

博士論文

アクティブ赤外線タグを用いた
屋内ユーザロケーションシステム

坂田 宗之

2005 年 3 月 20 日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報処理学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
博士(工学) 授与の要件として提出した博士論文である。

坂田 宗之

審査委員：

千原 國宏 教授 (主審査委員)

横矢 直和 教授 (副審査委員)

眞鍋 佳嗣 助教授 (副審査委員)

アクティブ赤外線タグを用いた 屋内ユーザロケーションシステム*

坂田 宗之

内容梗概

情報機器の可搬化やネットワーク環境の拡大が進み、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。このような環境の中で、刻々と変化する自分や他のユーザの位置を把握し、現在位置に関連付けされた情報を提供したり、過去の位置情報を利用することで新しい利便性が生まれる。この考え方にはユーザや端末の位置を同定するシステム、ロケーションシステムが必要不可欠である。

屋外においては、GPS(Global Positioning System) が最有力なロケーションシステムである。GPS は、条件が揃えば最高で 1m 程度の位置同定精度を実現しており、携帯電話にも搭載できるほど小型化されていたり、近年ではカーナビゲーションシステムだけでなく親が子供の現在の位置を遠隔地から確認できるサービスに利用されるなど、広く一般に普及している。一方、オフィス環境などの屋内のロケーションシステムについても種々の研究がなされている。しかし、各手法は位置同定精度やユーザ識別能力の有無、コスト面など様々な特徴を有しており、決定的なシステムは存在していない。

本研究では、屋内におけるロケーションシステムに必要な条件を、ユーザの行動を制限しないこと、高い位置同定精度、センサ数が少なく簡便なシステムであることの三点であると考え、ユーザの行動を制限しないためには、各ユーザが携帯するデバイスをできるだけ小さく、軽くする必要がある。また、位置の把握

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報処理学専攻 博士論文, NAIST-IS-DD0361012, 2005 年 3 月 20 日.

を行うためにユーザの意図的な動作を必要とせず，システムが自動的に位置情報を把握・管理し，ユーザの必要な時にアプリケーションとして提示可能なシステムであることが重要である．

本論文では，屋内においてこれらの条件を満たす位置同定，ユーザ識別の手法を提案した．本論文で提案する手法では，ユーザ端末に取り付けられた IR (赤外線) タグの発光を赤外広角カメラにより検出し，少ないセンサで安定した位置同定を行う．同時に，システムとユーザ端末の通信を利用してタグの発光を制御し，これを用いて対応付けを行う事で自動的に各ユーザを識別し追跡することを可能にする．

提案した手法を実現するため，ロケーションシステムのプロトタイプである ALTAIR (Automatic Location Tracking system using Active IR-tag) を構築し，有効性を確かめる実験を行った．実験では，まず各領域においてユーザの識別および位置同定が自動的かつ比較的高精度に安定して行うことができることを示した．次に，ユーザの居る領域を無線ネットワークのアクセスポイントに関する情報を利用して同定可能であり，ユーザの領域の移動を自動的に取得し，各領域におけるユーザ識別および位置同定がユーザの意図的な動作を必要とせずに始められることを確認した．さらに，各領域において取得されたユーザの位置情報をデータベースを用いて管理することで，基礎的な複数のアプリケーションに利用可能であることを示し，実験の結果から提案手法の有効性，ALTAIR の能力，ALTAIR の適用可能な場面などについて考察を行った．

キーワード

ユビキタスコンピューティング, ロケーションシステム, 赤外線, 無線ネットワーク

Automatic user location system using Active IR-tag*

Muneyuki Sakata

Abstract

It becomes more and more common to use the personal computers (PCs) regardless of the place recently as the mobile PCs such as the cellular phones and PDA (Personal Digital Assistant) spread widely and the service of the wireless network starts in new locations; cafes, airports, sporting arenas, public libraries in the town. Therefore, people can visit any place with their mobile PCs with network connection and may need to refer some information related to the location where the user is standing right now. GPS (Global Positioning System) is a powerful location system for outdoors. However many indoor spaces are out of the reach of GPS, while wireless network services are fast becoming to popular in many office buildings. For indoors location, some methods to acquire people's location and behavior in a space are proposed and developed. Though some methods using a combination of transmitters and receivers of radio and/or ultrasonic wave achieves highly precise positional detection, the system requires installing a number of sensors in the environment. Most of the approaches using color image processing requires each user to do some log-in operation purposely, typing their names and password, for example, so that the system can start to trace and identify the user.

*Doctoral Dissertation, Department of Information Processing, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DD0361012, March 20, 2005.

This paper proposes a new method of user tracking and user identification. The proposed method uses wireless network and a pair of IR-tag and IR wide-angle camera. IR-tag is an active marker with Infra-Red LED, which can be clearly detected by IR-pass filtered camera. We design the IR-tag as controllable by a portable device like a mobile PC or PDA. As the device connected with the network, the location system is able to request the device to change the lighting pattern of the IR-tag, for example, blinking or keeping light on. Blinking IR-tag detected by the camera can be identified with the portable devices getting a request through the network. In this method, the camera is used for both spatial and temporal sensing to detect position and lighting pattern.

This paper also proposes new location system, ALTAIR (Automatic Location Tracking system with Active IR-tag) that realizes our method of user tracking and identification, and describe the prototype of ALTAIR. The experimental results show ALTAIR can automatically detect and track the locations of users so that each user can derive the information based on the place where he/she is in a building. Each user's position is detected and renewed in real-time and the system can monitor the situation such as who is at which desk/path and who meet who on which aisle. As ALTAIR manages location information using database, the information can be applied to many types of application. Our sample application shows that we can use users' location past and present.

Keywords:

Ubiquitous Computing, Location System, Infra-Red, Wireless Network

目次

1	序論	1
1.1	ユビキタスコンピューティング	2
1.2	ロケーションシステム	3
1.3	本論文の構成	4
2	ロケーションシステムに関する先行研究と本研究の目的	7
2.1	ロケーションシステムの応用例:Sentient Computing Project	7
2.1.1	Active Bat	7
2.1.2	Spacial Monitor	10
2.1.3	Follow Me Camera	10
2.2	位置同定手法の分類	12
2.2.1	自律計測型ロケーションシステム	12
2.2.2	センサ埋め込み型ロケーションシステム	14
2.2.3	カメラ画像処理型ロケーションシステム	18
2.3	研究目的	21
3	屋内ユーザロケーションシステム ALTAIR	23
3.1	ユーザ識別・位置同定手法	23
3.2	ALTAIR のシステム構成	28
3.3	処理の流れ	32
3.4	座標変換による位置同定法	34
3.5	時系列位置同定処理	35
3.5.1	Tag Detector における時系列画像処理	35
3.5.2	LLM における時系列処理	38

目次

3.6	データベースを利用した位置情報の管理	39
3.7	領域間移動の自動検出	40
4	プロトタイプシステムの構築および実験	43
4.1	プロトタイプデバイスの実装	43
4.1.1	IR タグ・ユーザ側システム	43
4.1.2	赤外広角カメラ	44
4.2	赤外広角カメラのキャリブレーション	46
4.3	位置同定における計測誤差	47
4.4	Tag Detector と LLM によるユーザの追跡と識別	49
4.4.1	実験環境・実験設定	50
4.4.2	実験結果	51
4.4.3	実験考察	53
4.5	アプリケーション構築	53
4.5.1	Room Viewer	54
4.5.2	Floor Viewer	56
4.5.3	Log Viewer	56
4.6	領域間移動を含むユーザ行動記録実験	58
4.6.1	実験環境・実験設定	59
4.6.2	実験結果	61
4.6.3	実験考察	63
4.7	考察	64
4.7.1	提案手法の考察	64
4.7.2	研究目的との比較	66
4.7.3	ALTAIR の能力に関する考察	67
4.7.4	ALTAIR が適用可能な場面	71
5	結論	73
	謝辞	75

参考文献	77
研究業績	83

図 目 次

2.1	実空間の状況とシステムが認識している状況	8
2.2	オブジェクト領域	8
2.3	3次元ポインティングデバイス (Mice, Smart Poster)	9
2.4	2D Viewer of Spacial Monitor	9
2.5	Follow Me Camera	11
2.6	Auto Document Maker	11
2.7	小西らの自律航法的システムの構成	13
2.8	NaviCam	14
2.9	Active Badge と赤外線センサ	15
2.10	NaviGeta と ID カーペット	16
2.11	Active Bat システム	17
2.12	Cricket ビーコンとリスナ	18
2.13	EasyLiving	19
3.1	ARToolKit	24
3.2	TRIP	24
3.3	Balloon Tag	25
3.4	提案手法概念図	27
3.5	システム構成	29
3.6	赤外広角カメラ	30
3.7	LLM の内部構成	31
3.8	ユーザ識別の流れ	33
3.9	カメラ座標系と実空間座標系	34
3.10	Tag Detector と LLM のデータの流れ	36

図目次

3.11 Tag Detector によるタグ追跡と点滅検知の流れ	37
3.12 Tag Detector のリスト更新例	37
3.13 LLM によるユーザ位置追跡と識別処理の流れ	38
3.14 Location Database の構造	40
3.15 領域移動自動検出	42
4.1 ユーザ側システム	45
4.2 ユーザ側システムを携帯している様子	45
4.3 通常の広角カメラと赤外広角カメラで撮影した画像	46
4.4 赤外広角カメラのキャリブレーション	47
4.5 IR タグの高さに対する計測距離の変化	48
4.6 単眼広角カメラによる位置計測誤差分布 (IR タグの高さ=1.2m)	48
4.7 単眼広角カメラによる位置計測誤差分布 (IR タグの高さ=1.0m)	49
4.8 単眼広角カメラによる位置計測誤差分布 (IR タグの高さ=1.4m)	49
4.9 実験対象領域	50
4.10 Tag Detector による IR タグの追跡結果	51
4.11 LLM による IR タグの追跡結果	52
4.12 アプリケーションの基本的なデータの流れ	54
4.13 Room Viewer におけるデータの流れ	55
4.14 Room Viewer 画面	55
4.15 PDA での Room Viewer 実行例	56
4.16 Floor Viewer 画面	57
4.17 Log Viewer におけるデータの流れ	58
4.18 Log Viewer 画面	58
4.19 領域の設定	59
4.20 Area1 内の環境設定	60
4.21 Area1 内でのタスク内容	60
4.22 ユーザの行動をシステムが認識している様子	62
4.23 Log Viewer の出力	63
4.24 ユーザ位置と IR タグを撮影不可能なユーザの向きとの関係	68

