状況であれば、頭部装着型の IrID システムを用いていても、対話などの社会的状況の判別がある程度は可能と考えられる⁸⁾。

実際の体験記録環境の運用は主に研究発表の展示会場を対象に行われた。これら運用成果に関する詳細は既発表論文^{10),18)} に詳しい。IrTAG 設置対象は、各種展示物や利用者の頭部・胸部であり、IrTRACKER が同対象物を判別する機能が望まれる。このため IrTAG 間隔などの設置規則を設け、各世代の IrID 装置特性に応じて対象物を確実に判別するよう運用が行われた。具体的には、第 1, 2 世代の運用ではパネルなど平面上への設置時に 50 cm 程度の間隔をあけることとした。展示会場の運用経験上、パネル前の利用者滞留は 2 m を超えないことが分かっている。この設置基準では、IrTRACKER が IrTAG 正面方向距離 2 m からの観察時に 16 pixel 相当の間隔ができることになり、同一 pixel や同一 ROI 撮影領域 ($8 \times 8\text{pixel}$) 内で IrTAG が重複撮像されて起こる検出エラーは、ほぼないと想定することができる。なお、第 2 世代による 2003 年 11 月の展示会における運用では、延べ 249 人が平均 23 分装置を利用し、誤検出のエラーレートは 0.38% であった¹⁸⁾。誤検出の原因としては、固定の ROI 撮影領域に対して、対象が動く場合にロストしやすいことなどが考えられる。第 3 世代運用時も IrTAG 設置基準はほぼ同一である。ただし、機能的には ROI 撮影領域単位ではなく pixel 単位で光源を追跡可能であるため、より近接した IrTAG 設置も可能となる。図 9 に示すように、異なる ID 番号を発する IrTAG を装着し、利用者頭部方向の前後左右を簡易的に検出可能な装置なども運用した。第 3 世代の試用で誤検出例は観測されていない。ただし、ID 受信途中に障害物などで遮光されるなど ID 番号のデコードが途中で失敗するような状況については未評価である。より詳細な評価については今後の課題としたい。

体験記録における本装置の目的である体験状況の判別は、IrID 装置を含む各種センサ群の入力を総合的に用いて行われる。これら判別手法に関する詳細は既

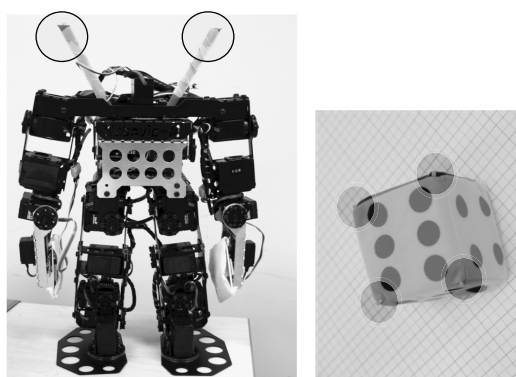
発表論文^{17),19)} に詳しい。IrID 装置からの入力による状況判別の例として LookAt (注視) がある。これは、人頭部やパネルなどに装着された対象 IrTAG を IrTRACKER が視野内に一定時間以上とらえた場合に判定される。判定時間長は体験状況判別システムより設定され、2002~2003 年の運用 (第 1, 2 世代) では 5 秒、2005 年 (第 3 世代) では 2 秒である。IrTRACKER は、この判定時間内に視野内 IrTAG を全数検出する必要がある。設置基準と運用状況に沿った視野内 IrTAG の想定数は、設置基準に沿ってパネルなど 0~4 個程度、利用者 0~3 人程度、総数として 1~4 個程度とする。各世代の特性評価結果 (3 章参照) から、第 1, 2 世代は 550 msec、第 3 世代では 150 msec で同数を判別可能であり、各世代の装置とも十分な基本性能を持っているといえる。

