



Title	ALTAIR : アクティブIRタグを用いた複数ユーザ位置固定システム
Author(s)	坂田, 宗之; 安室, 喜弘; 井村, 誠孝 他
Citation	電気学会論文誌. E. 2003, 123(8), p. 279-284
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/3481
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

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

非会員 坂田 宗之* 非会員 安室 喜弘*
非会員 井村 誠孝* 非会員 眞鍋 佳嗣*
正員 大城 理* 非会員 千原 國宏*

ALTAIR:Automatic Location Tracking system with Active IR-tag

Muneyuki Sakata*, Non-member, Yoshihiro Yasumuro*, Non-member, Masataka Imura*, Non-member,
Yoshitsugu Manabe*, Non-member, Osamu Oshiro*, Member, Kunihiro Chihara*, Non-member

This paper proposes a new location-awareness system, ALTAIR (Automatic Location Tracking system with Active IR-tag) that automatically detects and tracks the locations of the mobile PC (Personal Computer) users. IR(InfraRed)-tag is stably detected and distinguished from the scenery by IR filtering camera. Combination of the IR-tag and wireless LAN (Local Area Network) enables ALTAIR to control the timing and the lighting pattern of the IR-tags through the network to perform stable tracking for multiple users. To identify the user and the location, detected IR-tag position and its network information (e.g. IP address) are associated with each other. ALTAIR is capable of dynamic management of the users' entry and automatically starts to aware the user's position when he/she enters the system area, using DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) performances. Our experimental results show the effective performance in terms of precision and stability for tracking and identifying the users' positions in an office environment.

キーワード：ユビキタスコンピューティング, 赤外線タグ, 広角カメラ, 無線ネットワーク, 位置同定, ユーザ識別

Keywords: Ubiquitous Computing, Infrared(IR) Tag, Wide-angle Camera, Wireless Network, Location Awareness, User Identification

1. はじめに

携帯電話や PDA といった携帯型情報端末が広く一般に普及し、街角で無線ネットワークのサービスが始まるなど、場所を選ばずに情報機器に接することが日常的になっている。情報機器の可搬化やネットワーク環境の拡大が進むにつれ、いつでも、どこでも計算機やネットワーク資源が利用できるようになりつつある。刻々と変化する自分や他のユーザの現在位置を把握し、現在位置に関連付けされた情報を提供する新しい利便性が考えられる。例えば、現在位置から目的地への案内を行うマン・ナビゲーションシステム⁽¹⁾のほか、オフィスビルの中で誰がどこにいるか、自分が利用できる最寄りの資源は何処かなどを把握するシステムの研究がなされている^{(2)~(5)}。また、遍在計算機システム

(Ubiquitous Computing System) の考え方が提案され、実世界の様々なものに計算能力と赤外線や無線による通信能力を備えた小型装置をつけ、それらの相互作用によってその場に合わせた情報サービスの提供する枠組みも現実的になってきている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。この枠組みを効果的に利用するためには、ユーザや端末の位置を同定する技術が基盤となっており、場合によっては、建物や生活環境の中に埋め込まれたセンサや情報機器が、ユーザの存在や位置あるいは行動を、自発的に検知するシステムの実現が望まれる。

ユーザ端末の位置を同定する技術としては、GPS (Global Positioning System) と呼ばれるシステムがすでに実用化され、近年では一部の携帯電話に搭載される等、様々な用途で広く利用されている。しかし、人工衛星からの電波を利用するこのシステムの特性上、基本的に電波が遮蔽される地下や屋内での利用はできない。屋内において人の位置情報を取得する手法としては、カメラなどのイメージセンサを用いる方法⁽⁴⁾や、電波や超音波の発信・受信による方法⁽⁵⁾が提案されている。カメラからの映像情報を使って人間を追跡する方法の多くは、色情報のマッチング処理を用

* 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
〒 630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology
8916-5, Takayama, Ikoma, Nara 630-0101 JAPAN