4.25 Room Viewer における遅延時間の概算	69
--	----

表 目 次

2.1	ロケーションシステムの比較	20
3.1	Location Database のデータ例	41
4.1	実験に使用した PC の仕様	50

第1章

序論

人と人とのコミュニケーション方法は、固定電話や FAX といった場所が限定されるものから、携帯電話や各個人宛の E-mail、インスタントメッセージなど「いつでも」「どこでも」連絡を取り合うことができるものへと移行している。しかし、「いつでも」「どこでも」連絡が取れる利便性の反面、手を離せない状況にもかかわらず携帯電話の着信で相手の仕事を中断させてしまうなど、相手の状況がわからないことによる弊害も大きい。

現在、あるユーザとコミュニケーションを取るための情報は、電話番号、メールアドレス等を用いている。これらは、その人を直接表す情報であるが、その相手の現在の状況、例えば、どこにいるか、忙しいかそうでないか、等をこの情報から知ることは困難である。そのため、実生活では建物内である人を捜したい場合には、

- その人の常駐している場所に行く/連絡を取る。
- 直接連絡を取れる手法 (携帯電話など) で連絡を取る。
- その人が現在の居場所を示す情報を残していないか、周りの人に伝えていないかを調べてみる。

といった方法が一般的である。これらの方法では、当事者・周りの人の手間がかかる上に不確定要素が多く、目的の人物を見つけることができないことが多い。本研究では、従来使われている情報に加えてユーザや目的物の位置情報に着目した。特に建物内でのユーザや目的物の位置情報は、実生活で頻繁に利用する情報であるにもかかわらず、簡便に取得する方法が無いために、研究としてはあまり注目

されていない。しかし、建物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どこかという情報を、ユーザの意図的な動作を必要とせずに管理することができるシステムが実現できれば、前述の問題も解決できると考えられる。また、このシステムは、従来の「人と人とのコミュニケーション」のみならず、「環境とユーザのコミュニケーション」という新しいコミュニケーションの形を実現する可能性を秘めている。この点に着目し、本研究では屋内における人の位置をユーザの意図的な動作無しに取得するシステムについて研究を行った。

本章では、以後本研究の背景となる研究分野について述べ、本研究の意義と論文の構成を示す。

1.1 ユビキタスコンピューティング

昨今、メディアを通じて「ユビキタスコンピューティング (Ubiquitous Computing)」という言葉が多く耳にするようになっている。「Ubiquitous」とはラテン語 *ubique* から派生した言葉であり、「至る所に」と訳されることが多い。「ユビキタスコンピューティング」は、「携帯端末や無線ネットワークを利用していつでもどこでもコンピュータを使うこと」と解釈されている。ユビキタスコンピューティングの概念は、1980年代に Mark Weiser によって提唱された [1] ものであり、コンピュータの歴史上新しいものとは言えない。しかし、近年のコンピュータ端末の小型軽量化やネットワークインフラの整備によって「いつでも」「どこでも」環境が実現可能になり、再度注目を浴びている。ユビキタスコンピューティングの研究分野は多岐にわたり、携帯可能な PC(Personal Computer) や PDA(Personal Digital Assistant) などの端末や無線ネットワークなどの研究開発を行うモバイルコンピュータ分野、着る・身につけるコンピュータの実現を目指すウェアラブルコンピュータ分野、従来単体で動作していた家電がネットワークを通じて相互に情報をやりとりして動作するネットワーク家電、IC チップや RFID(Radio Frequency Identification) による物流管理など、様々な試みが行われている。

ユビキタスコンピューティング時代が到来すると、以下のような時代がやってくるかもしれない。

朝、スケジュールと連動した目覚まし時計が今日の予定から逆算した時間に鳴る。冷蔵庫に表示されているメニューは冷蔵庫の中身、今日の健康状態、最近の食生活などから算出されたおすすめの朝食メニューである。スケジュールによると、今日は提携先の企業に商談のアポイントを取ってあるので少し早めに家を出たほうが良いらしい。駅に着くと、携帯端末が最適な乗り換えルートを計算し、乗車ホームと空いている車両を教えてくれる。目的駅から提携先へはもちろんナビゲーションシステムが導いてくれる。提携先の建物に入ると、会議室へのナビゲーションに切り替わる。会議室の席に着き、会議資料をネットワークで提出すると各自の手元の端末に自動でダウンロードされる。昼休みに食べに行く店は、好み、価格帯、人気を総合していくつか検索されたものから選択するので、初めての場所でも迷うことはない。帰り道、いくつかあげられた候補の中から、特売情報の提示されているスーパーに寄って帰る。

もちろん、これらは現在では夢物語であり、このような時代が来るのが良いことかどうかは今後議論されるべきである。しかし、これらのうちのいくつかは、数年後に実現するかもしれない。

1.2 ロケーションシステム

ユビキタスコンピューティングが従来のコンピューティングと異なっている点の一つに、コンピュータを利用する場所が自由になったことが挙げられる。環境に埋め込まれた多くのコンピュータは、有線・無線でネットワーク化されており、ユーザは必要ならば端末を携帯し、場所を選ばずに情報をやりとりする。この環境の中でやりとりされる情報は、ユーザの状況や現在位置に応じて変化するべきであり、これらのサービスを提供するには、システムがユーザの位置を取得する方法が必要不可欠である。本研究では、これらユーザの位置を取得するシステムをロケーションシステムと呼び、これに注目する。

屋外環境におけるロケーションシステムとしては、GPS (Global Positioning

System) と呼ばれるシステムが実用化され、カーナビゲーションの分野で広く普及している。近年では GPS のデバイスは携帯電話に搭載されるほど小型化が進み、離れた場所から子供の位置を確認できるサービス [2] 等、広く利用されている。一方、屋内に目を向けてみると、現在研究・開発が行われている種々のシステムは、目的となるアプリケーションが必要とする情報にあわせて異なった手法を用いている。そのため、位置同定精度、ユーザ識別能力の有無、各ユーザに割り当てられるデバイスのコストや環境にセンサを配置するためのコスト等において、それぞれが異なった特徴を示している。(第2章に詳述する。)

本論文では、屋内環境におけるロケーションシステムとして、無線ネットワーク環境、及び近赤外領域での画像処理を用いた手法を提案し、その手法の一実現法として、プロトタイプシステム、ALTAIR (Automatic Location Tracking system with Active IR-tag) の提案・構築を行う。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、ユーザが持ち歩く無線端末に取り付けた IR (Infra-Red, 赤外線) タグの発光する赤外光を撮影することでユーザの位置同定を行い、ネットワーク技術を利用してタグの発光を制御することで、自動的に各ユーザを識別することを可能にしている。ALTAIR はカメラを空間的・時間的センサとして用いることで、無線ネットワークの配備された環境に単位領域あたりにカメラを数台だけという少ないセンサ数で構成される簡便なシステムである。しかし、簡便なシステムであるにもかかわらず、高精度な位置同定及び自動ユーザ識別能力を実現している。また、データベースを利用して各ユーザの位置情報を管理することで、様々なアプリケーションに利用できる可能性を有している。

1.3 本論文の構成

本論文は本章を含め、5章構成である。

第2章では、室内におけるロケーションシステムの関連技術や先行研究について概観し、本研究で取り組む問題を明らかにする。第3章では、本研究で提案するロケーションシステムについて、中心となるユーザの識別と位置同定の手法の提案、およびその手法を実現するシステムのプロトタイプとして構築した“ALTAIR”に

ついて構成や処理手順について詳述する．第4章では，実験によって ALTAIR の各構成要素の検証を行うと共に，アプリケーション例を構築することによって提案システムの有効性を示す．最後に第5章で結論として本研究の総括及び将来的展望を述べる．

第2章

ロケーションシステムに関する先行研究と本研究の目的

本章では，ユビキタスコンピューティング分野での屋内におけるロケーションシステムの先行研究について代表的なものについて概観し，本研究で取り組む問題について明らかにする．

2.1 ロケーションシステムの応用例:Sentient Computing Project

ユビキタスコンピューティングの研究の中で，室内における人や物の位置情報を用いてコミュニケーションの円滑化を図る研究や，環境に配置されたシステムが実空間の状態を理解し，人間の行動を補助するといった研究は，本研究の先行研究と言える．先行研究の中で，アプリケーションの段階まで実現されている例として，AT&T で研究が行われている Sentient Computing Project [3] を紹介する．

2.1.1 Active Bat

Sentient Computing Project では，超音波発信器と超音波センサを用いて位置を特定する Active Bat System を核に，環境のシステムが実空間の状況を把握し，その情報を用いた様々なアプリケーションが実現されている．図 2.1 は，左図の

第2章 ロケーションシステムに関する先行研究と本研究の目的

実空間の環境を，システムがリアルタイムかつ高精度にモデル化し，それを右図のように3次元的に表現している状態を示している．この研究では，ユーザだけでなくコンピュータ端末など「もの(オブジェクト)」の位置や状態も情報として認識している．このことから，図2.2に示すように，各オブジェクトの領域を定めてユーザの位置を用いたインタフェースを実現することも可能である．



図 2.1 実空間の状況 (左) とシステムが認識している状況 (右) [3]