また、体験状況の判別結果を利用するアプリケーションとして、ビデオサマリシステムやコーパスビューアシステムなどが提案されている¹⁰⁾。ビデオサマリシステムは、映像の撮影対象を表す LookAt 情報などを用いて、複数の映像入力を自動編集し、1 本の個人的体験を要約した映像を作成するものである。コーパスビューアシステムは、各種体験状況の判別結果を図的に一覧表示し、認知心理学などを専門とする研究者による対話分析を助けるものである。映像編集や作図は LookAt を含むセンサ入力の時刻情報による。第 1, 2 世代は全画面撮影と逐次的な ID 取得を繰り返す仕様なので、IrTAG 数が増えるほど光点検出から ID 出力までの時間差が大きくなる。また、時間差が大きくなると、IrTAG 位置の変化にともなうデコード失敗の可能性が増すという問題もある。このため、分析者は IrTAG 検出時間差を十分意識して利用する必要があった。第 3 世代は画面内の複数 IrTAG を同時に検出可能なので、この時間差マージンを意識せずに利用することができる。このような用途では第 3 世代がより適切であるといえる。

4.2 小型トラッキングシステム

小型の汎用トラッキングシステムとして運用が行われた。

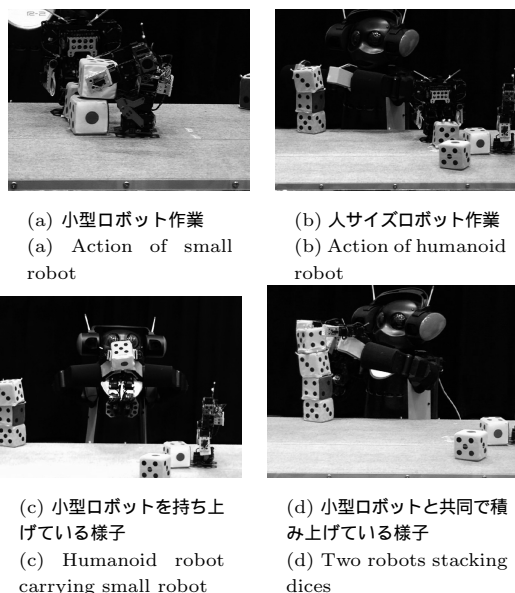
第 4 世代 IrID は、異種ロボット協調作業環境においてロボット位置や作業対象物位置を検出するための基本装置として利用された^{15),16)}。IrTAG は、小型ロボットの上部 2 カ所とサイコロに 4 カ所埋め込まれている (図 18)。第 4 世代 IrTRACKER は 3 次元測量のため改良され、人サイズロボットの頭部に 2 台装着されている。これを用いて、小型ロボットと人サイズロボットが協調して、サイコロを積み上げるデモ作業



(a) 小型ロボット搭載の IrTAG
(a) IrTAG on small robot
(b) サイコロ状の箱
搭載の IrTAG
(b) IrTAG on dice

図 18 IrTAG 装着の様子

Fig.18 Image of mounted IrTAG.



(a) 小型ロボット作業
(a) Action of small
robot
(b) 人サイズロボット作業
(b) Action of humanoid
robot
(c) 小型ロボットを持ち上
げている様子
(c) Humanoid robot
carrying small robot
(d) 小型ロボットと共同で積
み上げている様子
(d) Two robots stacking
dices

図 19 会場内での作業の様子

Fig. 19 Image of demonstration in the exhibition.

が、2005 年愛知万博会場ステージ上で行われた。赤外カットフィルタがない会場の照明、また、不慮のカメラフラッシュなどの外乱光環境でも約 2 週間連続して運用することが可能であった。IrTAG の検出誤差は、1 m の範囲内で平均約 17 mm である¹⁶⁾。図 19 に会場でサイコロを積み上げる作業中のロボットの様子を示す。

第 2.5 世代以降の IrTAG による高速通信機能を活かす例として、IrID による「自己記述的環境」を提案した⁵⁾。これは、IrTAG を内蔵する実世界オブジェクト



図 20 IrID システムを内蔵するプリンタのイメージ

Fig. 20 Image of IrID System in printer.