いて人物像の追跡を行う。人物像の色情報は衣服や環境の変化に影響を受け易いため、位置検出の安定性に限界があり、システムがユーザを自動的に識別させることは困難である。電波や超音波の送受信を用いる方法では、高精度の位置検出とユーザ識別が可能である反面、対象とする環境中に多数のセンサを予め設置する必要がある。

本研究では、屋内におけるユーザの識別と位置情報の把握とを両立するシステムの構築を目的とし、オフィス環境などの屋内空間を対象にしたロケーションシステム、ALTAIR (Automatic Location Tracking system with Active IR-tag) を提案する。このシステムは、ユーザが持ち歩く端末に取り付けた IR (InfraRed, 赤外線) タグと赤外広角カメラの組み合わせを用いて、少ないセンサにより安定した位置同定を行い、ネットワーク技術を利用してタグを制御することにより自動的に各ユーザを識別し追跡することを可能にするものである。

2. 提案手法

ALTAIR では、広範囲のユーザ位置情報を安定して取得するために、赤外発光マーカをユーザ端末に取り付け、赤外波長帯だけを広角カメラで検出する。そしてネットワークを介してシステムとユーザ端末との間で通信を行い、赤外発光マーカの発光タイミングと発光パターンを制御することにより、カメラで検出されるタグの赤外光と各ユーザ端末とを対応付け、識別する。すなわち、広角カメラを時空間センサとして用いることにより、空間的に複数のタグを映像に捉え、時間的に赤外発光パターンを識別し個々のタグを追跡することにより、端末ユーザの追跡と識別の機能を実現する。位置同定には、複数のカメラを使用して異なる視点からタグの発光位置を観測し三角測量を適用することが可能であるが、より簡単にはユーザ端末のおおよその高さを仮定すると、単一のカメラの映像を用いても部屋の中でのユーザ位置は概算できる。したがって、小型の赤外発光タグを各ユーザ端末に取り付けておき、対象となる空間をカバーできるように広角カメラを設置するだけでシステムが構成できる。また、DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) サーバのように端末のネットワーク接続を動的に行うシステムを併用することによって、ユーザが ALTAIR の対象領域に出入りする際のユーザエンタリを自動的に管理する機能が容易に実現できる。

3. システム構成および処理手順

ALTAIR は、各ユーザが携帯する端末と Location Server システムによって構成される有線・無線でネットワーク化されている。システム構成を図 1 に示す。ユーザの端末は、無線 LAN 通信機能を有した小型の PC や PDA 等とそれに接続されている IR タグで構成される。Location Server システムは、数台の赤外広角カメラとその画像を処理する PC (Tag Detector), 各 Tag Detector からの情報を集めて各部屋内のユーザの位置を把握する PC (Local Location

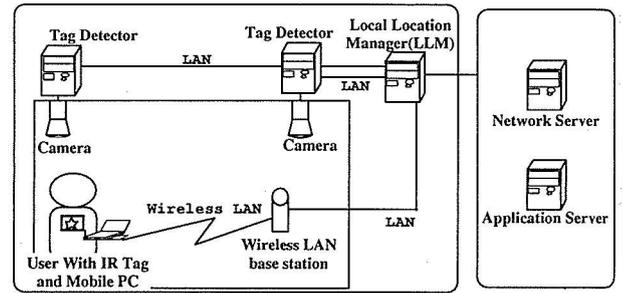


図 1 システム構成

Fig. 1. System Overview.

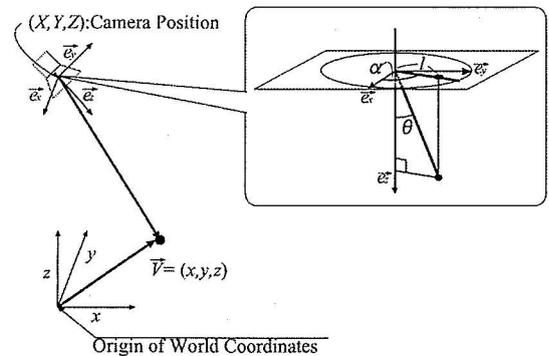


図 2 カメラ座標系と実空間座標系

Fig. 2. Camera coordinates and World coordinates.