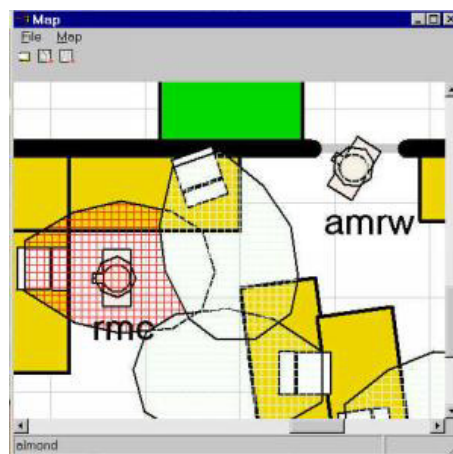


図 2.2 オブジェクト領域 [3]

2.1. ロケーションシステムの応用例:SENTIENT COMPUTING PROJECT

また、この研究では Bat と名付けられたユーザが携帯する小型デバイスの位置を精度良く取得できることと、このデバイスに組み込まれたボタンをユーザが押すクリック動作をシステムに伝達できることを利用して、Bat を 3 次元ポインティングデバイスとして用いている。Mice と名付けられた 3 次元マウス (図 2.3 左) や、壁面に貼られたポスターに Bat を近づけてクリックする事で、そのポスターの領域にあらかじめ関連づけられた入力を行う事ができる Smart Poster (図 2.3 右) などがアプリケーションのユーザインタフェースとして用いられている。



図 2.3 3 次元ポインティングデバイス (Mice(左), Smart Poster(右)) [4]

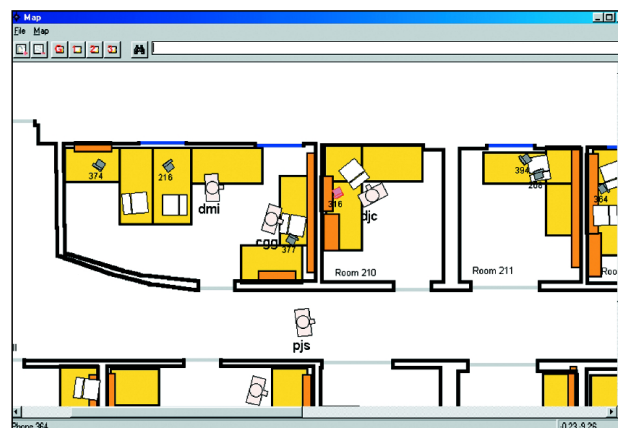


図 2.4 2D Viewer of Spatial Monitor [4]

2.1.2 Spacial Monitor

Spacial Monitor はこのプロジェクトの最も基礎となるアプリケーションである。システムによって認識された人や物の位置などを、必要に応じて3次元(図2.1右)や2次元(図2.4)で表現し、ユーザはその場所を実際に訪れることなく目的のユーザの現在位置や目的の場所の状況を確認することができる。このアプリケーションを応用すると、目的のユーザの位置やその近くにいる人、近くにあるものからそのユーザの現在の状況を推定することが可能であり、目的のユーザの現在位置に一番近い内線電話に電話をかける等、円滑なコミュニケーションを行うことができる。

2.1.3 Follow Me Camera

このプロジェクトの中には、マルチメディアを利用したアプリケーション Follow Me Camera がある。これは、Active Bat system で取得できる3次元位置情報を利用して、環境に遍在しているカメラでユーザを追跡撮影することができるアプリケーションである(図2.5)。このアプリケーションに関連づけられた Smart Poster に Bat を近づけてクリックすると、それがアプリケーションへの入力となり追跡撮影が開始される。追跡撮影は、会議中に自席から発言している時は天井に設置されているカメラで発言者を撮影し、その発言者が説明のため席を立って白板の前へ移動すれば白板に書かれた情報と発言者の顔を同時に撮影する等、撮影方向やズーム等の調整やカメラの切り替えが自動化されている。さらにマイクやデジタルカメラなどの入力を時系列に整理することができるアプリケーションと併用することで、撮影したデータを用いて会議の議事録の作成または作成補助を行う事ができる(図2.6)。

2.1. ロケーションシステムの応用例:SENTIENT COMPUTING PROJECT



図 2.5 Follow Me Camera [3]

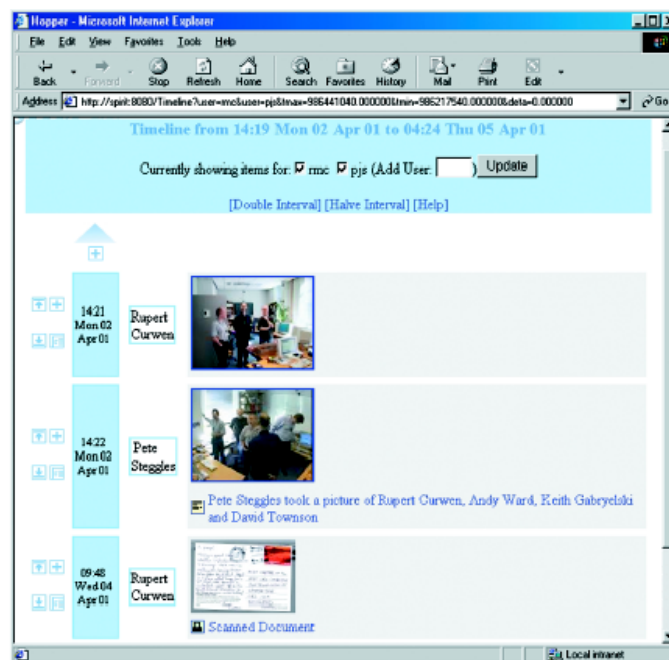


図 2.6 Auto Document Maker [4]

2.2 位置同定手法の分類

本節ではユーザ位置の同定を行うシステム(以下 ロケーションシステム)に関する先例研究について紹介し, 分類比較を行う.

ロケーションシステムの実現方法には様々な方法が考えられる. ここでは, 位置同定に用いるデバイスの使用形態に注目し, ユーザが全てのデバイスを携行する「自律計測型」, 環境に超音波や電波センサを埋め込む「センサ埋め込み型」, 環境に埋め込んだカメラからの画像を用いて位置を同定する「カメラ画像処理型」に分類して紹介する. また, 例に挙げたシステムの特徴及び次章以降で述べる本論文での提案手法について, 表 2.1 にまとめて比較する.

2.2.1 自律計測型ロケーションシステム

自律計測型に分類されるロケーションシステムは, ユーザが携帯するシステムに含まれている各種のセンサによってユーザの位置を決定する手法を用いている.

屋内においての位置同定技術は, ロボットのナビゲーションや遠隔操縦などの分野で古くから多くの手法が研究されており [5], ロボットの車輪の回転を計測して走行距離を算出する手法 [6] や, ロボットに内包したジャイロセンサや加速度センサなどのセンサの値から位置を決定する手法 [7], レーザレンジファインダや超音波距離計測, カメラからの映像などを用いて, 周辺の特徴を持った目標物の場所や周辺地図を作成し, それらを参照しながら自己位置を同定する手法 [8–12] 等が研究されてきた. これらの研究は, 基本的にはロボット内にセンサ等のデバイスを設置しており, ロボットが自身に内蔵されたセンサの出力を用いて自分の位置を決定するという意味で, 今回の分類では自律計測型に当てはまる. しかし, これらロボットの位置同定を対象とした研究を, 車輪を持たず, 一定速度で移動するとは限らない人間の位置同定にそのまま適用することはできず, 携帯可能なセンサにも制限があるため, 人の位置同定を行うロケーションシステムとしては直接用いることはできない. 人を対象としたロケーションシステムとして, 自律計測型に分類されるものには以下のような研究がある.

- 小西らの自律航法的システム: 小西らは, ジャイロセンサ, 磁気センサ, 気圧計を用いた自律方式による歩行者用の位置同定システムを提案した [13,14]. このシステムでは, ジャイロセンサからの出力を用いて歩行の周期と歩幅を推定し, 磁気センサで進行方向を, 気圧計で高さを求めることで, ユーザ位置の推定を行う (図 2.7). さらに, あらかじめ与えられた地図のデータから, 歩行可能な領域を限定し, 推定量に補正を加えることで, センサの計測誤差を吸収することが可能である.

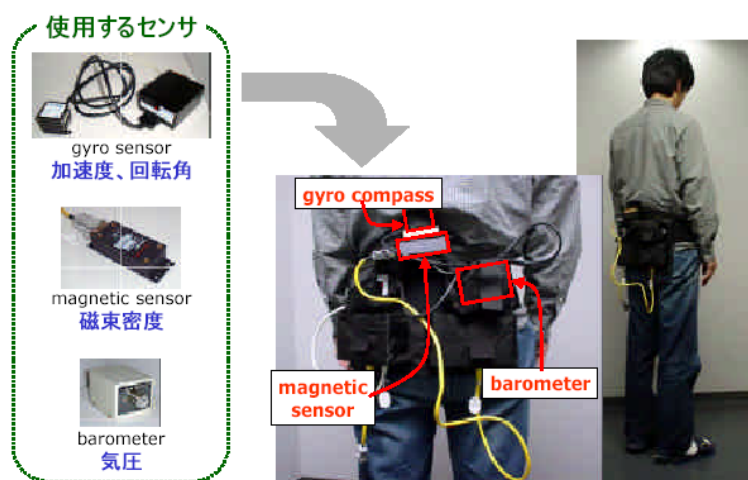


図 2.7 小西らの自律航法的システムの構成 [14]

- NaviCam: 暦本らは, AR(Augmented Reality・拡張現実感) 分野での利用を目的とした NaviCam を提案している [15]. NaviCam は, ユーザが携帯しているデバイスに取り付けられたカメラで環境に貼り付けられているカラーコードを撮影し, そこから情報を取り出すことによって位置の特定が可能である (図 2.8).