が、個々に自己の属性や状態を発信し、IrTRACKER は、その視野内世界から可能な解釈を行い、利用者への作業支援などをするものである。大型プリンタの各部品に IrTAG を装着した動作イメージを図 20 に示す。同図の作業手順提示のような数 KByte 程度の情報送信であれば、現在の第 3 世代 IrID 装置 (3 章参照) は必要性能を満たしているといえる。なお同提案自体には、現実世界の状況記述や解釈の手法に関する課題が多く残っている。

そのほか、第 2.5 世代 IrTRACKER は、組み込みシステムによる画像処理を学ぶための教材として「名古屋大学組込みソフトウェア技術者人材養成プログラム (NEXCESS²⁴⁾)」で用いられた。

5. 関連研究

タグなどの識別子を用いて実世界の対象物特定を行う研究には、無線²²⁾や超音波³⁾、赤外 LED-PD (Photodetector)²¹⁾ などの様々な方式によるものが提案されている。しかし、数 m の近～中距離で比較的空間解像度が要求 (数 cm) され、実世界環境での運用可能な装置の可搬性といった条件を満たす方式としては、LED-IS (Image Sensor) 方式^{1),9),12),13)} が適切と考えられ、我々もこの方式での開発を行っている。

このような光学的手法を用いた位置と対象の認識技術としては、バーコードなどの特徴抽出による方法もある。しかしこの方法では、レンズやイメージセンサの解像力を上げる必要があるため、光学系が比較的大型になってしまい、着用型端末として運用するには不向きであるという問題がある。

これに対して、時間軸上にエンコードされた情報を赤外線 LED など光点の明滅で表現し、これを一定時間イメージセンサで撮影して明滅部分の変化をデコードすることで、対照認識と位置測定を同時に行う研究がある^{12),13)}。光学系の解像力は比較的低くて済むた

め小型化が可能であるが、着用して用いるには処理速度が十分ではないという問題¹³⁾がある。また、ハイスピード撮影により時間解像度を上げてこの問題に対処した場合には、システムの大規模化により、着用型装置としての利用に向かないという問題¹²⁾も生じる。

本研究では、部分読み出し (ROI) 機能や、CPLD を使った画素明滅判定の前処理機能により、読み出し画素数を削減することで CPU の処理情報量を削減し、装置全体の動作周波数と消費電力の低減、形状の小型軽量化を実現した LED-IS 方式の装置を利用目的に応じて複数種類実装し、実運用を行った。

6. おわりに

本論文では、我々が試作した IrID システムの実装、各機能、特性、応用例について述べた。屋内用小型 LPS や体験記録用装置としての機能要求を念頭に、実装と装置の特性評価を行った。また、装置の実運用を行い、実環境での稼働を確認した。今後の課題として、小型化や消費電力低減、ID 認識の高速化などがある。

今回の試作過程では、基幹部品の生産停止や企業買収などによるタイムロスが幾度も発生した。ユビキタスコンピューティング系の実証実験が大規模長期間になるほど、このような問題は顕在化すると思われる。今後は、企業連携を深めるなどし、よりスムーズな進行ができればと思う。

謝辞 本研究の多くは、主著者が ATR メディア情報科学研究所在籍中に行われた。幅広い議論をいただいた同研究所所員の皆様に感謝する。また、実装にあたりご助力をいただいた、Sidney Fels 氏 (第 1 世代)、坂本竜基氏 (第 2 世代)、市原貴雄氏 (第 2.5 世代)、光永法明氏 (異種ロボット協調応用) の各氏に深く感謝する。

本論文のうち、第 1, 2, 3 世代 IrID システムの試作や運用は、情報通信研究機構の研究委託「超高速知能ネットワーク社会に向けた新しいインタラクション・メディアの研究開発」により実施された。異種ロボット協調応用は、新エネルギー・産業技術総合開発機構の研究委託「次世代ロボット実用化プロジェクト」による。IrTAG 特性評価分析の一部は、科研費若手研究 B (18700130) による。

参 考 文 献

- 1) 青木 恒: カメラで読み取る赤外線タグとその応用, インタラクティブシステムとソフトウェア VIII, pp.131-136 (2000).
- 2) E.T. ホール: かくれた次元, みすず書房 (1980).