Manager: LLM), DHCP を用いてユーザ側システムに IP アドレスを付与し LLM とのネットワーク接続を行う PC (Network Server), LLM で管理されたユーザの位置情報を元にユーザにアプリケーションを提供する PC (Application Server) から構成されている。次に、ALTAIR の基幹部分となる IR タグ、赤外広角カメラ、Tag Detector, LLM について詳述する。

〈3・1〉 IR タグ IR タグは赤外線を発光する LED とその明滅を制御できる小型の装置で構成され、制御信号はユーザ端末より送られる。Location Server からネットワークを介して送られてくるメッセージに従って IR の LED を発光させる。本論文での実装においては、赤外 LED の点灯パターンは点灯と点滅の 2 種類であり、LLM からの要求を受けた場合のみ点滅を行い、その他は常時点灯することにより、同時に観測される複数の IR タグの中から 1 つを識別できる。

〈3・2〉 赤外広角カメラ CCD カメラのイメージセンサは近赤外領域にも感度をもっているため、可視光を遮断しタグに用いる LED の発光波長を通過させるフィルタを CCD カメラに装着することにより (近) 赤外カメラとして用いることが出来る。広角レンズを用いた撮像系の画像中の座標から実空間座標への座標変換は以下の手法を用いる。図 2 に座標系を示す。カメラの光軸に対して被写体が観測される方向がなす角度と、画像上での中心からの被写

体像までの距離との対応を示すデータ表がレンズメカより提供されており、これをスプライン補間して用いることにより、カメラ光軸と IR タグとの角度を算出する。カメラの位置と実空間座標系でのカメラの姿勢を表す基底ベクトルを $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$ とすると、実空間座標原点から IR タグへのベクトル $\vec{V} = (x, y, z)^T$ は以下の式で表される。

$$\vec{V} = (X, Y, Z)^T + k(\vec{e}_x \sin \theta \cos \alpha + \vec{e}_y \sin \theta \sin \alpha + \vec{e}_z \cos \theta)$$

この式において高さ z を一定値に固定することで、実空間での位置 (x, y, z) を一意に定めることができる。

〈3・3〉 Tag Detector Tag Detector は、赤外広角カメラで取得された画像から輝点を抽出し、IR タグの実空間座標での位置の算出及び点滅の検知を行う。

カメラ画像に対して、輝度値の二値化と連続領域抽出(ラベリング)処理を加えて、輝点の重心座標を抽出する。抽出された各輝点の情報は、最新の座標値、点灯状態フラグ、点滅カウンタを要素に持つリスト構造のデータによって管理される。輝点の追跡は、連続するフレームにおいて、最も近い輝点を探索して座標値を更新することで行う。探索範囲内に該当する既存の輝点データのリストが存在しなかった場合、新しい輝点としてリストに登録する。また、現在のフレーム中に観測される輝点を全て用いて更新を行っても情報が更新されなかった輝点のデータは、点灯状態フラグを消灯の状態にし、最後に観測された座標値を保持する。点灯状態フラグが消灯の状態とされている輝点データが再び更新された場合、点灯状態フラグを点灯の状態にする。この消灯から点灯の状態変化を点滅カウンタで数える。連続する一定数のフレームにおいて点滅カウンタの回数がある閾値を越えたときに、その輝点を点滅しているものと判定し、LLM に送信する情報に付記する。

〈3・4〉 Local Location Manager Local Location Manager (LLM) では、Tag Detector から送られてくる情報を用いて、ユーザの追跡と判別とを並行して行う(図3参照)。