図 2.8 NaviCam [15]

これらのシステムは，環境側にセンサを埋め込む必要が無く，導入が簡単であると思われる．しかし，ユーザ側に多くのセンサやカメラ等を携帯させる必要があり，ユーザが携帯するシステムが大きく，重くなる．また，磁力や加速度のセンサの出力は磁場環境など周辺の環境に左右されることや，誤差が蓄積するといった特性を持っていることから，小西らの自律航法的システム等はユーザの位置の誤差が大きくなることがある．この誤差の蓄積を押さえるため，自律航行法で獲得した相対位置を環境に配置したビーコン等を利用して絶対位置を補正する用いる方法も検討されている [16-18]．しかし，本研究の対象となるオフィス環境においては，位置を同定するためにユーザが携帯する必要があるデバイスはできるだけ少なく，日常生活に支障がない程度に押さえるのが望ましく，種々のセンサやその出力を処理する端末を，常に一定の条件を満たしながら持ち歩くことは，ユーザに対し負担になると考えられる．

2.2.2 センサ埋め込み型ロケーションシステム

センサ埋め込み型に分類されるロケーションシステムは，環境に超音波や電波などの送信機や受信機を埋め込み，ユーザが携帯するデバイスとの情報のやりとりを行ってユーザの位置を決定する手法を用いている．この分類にあてはまるロケーションシステムは古くから多く提案されており，システムが用いている位置同

定手法は様々である．例えば，Cyberguide [19]，Active Badge [20]，Xerox 社で研究された ParcTab [21] は環境に配置されたデバイスとユーザが携帯するデバイス双方に赤外線通信機能を持たせ，通信が行われた位置をユーザの位置として近似する．RADAR [22] や日立 AirLocation [23] は電波強度，特に無線 LAN の通信に用いられる電波の強度を測定して位置を同定し，Active Bat [4, 24]，Cricket [25] は，ユーザが携帯するデバイスと天井に設置したデバイスとの間での超音波の伝達時間を用いて距離を測定し，天井に設置したデバイスのうちでユーザに最も近いものを決定したり，複数の計測距離から位置を同定する．センサを設置する場所は天井だけでなく，床下にセンサを設置するものもある，ORL Active Floor [26] や Smart Floor [27] は圧力センサを組み込んだ床でユーザの加重を検知し，Navigeta [28] は，下駄に組み込んだリーダで床面に組み込まれた RFID タグを読み取る．これらのうち，代表的なシステムを紹介する．

- **Active Badge:** Want らの Active Badge システム [20, 29] は，赤外線入出力装置をもつ 5cm 四方の名札型の Badge(図 2.9) をユーザが身につけ，その Badge が各部屋に備え付けられた赤外線センサと通信することにより，Badge をつけた人がどこにいるかがわかるシステムである．各赤外線センサは，1～2m の範囲にある Badge と通信することができる．



図 2.9 Active Badge(左) と赤外線センサ (右) [20]

- **NaviGeta:** 椎尾らは RFID を利用したユーザ位置検出システムを提案して

第2章 ロケーションシステムに関する先行研究と本研究の目的

いる [28] . 床面に RFID タグを取り付け , 各タグの情報を履き物に取り付けた RFID リーダによって読みとることによってユーザの位置を同定する . NaviGeta(図 2.10 左) は , 下駄の歯の間に RFID リーダを取り付けた試作デバイスで , ID カーペット (図 2.10 右) に取り付けられている RFID タグを読みとる .

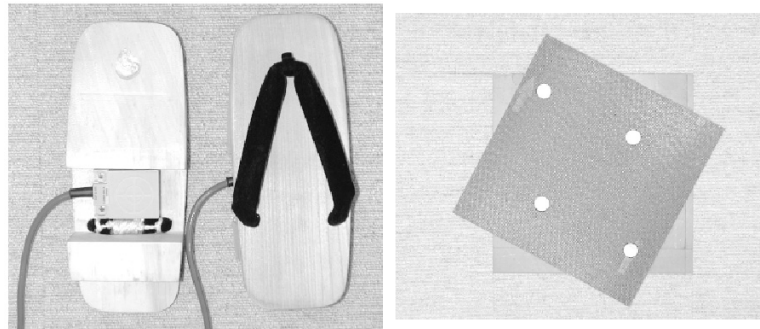


図 2.10 NaviGeta(左) と ID カーペット (右) [28]

- **RADAR:** Bahl らの RADAR [22] は , 無線技術に応用し , 屋内での位置情報取得を実現している . RADAR では , ラップトップ PC からの無線 LAN の電波強度を基地局で計測することで基地局からラップトップ PC までの距離を算出している . Bahl らは , 建物内の 1 フロア (43.5m × 22.5m) に無線 LAN の基地局 3 台を設置することで , フロア内のラップトップ PC の位置を 2 , 3m の精度で計測が可能であることを実験で確かめている .
- **Active Bat:** Ward らの Active Bat システム [4, 24] は , Active Badge システムの後継として研究されており , 2.1 節で紹介した Sentient Computing プロジェクトの中核を担うシステムである . ユーザが携帯するデバイス Bat (図 2.11 左) は , 無線通信機能と , 超音波発信器を有しており , システム側からの無線通信をトリガにして超音波を発信する . 天井に格子状に敷設された受信機でこの超音波を受信し , 超音波が発信されてから受信するまでの時間を用いて発信器と受信機間の距離を計測する . 同一の超音波を 3 つ以上の受信機で受信することで , 3 次元位置を取得することができる . 約 1m おきに受信機を設置した条件下において , 誤差約 9cm と非常に高い精

度での3次元位置計測を実現している。

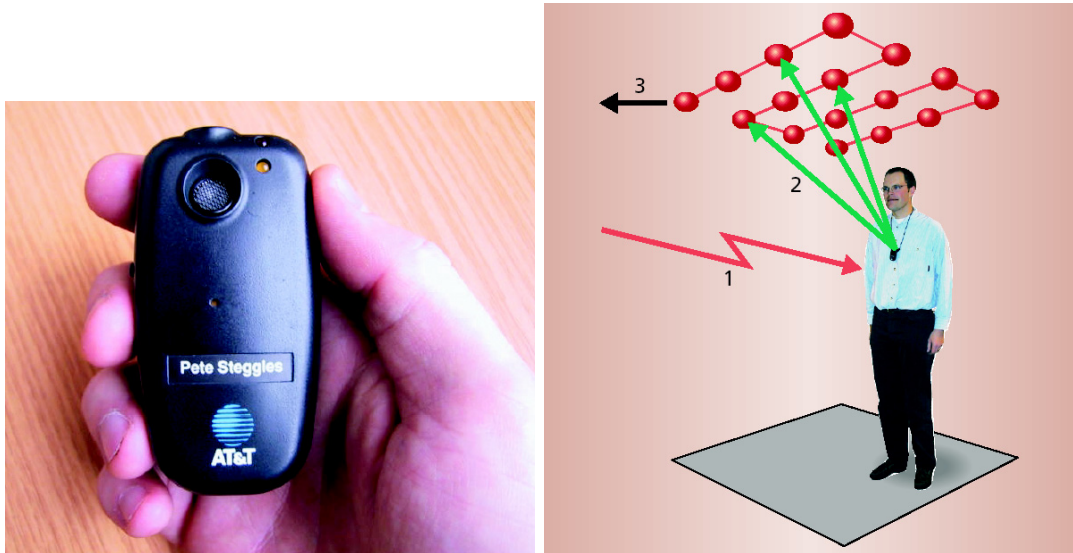


図 2.11 Active Bat システム [4, 24]

- **Cricket:** Priyantha らの Cricket [25] は、天井に設置されたビーコン (図 2.12 左) から同時に発せられた RF(Radio Frequency) 信号と超音波信号をユーザ側のリスナ (図 2.12 右) で受信し、RF 信号と超音波信号との伝達速度差を利用するシステムである、ビーコンからの距離を識別し、最も近いビーコンを決定することで、ユーザの位置とそのビーコンが含まれる領域に近似する。RF 信号には、ビーコン固有のデータが含まれており、どのビーコンからの信号であるかを識別することができる。ビーコンが常に発している信号をユーザ側のリスナが解釈して自らの場所を決定するので、システムがユーザの位置を一元管理することが無く、ユーザのプライバシーが守られるという利点がある。

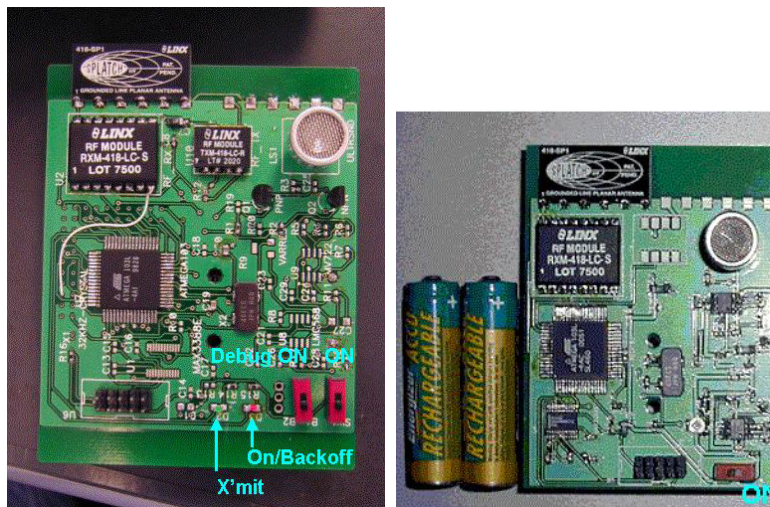


図 2.12 Cricket [25] ビーコン (左) とリスナ (右)

これらの手法に共通していることは、ユーザの位置同定精度を向上させようとすると、多数のデバイスをあらかじめ環境に埋め込む必要があることであり、環境に埋め込むデバイス数が増えると設置コスト及び維持コストが増大する。また、距離計測を行うには、電波や超音波を用いていることから、反射、屈折などによる影響や、環境に存在するコンピュータ端末やディスプレイなどが発する電磁波の影響に対応することが必要となると考えられる。