- Hall, E.T.: *The Hidden Dimension* (1966).
- 3) Harter, A., Hopper, A., Steggle, P., Ward, A. and Webster, P.: The Anatomy of a Context-Aware Application, *Proc. MobiCom '99*, pp.59-68 (1999).
- 4) 伊藤禎宣, 角 康之, 間瀬健二: 赤外線 ID センサを用いた設置・着用型インタラクション記録装置, インタラクション 2003, 情報処理学会 (2003).
- 5) 伊藤禎宣, 市原貴雄, 坂本竜基, 間瀬健二, 國藤 進: 赤外線 ID タグを用いた自己記述的な環境の構築, 情報処理学会研究報告 (ヒューマンインタフェース), HI111-7 (2004).
- 6) Ito, S., Iwasawa, S., Kogure, K., Hagita, N., Sumi, Y. and Mase, K.: InteractionScope: Non-fixed Wearable Positioning for Location-aware System, *Adjunct Proceedings, The 6th International Conference on Ubiquitous Computing*, September 7-10, Nottingham England (2004).
- 7) Ito, S., Iwasawa, S., Tsuchikawa, M., Sumi, Y., Mase, K., Katagiri, Y., Kogure, K. and Hagita, N.: Implementation and Evaluation of Wearable Sensor Devices for Recording and Detecting Conversational Interaction, *Proc. 9th IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2005)*, Osaka, Japan, pp.130-137 (2005).
- 8) 伊藤禎宣, 岩澤昭一郎, 土川 仁, 角 康之, 間瀬健二, 片桐恭弘, 小暮 潔, 萩田紀博: 装着型体験記録装置による対話インタラクションの判別機能実装と評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.7, No.1, pp.167-178 (2005).
- 9) 岸野泰恵, 塚本昌彦, 坂根 裕, 西尾章治郎: ウェアラブル環境のための LED を用いたビジュアルマーカ, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.9 (2003).
- 10) 間瀬健二, 萩田紀博, 角 康之, 小暮 潔, 片桐恭弘, 伊藤禎宣, 岩澤昭一郎, 鳥山朋二, 土川 仁: インタラクションに基づく体験共有コミュニケーション, 情報処理学会論文誌: コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.48, No.SIG 1(CVIM 17), pp.53-64 (2007).
- 11) Matsuguchi, T., Sumi, Y. and Mase, K.: Deciphering Interactions from Spatio-Temporal Data, 情報処理学会研究報告 (ヒューマンインタフェース), Vol.2002, No.9, HI102-4, pp.21-26 (2003).
- 12) 松下伸行, 日原大輔, 後 輝行, 吉村真一: ID Cam: シーンと ID を同時に取得可能なスマートカメラ, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.12, pp.3664-3674 (2002).
- 13) Moore, D.J., Want, R., Harrison, B., Gujar, A. and Fishkin, K.: Implementing Phicons: Combining Computer Vision with InfraRed Technology for Interactive Physical

- Icons, *Proc. ACM UIST'99*, Ashville, N.C., pp.67–68 (1999).
- 14) Rekimoto, J. and Ayatsuka, Y.: CyberCode: Designing Augmented Reality Environments with Visual Tags, *ACM Designing Augmented Reality Environments (DARE 2000)*, pp.1–10 (2000).
 - 15) 篠沢一彦, 宮下敬宏, 光永法明, 大村 廉, 萩田紀博: 異種ロボット協調システム「親子ロボビー」, 日本ロボット学会誌, 愛・地球博特集, Vol.24, No.2, p.50 (2006).
 - 16) Shinozawa, K., Miyashita, T., Mitsunaga, N., Ohmura, R. and Hagita, N.: A prototype system for cooperation among heterogeneous robots, *36th International Symposium on Robotics*, CD-ROM (2005).
 - 17) 角 康之, 伊藤禎宣, 松口哲也, Sidney Fels, 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).
 - 18) 角 康之, 間瀬健二, 小暮 潔, 土川 仁, 片桐恭弘, 萩田紀博, 伊藤禎宣, 岩澤昭一郎, 中原 淳, 神田崇行: イベント空間における体験の記録と共有, 人工知能学会全国大会 (第 18 回), 金沢 (2004).
 - 19) Takahashi, M., Ito, S., Sumi, Y., Tsuchikawa, M., Kogure, K., Mase, K. and Nishida, T.: A layered interpretation of human interaction captured by ubiquitous sensors, *The 1st ACM Workshop on Continuous Archival and Retrieval of Personal Experiences (CARPE 2004)*, pp.32–38 (2004).
 - 20) 土川 仁, 岩澤昭一郎, 伊藤禎宣, 鳥山朋二, 小暮 潔, 萩田紀博, 間瀬健二, 角 康之: 装着型共有体験記録装置の試作, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, Vol.10, No.4, pp.533–542 (2005).
 - 21) Want, R., Hopper, A., Falcao, V. and Gibbons, J.: The Active Badge Location System, *ACM Trans. Information Systems*, Vol.10, No.1, pp.91–102 (1992).
 - 22) Want, R., Fishkin, K.P., Gujar, A. and Harrison, B.L.: Bridging physical and virtual worlds with electronic tags, *Proc. ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'99)*, pp.370–377 (1999).
 - 23) Physical Optics Corporation.
<http://www.poc.com/lcd/>
 - 24) 名古屋大学情報科学研究科.
<http://www.nces.is.nagoya-u.ac.jp/NEXCESS/>