〈3・4・1〉 識別順序の管理 ユーザを識別するために、LLM はユーザの IR タグに対して順次点滅要求を送信する。ユーザの識別順序は、ユーザの識別番号が登録されたキュー(点滅キュー)によって管理されている。キューは通常キューとイベントキューの2本で構成されている。イベントキューには早急に位置を確認する必要があるユーザの識別番号が格納される。具体的にはシステムがユーザを一時的に見失った場合や、ユーザ同士の位置が交差して誤追跡を行う可能性がある場合に当該ユーザの識別番号が登録される。通常キューはユーザ全員を順番に確認するためのキューで、通常キューから取り出したユーザ識別番号は再び同じキューの末尾に登録される。識別番号を取り出す際は、イベントキューから優先的に取り出し、イベントキューが空の場合、通常キューから取り出す。

〈3・4・2〉 ユーザ位置追跡 LLM は Tag Detector よ

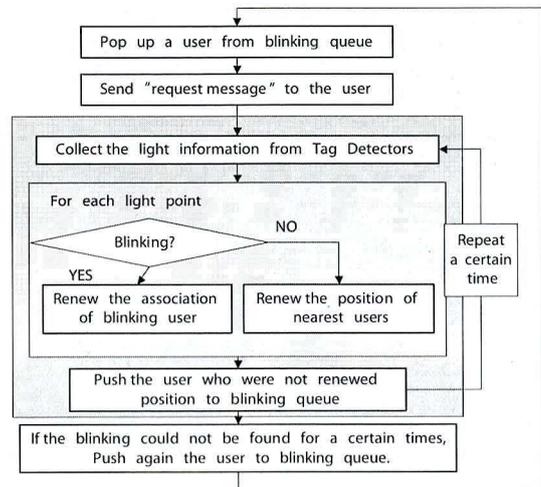


図3 LLMによるユーザ位置追跡と識別処理の流れ

Fig. 3. Process flow of LLM.

り輝点位置を取得し、その位置情報に基づいてユーザの位置情報を更新する。輝点が点滅しているものであれば、現在 IR タグを点滅させているユーザの位置情報として更新する。その他のユーザに関しては、検出されたそれぞれの輝点に対して、最も近い位置に存在しているユーザを対応付けて、輝点位置を新たなユーザの位置とする。全ての輝点情報を用いて更新を行った後、位置情報が更新されていないユーザは、一時的に見失われたとみなして、イベントキューに識別番号を格納する。また点滅している輝点を検出できなかった場合は、点滅させていたユーザ識別番号をイベントキューの末尾に格納する。

〈3・4・3〉 新規ユーザ登録 新しいユーザがシステム領域に入った時には、ユーザ側のシステムは、Network Server の DHCP サービス等を利用して、自らの IP アドレスなどのネットワーク環境と、その領域を管轄する LLM へ接続するための情報を取得する。ここで得た情報を元に、LLM へ接続要求を送る。ユーザ接続受付部において、ユーザ側からの接続要求を受け付けた LLM は、新しいユーザにユーザを識別するための番号を付け、位置情報等格納するデータ領域、点滅メッセージの送信用のユーザ通信部等を生成する。さらに、点滅キューの通常キューとイベントキューの双方に、新しいユーザの識別番号を格納する。

4. 実験

ALTAIR のプロトタイプを実装し、次の項目についてシステムの動作の検証を行った。

- (1) 赤外広角カメラによる計測精度
- (2) Tag Detector におけるユーザ追跡
- (3) LLM によるユーザ識別

〈4・1〉 実験環境 本実験で使用した IR タグは、主に、PIC (Peripheral Interface Controller), 赤外線 LED (直径 5mm, ピーク波長 880nm, ビーム角 40°) 1 個, RS232C

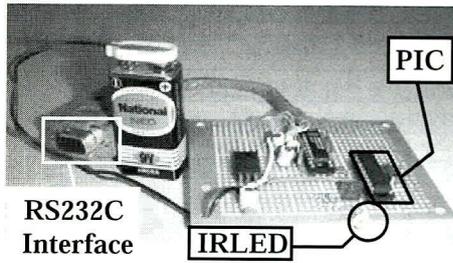


図 4 試作 IR タグ

Fig. 4. Prototype IR-tag.

表 1 実験に使用した PC の仕様

Table 1. Specifications of the PCs used for the experiments.