2.2.3 カメラ画像処理型ロケーションシステム

カメラ画像処理型に分類されるロケーションシステムは、環境に配置したカメラで撮影した画像を用いてユーザの位置を同定する手法を用いている。カメラを使うという点では、自律計測型ロケーションシステムに分類した NaciCam も同様であるが、カメラを環境に配置するのではなくユーザが携帯する手法であることを考慮し、自律計測型に分類した。カメラ画像処理型に分類される代表的なものに EasyLiving がある。

- **EasyLiving:** Krumm らは EasyLiving プロジェクトにおいて、カラービデオカメラ、3D カメラを用いて人物の追跡を行っている [30–32]。図 2.13 で示しているような色情報によるマーカパターンマッチングやステレオ計測などの画像処理手法を用い、カラー画像や距離画像から人の形に近いものを人物として追跡を行う。他の手法と違い、ユーザが特定のデバイスを携帯する必要がないという利点がある。



図 2.13 EasyLiving: キーボードをトラッキングしている状況 [31]

しかし、EasyLiving で用いられている手法ではシステム単体によるユーザ識別能力を実現させることは難しい。実際、EasyLiving プロジェクトでは、各ユーザがシステム領域に入った時に、パスワードによる認証や指紋検知などを行う意図的なログイン動作が必要である。

表 2.1 ロケーションシステムの比較

	計測手法	位置近似 or 計測	ユーザ 識別能力	位置情報 管理	精度 , 粒度	センサ密度 (個/面積)
自律航法的 システム	加速度センサ 磁気センサ etc.	距離計測	無 (*1)	ユーザ	~ 2m	—
Navicam	カラーマーカ 画像処理	位置近似	無 (*1)	ユーザ	(*2)	—
Active Badge	赤外線 センサ	位置近似	有	システム	部屋単位	1/部屋
NaviGeta	RFID	位置近似	無 (*1)	ユーザ	15cm(*2)	16/1m ²
RADAR	無線 LAN 電波強度	距離計測	有	システム	3 ~ 4.3m	3/floor
Active Bat	超音波 伝達速度	距離計測	有	システム	9cm	1/1m ²
Cricket	電波と超音波の 伝達速度差	位置近似	無 (*1)	ユーザ	1m(*3)	1/1m ² (*3)
EasyLiving	画像処理 /距離画像	位置計測	無	システム	高	3/部屋
ALTAIR (提案手法)	画像処理 ネットワーク	位置計測	有	システム	~ 1m	数個/領域

(*1): 手法の特性上, ユーザ位置をユーザ自らが携帯するシステムでのみ管理・運用するため, ユーザを識別するという概念が無い.

(*2): センサやマーカなどの設置密度に依存する.

(*3): ビーコンを設置する密度によって同定精度は異なり, 最大 1 個/1m² のセンサ密度までどのビーコンが担当する領域にいるかを決定できる.

2.3 研究目的

本研究では、オフィスなどの室内環境を対象にしたロケーションシステムは、以下の条件を満たしていることが望ましいと考える。

- 従来の環境やユーザの行動を著しく制限しない
- 数十 cm ~ 1m 程度の精度で位置同定が可能
- センサ数をできるだけ少なくする

本研究で考えるロケーションシステムに求められる第一の条件は、ロケーションシステムによって位置を管理されるためだけにユーザの行動が制限されないことである。ロケーションシステムが位置を取得するために、ユーザに何らかの動作を必要とすると、ユーザは日常の生活や業務を行う際に常にロケーションシステムに位置を把握されていることを意識せねばならず、非効率的である。ロケーションシステムに位置を把握されることは、生活や業務を効率的にするためのものであり、ロケーションシステムを導入することによるユーザ負担は最小限にすることが求められる。すなわち、システムはユーザが意識することなく自動的に位置情報を取得し続け、それらの情報をユーザが必要としたときに利用できることが望ましい。これは、ユビキタスコンピューティングの本来の考え方である、「意識せずにコンピュータを利用する」という考え方に通じるものである。また、ユーザの携帯するシステムは日常の生活や業務に支障が無い大きさ、重量であることが望ましい。

次に求められる条件は、できるだけ高い位置同定精度の実現である。前節でも述べたように、従来研究されてきたロケーションシステムの位置同定精度は、各システムで用いられている手法の特性によって様々である。例えば、部屋や領域が特定できるもの、センサが配置されている場所をユーザの場所として近似するもの、ユーザの位置を数センチ単位で3次元的に計測するものなどが存在する。本研究では、ロケーションシステムをユビキタスコンピューティング時代の一つの基盤となるシステムととらえ、システムを利用するアプリケーションを単一に限定しないように、そして、将来提案されるユーザの位置情報を利用したアプリケーションを実現可能なように、各ユーザの位置をできるだけ高い精度で取得す

第2章 ロケーションシステムに関する先行研究と本研究の目的

ることを目指す．

最後に，既存の建物にロケーションシステムを導入する際のコストを下げ，センサ情報の取り扱いを簡便にするために，ロケーションシステムで用いるセンサ数はできるだけ少ないことが求められる．

前節でロケーションシステムやその手法を紹介したが，現段階では，上述した条件を満たす手法は実現していない．そこで，本論文では次章以降この条件を満たす手法及びシステムを提案する．

第3章

屋内ユーザロケーションシステム ALTAIR

本章では，前章で述べた目的を満たすユーザの識別およびユーザ位置同定手法，及び その手法を実現するロケーションシステム，ALTAIR(Automatic Location Tracking system with Active IR-tag) を提案する [33–36] ．

3.1 ユーザ識別・位置同定手法

本節では，本研究で提案する屋内環境におけるユーザの識別及び位置同定を行う手法のアイデアについて述べる．

2章で紹介した Active Bat は，位置同定精度が非常に高いなど，魅力的なシステムである．しかし，これを実現するには，天井に高密度 (1m 四方あたり 1 個) で超音波センサを設置しなければならない．これは，手法として用いている超音波が環境による干渉の影響を受けやすく，減衰しやすいという特性を持っていることに起因していると考えられる．同様に，RADAR など電波を用いた手法でも，センサ数を少なく保ったまま距離計測の精度を高めることは難しい．本研究では，光が減衰しにくく，反射や屈折などの干渉に対して頑強であることに着目し，カメラを光の方向を計測する二次元センサとして用いることを考える．カメラは，広角レンズを組み合わせることで，一台で広い領域を高精度に位置同定可能であり，環境に設置するデバイス数を削減することができる．

カメラとマーカを使って位置同定を行う手法は，EasyLiving のようなロケー

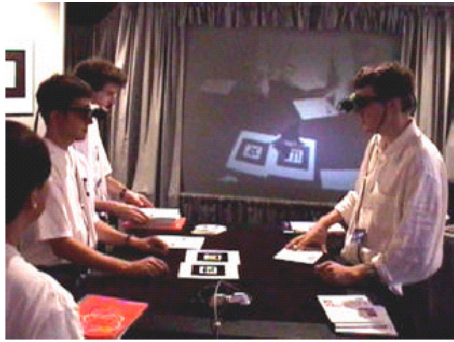


図 3.1 ARToolKit [38]



図 3.2 TRIP [39]

ションシステムだけでなく，バーチャルリアリティ分野やモーションキャプチャシステムなどにも広く用いられている．これらの手法はマーカの色や形，マーカ同士の相互位置関係などでマーカを識別しようとしているが，必要な情報の抽出に計算コストの高い画像処理を必要とするだけでなく，識別可能な個体数や正確性に限りがあり，多くの人が規則性無く動く環境において識別を行いながら人の位置同定を行うのには向いていない．ユーザ識別能力だけを考えると，顔画像を用いたユーザ認証を行うシステムなども実現されている [37] が，これらはカメラに向かって一定距離で正対する必要があるなど，撮像時における制限が多い．そのため，画像を用いた位置同定手法の先行研究では，画像中から抽出された人の位置と特定のユーザを対応付けるために，定められた場所でのパスワード入力などユーザの意図的な動作を行う必要がある．しかし，パスワード入力などをしてユーザの識別を行ったとしても，二人のユーザがカメラの前で交錯するなどして一度追跡に失敗すると，画像処理だけを用いてユーザを個人特定した状態に復帰することは困難である．

2章で紹介した Navicam や TRIP [39, 40]，ARToolKit [38]，CyberCode [41] のように，図 3.1 や図 3.2 にあるような二次元コードをマーカとして用い，画像処理によって各マーカが持つ情報を読み取る試みもある．これらは，単純な模様には多くの情報を含めることができ，常に対象を識別した状態で追跡が可能であると考えられるが，画像中で一定以上の大きさに映る必要があるために，数 m 以上離れたところからのコードの可読性に問題がある．本研究では，CCD カメラのイ

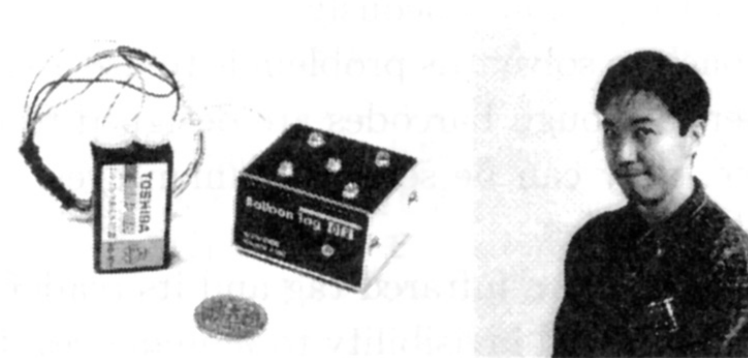


図 3.3 Balloon Tag [42]

メージセンサが可視光領域だけでなく、近赤外領域にも感度を持っている事を利用する．CCD カメラは可視光を遮断し赤外光を透過するフィルタを装填するだけで、簡単に近赤外カメラを実現することができる．オフィスなどの室内において赤外領域の光を発するものは少ない．そのため、近赤外カメラによってユーザに関連づけられた赤外発光マーカの抽出を行うことで、簡単かつ安定して必要な情報の抽出処理を行うことができる．さらに、赤外線マーカの発光を変化させ、時間軸に連続した複数枚の画像を利用してその発光の変化を認識することで、位置同定を行いながらユーザの識別を行う．