(平成 19 年 4 月 13 日受付)

(平成 19 年 10 月 2 日採録)



伊藤 禎宣 (正会員)

2003 年北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士後期課程修了。同年 ATR メディア情報科学研究所研究員。2006 年より東京農工大学大学院工学府特任講師 (2007 年より特任准教授), NICT ユニバーサルメディア研究センター短時間研究員, ATR 知識科学研究所客員研究員。博士 (知識科学)。HCI, CSCW に興味を持つ。



岩澤昭一郎

2000 年成蹊大学大学院工学研究科博士後期課程単位取得退学。1999 年通信・放送機構招へい研究員。2002 年 (株) 国際電気通信基礎技術研究所 (ATR) 客員研究員を経て, 現在, ATR より情報通信研究機構へ専門研究員として在籍出向中。2000 年電気通信普及財団賞受賞。CG や画像処理, 立体ディスプレイの研究に従事。ACM 会員。博士 (工学)。



土川 仁 (正会員)

1990 年早稲田大学大学院理工学研究科機械工学専攻修了。同年 NTT 入社。2003~2005 年 (株) 国際電気通信基礎技術研究所へ出向。現在, NTT サイバーソリューション研究所/ネットワークサービスシステム研究所。画像認識, 医用画像伝送の研究等に従事。電子情報通信学会会員。



篠沢 一彦

1988 年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。1990 年同大学大学院修士課程修了。同年 NTT 入社。以来, NTT ヒューマンインタフェース研究所において, ニューラルネットワークを用いた組合せ最適化問題解法, 気象予測, 能動的学習法に関する研究に従事。1998 年より, NTT コミュニケーション科学基礎研究所にて, コミュニケーションロボットの研究に従事。現在, 国際電気通信基礎技術研究所知能ロボティクス研究所主任研究員。博士 (情報学), 電子情報通信学会, 神経回路学会各会員。



角 康之（正会員）

1990 年早稲田大学理工学部電子通信学科卒業．1995 年東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻修了．同年（株）国際電気通信基礎技術研究所（ATR）入所．2003 年より京都大学大学院情報学研究科助教授（現在は准教授）．博士（工学）．研究の興味は知識処理システムとヒューマンインタフェース．



間瀬 健二（正会員）

1981 年名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了．同年 NTT 入社．1995～2002 年（株）国際電気通信基礎技術研究所研究室長．2002 年より名古屋大学情報連携基盤センター教授．コンピュータによるコミュニケーション支援の研究を推進している．IEEE，ACM，電子情報通信学会，日本 VR 学会，画像電子学会各会員．博士（工学）．



鳥山 朋二

1987 年富山大学大学院工学研究科修了．同年 NTT 厚木電気通信研究所入所．以来，システム設計方式，ヒューマンインタフェースおよび画像処理等の研究に従事．2005 年富山県立大学大学院工学研究科社会人博士後期課程修了．2005 年より ATR に出向．電子情報通信学会，ヒューマンインタフェース学会，画像電子学会各正会員．博士（工学）．



小暮 潔（正会員）

1981 年慶應義塾大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了．同年日本電信電話公社に入社．現在，ATR 知識科学研究所所長．博士（工学）．自然言語処理，エージェント，ロボット，知的環境等の研究に従事．電子情報通信学会，人工知能学会，言語処理学会，日本認知科学会，日本音響学会各会員．



萩田 紀博（正会員）

1978 年慶應義塾大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了．同年日電公社（現 NTT）武蔵野電気通信研究所入所．文字認識，画像認識，コミュニケーションロボット，ネットワークロボット等の研究に従事．NTT 基礎研究所等を経て，現在 ATR 知能ロボティクス研究所所長，ATR メディア情報科学研究所長兼務．工学博士．IEEE，電子情報通信学会，人工知能学会，日本ロボット学会各会員．