Components	CPU	RAM
LLM・Tag Detector (1)	Pentium4 2.0GHz	512MB
Tag Detector (2)	Pentium4 1.8GHz	512MB
Mobile PC (× 4)	PentiumII 400MHz	128MB

インタフェースを利用して作成した(図4)。PICのプログラムメモリにLEDの点滅パターンをプログラムしておき、ユーザ端末とのシリアル通信によって点滅パターンの選択制御を行った。試作したタグは10cm四方程度の大きさであるが、回路の集積化等で小型化が可能である。

赤外広角カメラは、カラー CCD カメラ (Watec 社製)、700nm 以上の通過帯域を透過する赤外透過フィルタ、視野角 180° の魚眼レンズで構成した。カラー CCD カメラは赤外線除去フィルタが内蔵されているため、そのフィルタを取り外し、赤外光以上の波長を透過する赤外線透過フィルタを取り付ける改造を行い魚眼レンズを装着した。通常の可視光の魚眼カメラと本実験で用いたカメラで取得した画像の比較を図5に示す。可視光映像では複雑なオフィスの風景であるが、近赤外映像では容易に IR タグが抽出できることがわかる。

タグの高さを一定値としたときの、単眼赤外広角カメラによる位置計測を行う際の計測誤差分布を予備実験により確認した。タグの高さを1.2mとし、光軸に関して左半分のカメラ視野における計測誤差を、真値からの距離で表した分布を図6に示す。6m×6mの床面積の領域に対して、平均誤差は9cm、最大で30cm程度であった。ユーザが部屋の中のどこにいるか、あるいはどの席にいるかをモニターするためには十分な精度である。

〈4・2〉 Tag Detector と LLM によるユーザの追跡と識別 6m×6mの床面積の領域において座標軸を図7のように取り、計測対称領域とした。ユーザの体によるIRタグのオクルージョンを軽減するために2台の赤外広角カメラを用意し、(x,y)=(0m,0m),(6m,6m)の位置に、高さ2.5m、俯角約45°で向き合うように設置した。表1に示す2台のPCを用い、一台にLLMとTag Detector、もう一台にTag Detectorを実装した。Tag Detectorに入力される画像の大きさは640×480pixelで、画像更新速度は約

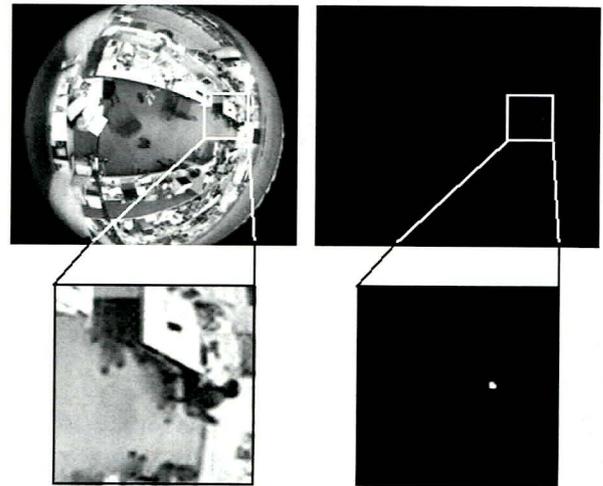


図 5 通常の広角カメラ(左)と赤外広角カメラ(右)で撮影した画像(上段白四角部分を下段で約5倍拡大)

Fig. 5. Captured images with wide-angle camera: visible range (left) and infrared range (right).

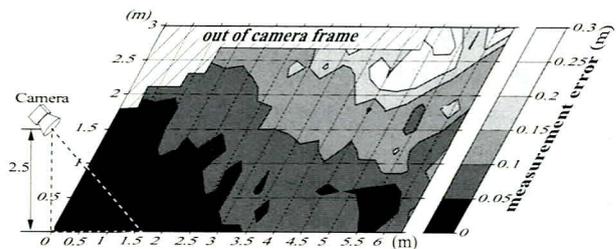


図 6 単眼広角カメラによる位置計測誤差分布

Fig. 6. Positioning error distribution for one camera measurement.