青木らによる Balloon Tag [42] などは、カメラと赤外光を発光するマーカを用いてマーカからの情報を読み取るという意味で類似的な試みである．Balloon Tag では、5つの赤外線LEDを含む赤外線デバイスであり(図3.3)、周囲の4つのLEDの点滅がクロック信号の役割をし、中央のLEDの送信する情報の読み取りを助ける．しかし、画像中に5つのLEDの発光を全て区別して取得する必要があり、一定時間は安定してフレーム内にいなければならないなど、本研究で対象とする動き回る人の動きを取得する目的に応用することは難しい．本研究では、赤外発光マーカの発光パターンをシステムから無線ネットワークを通じて制御することによって変化させ、この変化をカメラを用いて見分けることでマーカの個体識別を行うことを考える．発光を制御させた赤外発光マーカは、ネットワーク上では一意に定めることができ、カメラで発光パターンの変化を短時間でも取得するこ

とができれば，そのマーカの個体識別が可能である．よって，ユーザはシステム領域に入った時に意図的な動作をする必要が無く，システムが自動的に画像から抽出したマーカとユーザの対応付けを行う事ができる．仮にオクルージョン等でカメラがマーカの発光を見失った場合にも再び画像中にマーカが映った時点で再び対応付けをやりなおすことが可能であり，その後の追跡に正しい識別結果を用いることができる．

さらに，カメラや赤外線マーカなど光学デバイスを用いるため，マーカの向きや障害物によってオクルージョンが発生し，マーカがうまく抽出できないという問題が考えられる．本研究では，一領域に複数台のカメラを設置し，複数方向からの画像を用いることで，オクルージョンの発生の抑制を目指す．位置同定には，カメラを複数台で異なる視点から同時に一つのマーカの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比較的高精度に同定することができる．この識別手法と位置同定手法はお互いに干渉することなく同時に並行して行うことができる．

以上，本研究で提案するユーザ識別および位置同定手法をまとめる．提案手法の概念図を図 3.4 に示す．本研究では，無線ネットワーク機能を持ったユーザ端末に赤外発光マーカを接続し，その赤外波長帯を赤外広角カメラで抽出し，広範囲のユーザ位置情報を安定して取得する．同時に，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で，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，識別を行う．

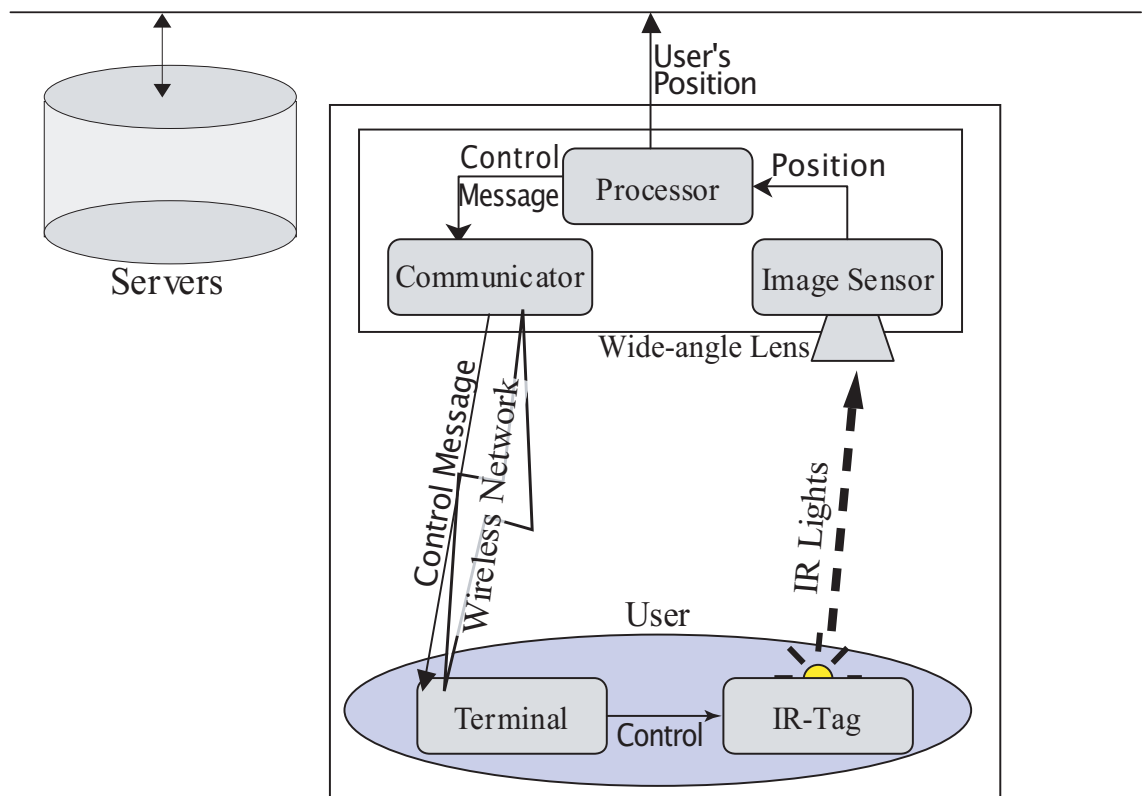


図 3.4 提案手法概念図

3.2 ALTAIR のシステム構成

本論文で提案するシステム ALTAIR(Automatic Location Tracking system using Active IR-tag) は、各ユーザが携帯するユーザ側システムと Location Server システムによって構成され、有線・無線の LAN でネットワーク化されている。システム構成を図 3.5 に示す。

ユーザ側システムは、無線 LAN 通信機能を有した小型の PC や PDA 等 (以下モバイル PC) とそれに接続されている IR タグと名付けた赤外発光マーカで構成される。

Location Server システムの各領域は、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 Manager : LLM) で構成され、全体を統括するサーバ群はユーザ側システムに LLM へ接続するために必要な情報を配信する PC (Network Server)、各領域の LLM の管理する情報からユーザの位置情報を管理・記録するデータベース (Location Database)、Location Database で管理される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。

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た赤外線発光マーカである。制御信号はモバイル PC より送られ、モバイル PC は LLM 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赤外線 LED の発光を制御する。本論文での実装においては、赤外 LED の発光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、その他の場合は常時点灯する。

赤外広角カメラ 赤外広角カメラは、動画像を取得するカメラと可視光を遮断し赤外領域の光を透過するフィルタ、広角レンズから構成されたカメラである (図 3.6)。このカメラでは、近赤外領域のみを撮影し、取得した画像は Tag Detector によって処理される。