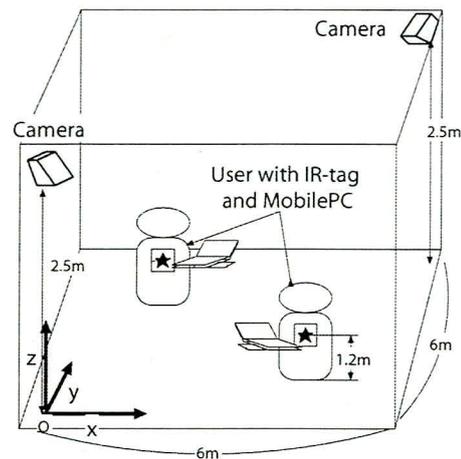


図 7 実験対象領域

Fig. 7. Space setup for the experiment.

22fpsであった。このことから、IRタグのLEDの点滅を10Hz(50msの点灯と50msの消灯の繰り返し)が2秒間継続するようにPICの設定を行い、Tag Detectorでは連続

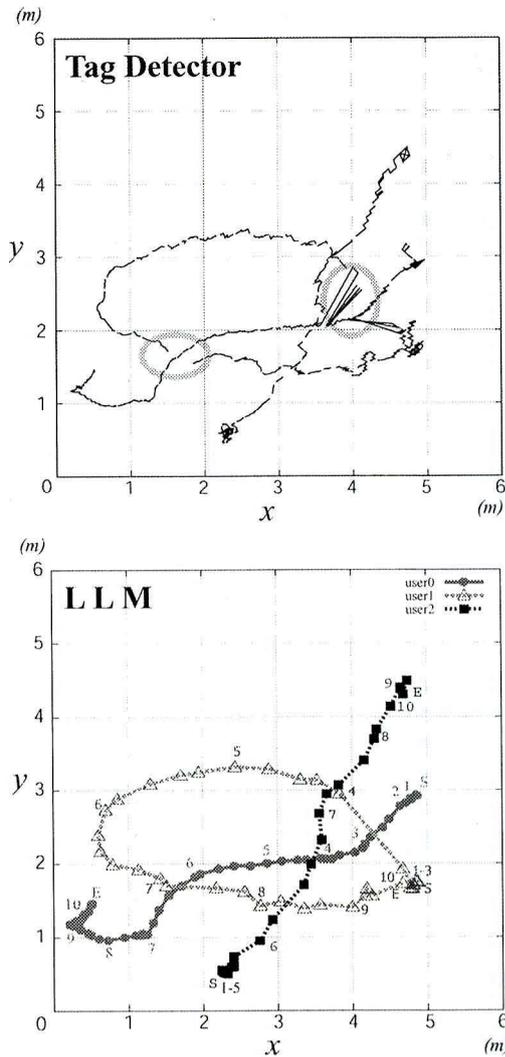


図8 Tag Detector (上) と LLM (下) による IR タグの追跡結果
 Fig. 8. Tracking results by Tag Detector (top) and LLM (bottom).

12フレームをモニターし輝点の明滅を3以上カウントした場合を点滅として検知するものとした。各カメラにおける画像中心や、画像半径は手作業で与え、IR タグの高さの値を1.2mに設定して位置計測を行った。また、この実験において、各PCのIPアドレスは既知のものであるとした。

3人のユーザが胸の高さに端末を持って計測領域内を歩いた場合に、Tag DetectorでIR タグを追跡した結果を図8(上)に示す。各時刻でのフレーム間における近傍探索によって輝点の軌跡を求めているため、IR タグが隠されたり近づいたりした場合には、追跡が不可能であったり誤った対応付けがなされたりする可能性がある。丸で囲んで示した部分は、人が交差して完全にIR タグが隠されてしまった場合と、ユーザとユーザが接近した場合を示している。追跡が途切れてしまったり、異なるIR タグの軌跡を対応付けてしまっことを示している。

一方、LLMによる追跡結果を図8(下)に示す。3人の

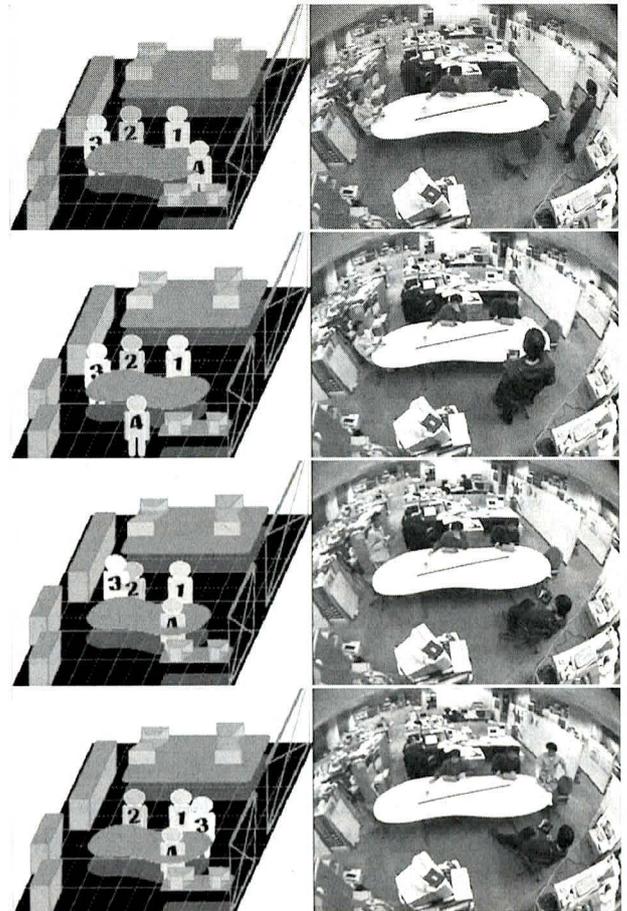


図9 LLM 出力例 (左) とカメラ映像 (右)
 Fig. 9. Output of LLM (left), video image for comparison (right).

ユーザの軌跡それぞれについて、Sを始点、Eを終点とし、軌跡上の数字は同じ時刻を表している。Tag Detectorでは追跡できなかったり誤対応が生じていたIR タグの軌跡 (user1: 時刻1-4, 時刻7-8) も、LLMのイベント管理と動的なIR タグの呼び出し・識別機能により、最終的に正しく出力していることが確認された。尚、LLMでの位置情報の更新は約2fps、点滅キューからユーザ識別番号を取り出す間隔、すなわち1回の識別にかかる時間は約4秒であった。

実際のオフィスにおいてALTAIRを設置し、4人のユーザの端末にIR タグを取り付けて使用した例を図9に示す。図の左列にLLMの出力をグラフィクスで表示した例を示し、右列に比較用に撮影した同じシーンの映像を示す。図9左列のように、部屋のレイアウトと検出されたユーザの位置情報を合わせて表示することにより、各ユーザの所在がより明確になる。

〈4・3〉考 察 20Hz程度の比較的早い速度でのフレーム間追跡処理とタグの呼び出しによる識別処理とを併用することによって、誤差の蓄積を回避しつつ安定した複数ユーザの位置同定が可能であるという本手法の有効性が確認された。仮に長い時間IR タグがカメラから観測されない場合でも、ネットワーク接続が継続している間はシス

テムが IR タグの呼び出しを続けているため、カメラから IR タグの光が再び検知されたときに点滅要求がかかった段階でユーザの位置情報が再び正しく更新されるという動作も画像センシングだけでは得られない利点である。ユーザ一人の呼び出しに 4 秒程度かかるのは十分早いとは言えないが、CMOS カメラのように撮像信号の読み出し領域を制御可能なセンサを使うなど、撮像レートを上げる工夫により点滅検知処理が高速になれば改善が可能であると考えられる。問題点としては IR タグの発光がカメラで検知されない場合が容易に起こるということが挙げられる。ユーザ自身の体等で光が遮られてしまうオクルージョンの他、IR タグに使用している赤外線 LED の指向性が比較的高いことも理由である。よりビーム角の大きい赤外線 LED や、複数の赤外線 LED を用いるなど IR タグの改良が必要であると考えられる。