3.2. ALTAIR のシステム構成

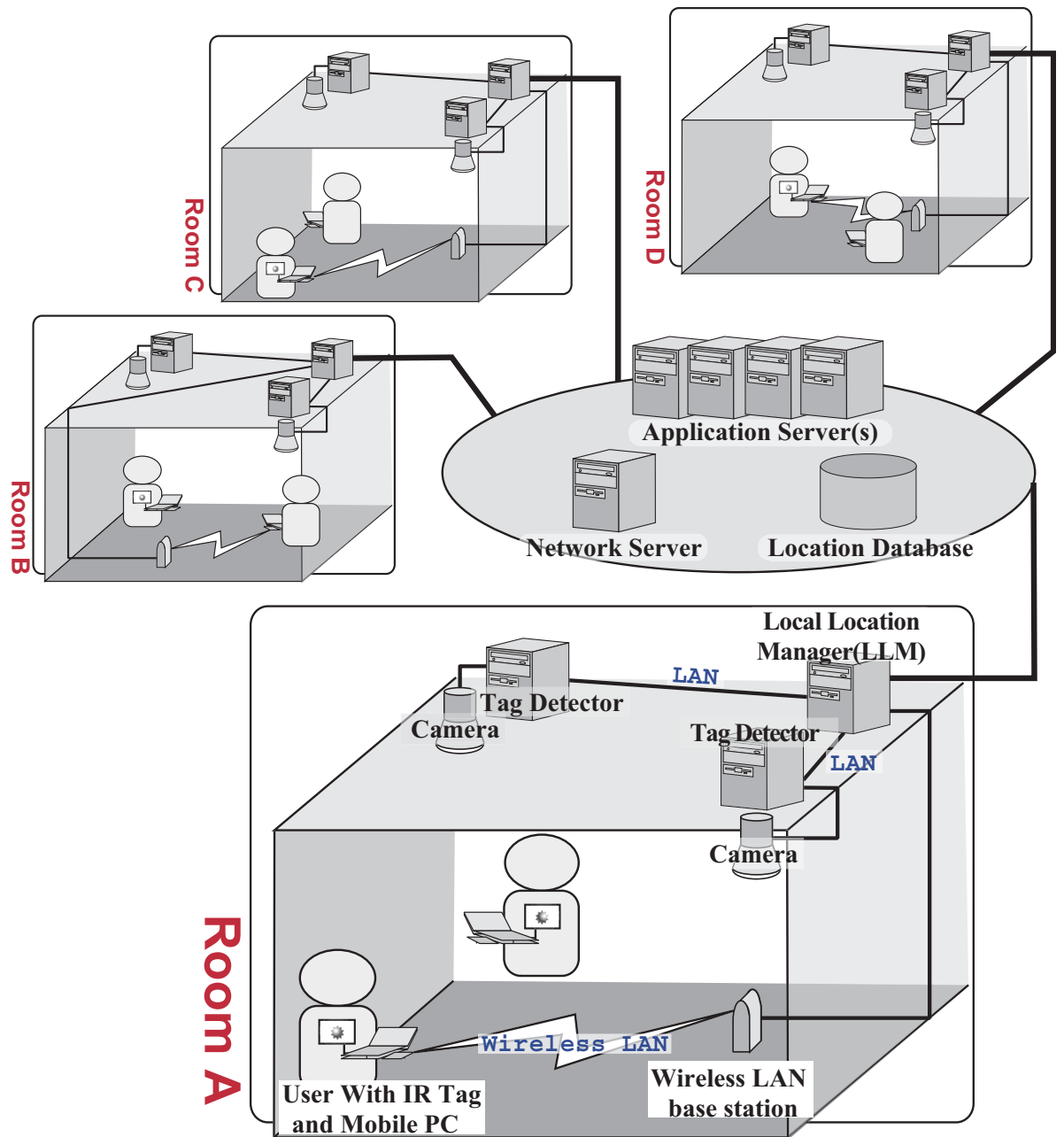


図 3.5 システム構成

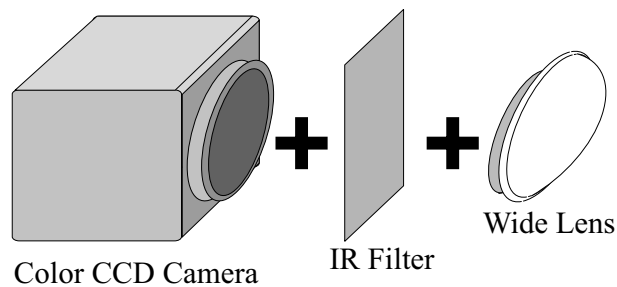


図 3.6 赤外広角カメラ

Tag Detector Tag Detector は赤外広角カメラの画像から画像処理によって IR タグを抽出し，その位置と発光パターンを読みとり，ネットワークを通じて LLM に送信する．本論文の実装においては，抽出した IR タグの高さを一定に仮定して座標変換を行い，IR タグの位置を推定する (3.4 節に詳説する)．さらに，時系列方向に連続した複数枚の画像を用いて各 IR タグが点灯しているか点滅しているかの検知を行い，位置情報に点灯/点滅の情報を加えて LLM へ送信する．詳しい方法については 3.5.1 節に述べる．

Local Location Manager(LLM) LLM は各領域においてユーザの位置や識別の情報を管理する．各ユーザへ発光パターンの指示情報を送信し，複数台の Tag Detector からの情報を統合してユーザの識別及び位置同定を行う．LLM のプログラム内での構成を図 3.7 に示す．Tag Detector 接続受付部 (Tag Detector Request Listener) は，新しい Tag Detector からの接続要求を受け付けるとその Tag Detector からの位置情報を取得する Tag Detector 通信部 (Tag Detector Communicator) を作成する．同様に，ユーザ接続受付部 (User Request Listener) にて新規ユーザの接続を受け付けた時に，そのユーザのモバイル PC と通信するユーザ通信部 (User Communicator) を作成する．位置情報管理部 (Location Management Part) は，ユーザ通信部を通じ，各ユーザのユーザ端末に点呼を取るように点滅メッセージを送信しながら，Tag Detector からの情報により IR タグの位置情報と点滅情報を取得して各時点でのユーザ位置を推定する．点滅メッセージを送信

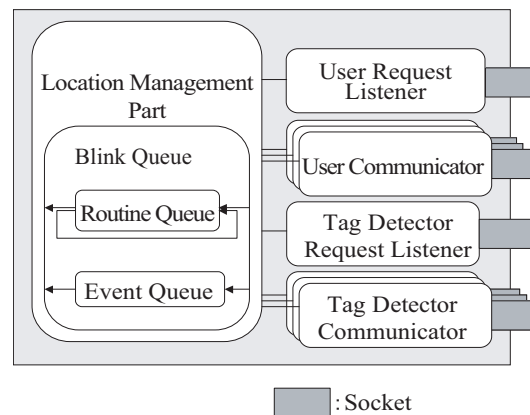


図 3.7 LLM の内部構成

する順番は、通常キュー (Routine Queue) とイベントキュー (Event Queue) を用いて優先順位が設けられている。推定した各ユーザの位置は、Location Database へ送信される。

Network Server 新たにユーザがシステムの領域に入ってきた場合や、管轄する LLM が異なる領域をまたがってユーザが移動した場合には、該当する LLM とのネットワーク接続を更新する必要がある。そのため、Network Server は各領域に入ったユーザ端末の要求に応じて Location Database と通信を行い、ユーザが通信に用いている無線アクセスポイントの情報から、その領域を管理している LLM へ接続するための情報を求め、各ユーザ端末に対して与える。このサーバは、ユーザが現在居る領域を決定することや、領域の移動を自動で検知するのに用いられる。

Location Database Location Database は各領域の LLM からの情報を記録するデータベースである。Location Database はシステムが管轄する領域全体の情報を統括し、各領域の LLM からの情報を元に、各ユーザの現在位置の情報を記録する。また、各領域を管轄する LLM のアドレスや、アプリケーションを提供するための各種情報も保持し、Application Server からの要求に応じて必要な情報を提供する。

Application Server Application Server は Location Database で管理されているユーザの位置情報を用いてアプリケーションをユーザに提供する。Application Server は、ALTAIR で提供されるアプリケーションの数に応じて複数存在すると考えられる。必要な情報を Location Database や他の Application Server に問い合わせ、得た情報を自分が保持している情報と組み合わせてユーザやサービスを行うデバイスに提供する。

3.3 処理の流れ

ALTAIR のシステム領域は無線ネットワークの各アクセスポイントの通信エリアによって区切られている。各領域には、対応する LLM が存在しており、この領域内のユーザの位置を管轄している。

自動領域検知 ユーザがあるシステム領域に入った時、ユーザのモバイル PC は必要に応じて DHCP サービスなどを用いてネットワーク通信環境を更新し、Network Server と交信して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。この情報を用いてユーザ端末は LLM に接続し、システムによる位置同定が開始される。具体的な処理内容は 3.7 節で詳述する。

ユーザ識別処理・位置同定 LLM は、管理している領域に存在する各ユーザ端末一つ一つに、優先度を加味した順番で点滅要求を送信する (図 3.8(i))。ユーザ端末は点滅要求を受けると、常時点灯させている IR タグを点滅させる。Tag Detector は、赤外広角カメラの画像を用いて点灯している全ての IR タグを各フレーム毎に追跡すると共に、連続フレームの画像を用いて唯一点滅している IR タグを特定する (図 3.8(ii)、処理内容は 3.5.1 に詳述)。追跡情報と点滅している IR タグの情報は有線のネットワーク通信で LLM に送られる。LLM では、Tag Detector によって特定された点滅している IR タグを点滅要求対象の IR タグとして同定することができる (図 3.8(iii))。この手順を点呼を取るようにその領域にいる各ユーザ全員にくり返すことによって、ユーザの識別が可能になる (図 3.8(iv))。

また、ユーザ位置は、Tag Detector において追跡した輝点の画像中の座標から

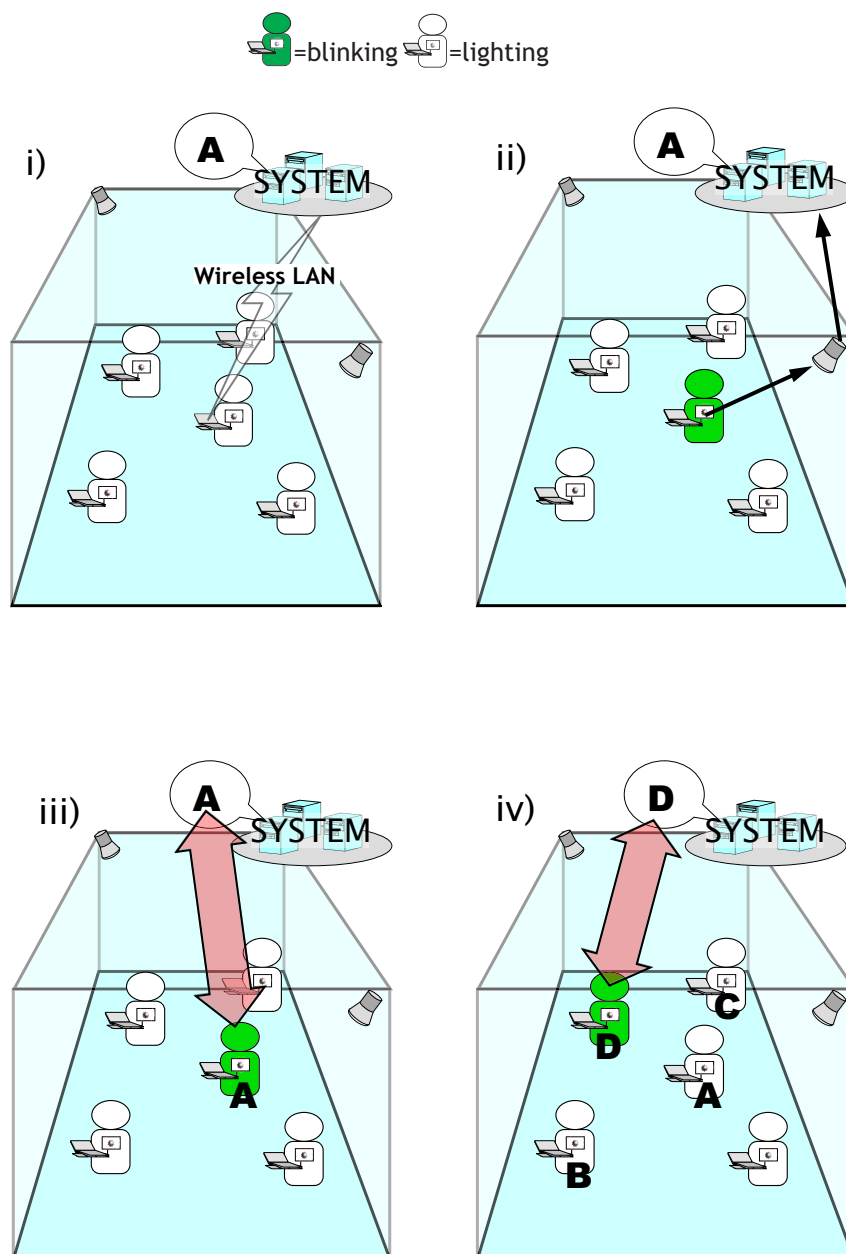


図 3.8 ユーザ識別の流れ

3.4節にて説明する手法にて計算され,LLMに送信される. LLMは各 Tag Detectorの追跡情報の中に含まれる位置情報をマージすることによってユーザの位置同定を行う. この手順により LLM では管理しているユーザの識別及び位置同定が可能である.