5. おわりに

本稿では、複数のユーザが端末を携帯して動き回る環境において、広角赤外カメラとネットワークを介して制御可能な IR タグを用いて、複数のユーザの識別と位置追跡とを同時に行うシステム、ALTAIR を提案・実装し、実験によりその有効性を確認した。今後は、IR タグの指向性を改良しカメラからの視認性を向上させるとともに、複数の領域を跨いでより広い範囲への適用を行っていく予定である。

謝 辞

本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (B 課題番号: 13558043) 及び科学技術振興事業団 (JST) の戦略的基礎研究推進事業 (CREST) 「高度メディア社会の生活情報技術」の支援による。

(平成 14 年 11 月 27 日受付, 平成 15 年 3 月 27 日再受付)

文 献

- (1) J. Rekimoto et al.: "The World Through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments", Proc. 8th ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp. 29-36, Pittsburgh, PA, (1995-11)
- (2) J. Hightower et al.: "Location System for Ubiquitous Computing", *COMPUTER*, Vol. 34, No. 8, pp. 57-66 (2001-8)
- (3) R. Want et al.: "The Active Badge Location System", *ACM Transactions on Information Systems*, pp. 91-102 (1992-1)
- (4) J. Krumm et al.: "Multi-Camera Multi-Person Tracking for Easy Living", Proc. 3rd IEEE Int'l Workshop on Visual Surveillance, IEEE Press, pp. 3-10, Dublin, IRELAND (2000-7)
- (5) A. Harter et al.: "The Anatomy of a Context-Aware Application", Proc. 5th Ann. Int'l Conf. Mobile Computing and Networking (MOBICOM'99), pp. 59-68, New York (1999-8)
- (6) M. Weiser: "The Computer of the 21st Century", *Scientific American* Vol. 265, No. 3, pp. 66-75 (1991-9)
- (7) G. D. Abowd et al.: "Cyberguide: A mobile context-aware tour guide", *ACM Wireless Networks*, Vol. 3, pp. 421-433 (1997-10)

坂田 宗之 (非会員) 1979 年 6 月 8 日生。2003 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程終了。ユビキタスコンピューティング, ロケーションセンシング分野に興味を持つ。



安室 喜弘 (非会員) 2000 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年大阪大学リサーチアソシエイト, 2001 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手, 現在に至る。コンピュータグラフィックス, 人工現実感に関する研究に従事。電子情報通信学会, IEEE 等各会員。博士 (工学)。



井村 誠孝 (非会員) 2001 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年同研究科助手, 現在に至る。可視化および人工現実感に関する研究に従事。ヒューマンインタフェース学会, 可視化情報学会, IEEE 等各会員。博士 (工学)。



眞鍋 佳嗣 (非会員) 1995 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。同年同大学基礎工学部助手。1999 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授, 現在に至る。2001 年ヨエンスー大学客員研究員 (10ヶ月)。カラー画像処理, 質感計測・表現の研究に従事。ヒューマンインタフェース学会, 電子情報通信学会, 情報処理学会, IEEE 等各会員。博士 (工学)。



大城 理 (正員) 1962 年 7 月 23 日生。1990 年大阪大学大学院博士課程修了。同年住友金属工業入社。1993 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手。1994 年同大学先端科学技術研究調査センタ助教授。主として医用画像処理, 3 次元可視化の研究に従事。工学博士。



千原 國宏 (非会員) 1945 年 5 月 14 日生まれ。1973 年大阪大学大学院博士課程修了。同年同大学基礎工学部助手。1983 年同大学基礎工学部助教授。1992 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授。主として医用超音波計測, 生体内可視化の研究に従事。工学博士。