3.4 座標変換による位置同定法

本節では, ALTAIR で用いるユーザの位置の算出法について述べる.

ALTAIR で用いる赤外広角カメラでは, 撮影した画像中に IR タグを輝点として取得することができる. この取得した輝点を, Tag Detector において画像中の座標から実空間座標へ変換することで IR タグの三次元位置を決定する.

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 3.9 に座標系の関係を示す.

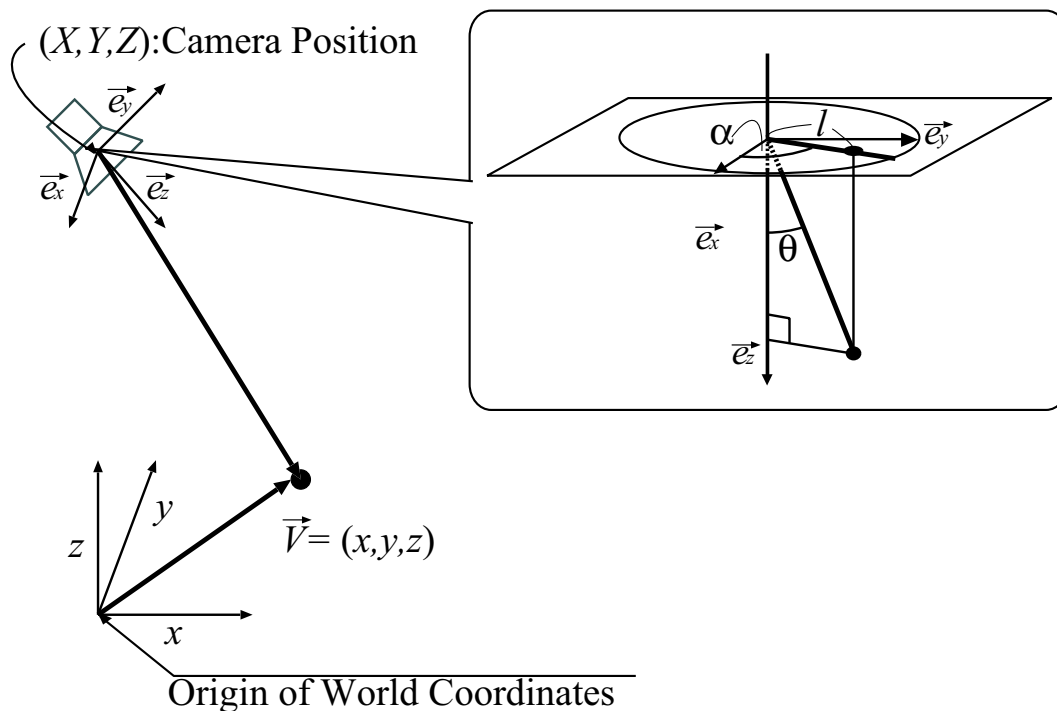


図 3.9 カメラ座標系と実空間座標系

まず、カメラ光軸と IR タグとの角度 θ を算出するため、画像中心と輝点との距離 l を求める。この l と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 θ の対応を示す離散的なデータ表はレンズメーカーより提供されており、これをスプライン補間して参照することで θ を決定できる。

次に実空間座標におけるカメラの位置を $(X, Y, Z)^T$ 、実空間座標系でのカメラの姿勢を表す基底ベクトルを $\vec{e}_x = (e_{x1}, e_{x2}, e_{x3})^T$, $\vec{e}_y = (e_{y1}, e_{y2}, e_{y3})^T$, $\vec{e}_z = (e_{z1}, e_{z2}, e_{z3})^T$ とすると、実空間座標原点から輝点へのベクトル $\vec{V} = (x, y, z)^T$ は媒介変数 k を用いて以下の式で表される。

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

この式から、 $\vec{V} = (x, y, z)$ は、

$$\begin{cases} x = X + k(e_{x1} \sin \theta \cos \alpha + e_{y1} \sin \theta \sin \alpha + e_{z1} \cos \theta) \\ y = Y + k(e_{x2} \sin \theta \cos \alpha + e_{y2} \sin \theta \sin \alpha + e_{z2} \cos \theta) \\ z = Z + k(e_{x3} \sin \theta \cos \alpha + e_{y3} \sin \theta \sin \alpha + e_{z3} \cos \theta) \end{cases}$$

と展開でき、画像からの入力値 (l, α) と一定値に仮定した高さ z を与えることで、実空間での IR タグの位置 (x, y, z) を一意に定めることができる。

3.5 時系列位置同定処理

本節では、カメラから取得された画像を Tag Detector で処理し、LLM で管理することにより、ユーザ識別および位置同定を行う処理について述べる。図 3.10 にデータの流れを示す。

3.5.1 Tag Detector における時系列画像処理

ここでは、Tag Detector によって、赤外広角カメラで取得された画像から輝点を抽出し、IR タグの追跡及び点滅の検知を行う処理について述べる(図 3.11 参照)。

最初に、カメラから取得した画像に対して、輝度値による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

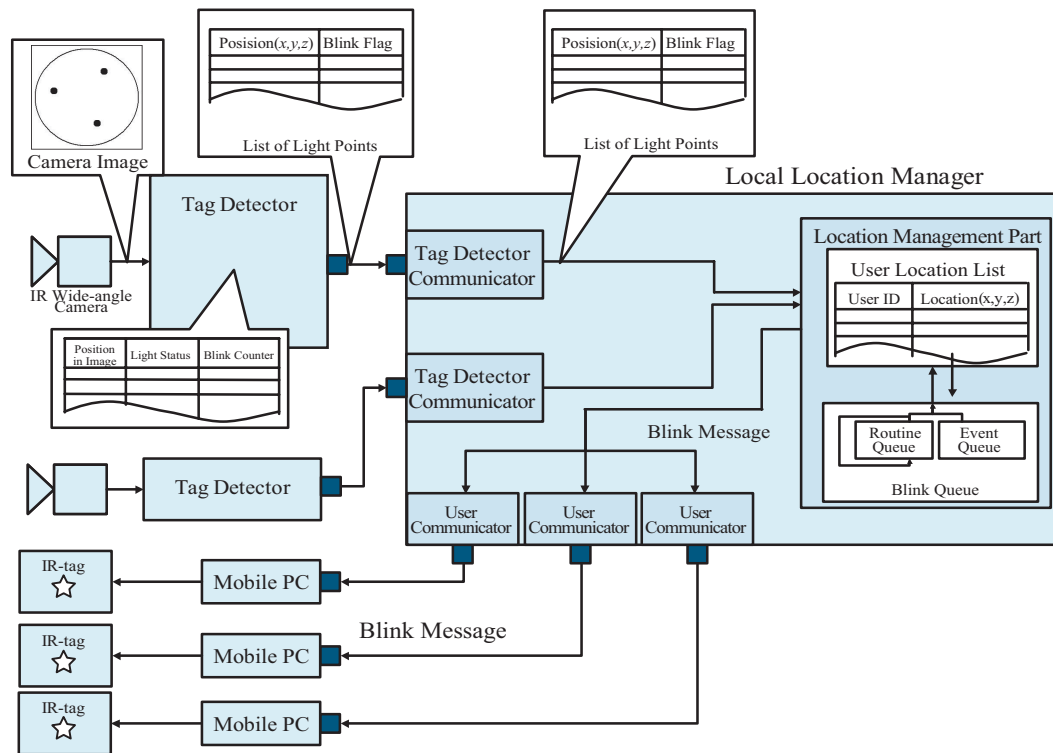


図 3.10 Tag Detector と LLM のデータの流れ

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、以下の方法で一定フレーム間更新される (図 3.12)。

輝点の更新は、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い場合、新しい輝点としてリストに登録する。また、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リストのデータは、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しておく。更新を行っていく上で、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間この更新を行い、点滅カウンタの回数がある閾値を越えたとき、その輝点を点滅しているものと判定する。

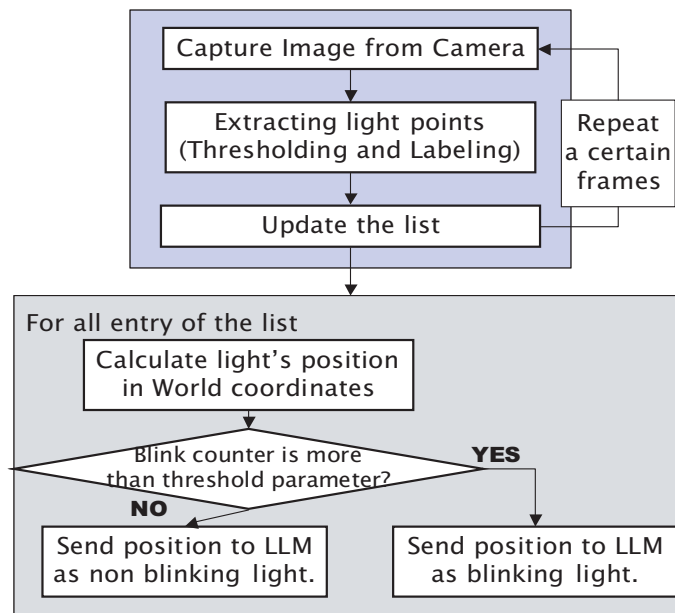


図 3.11 Tag Detector によるタグ追跡と点滅検知の流れ

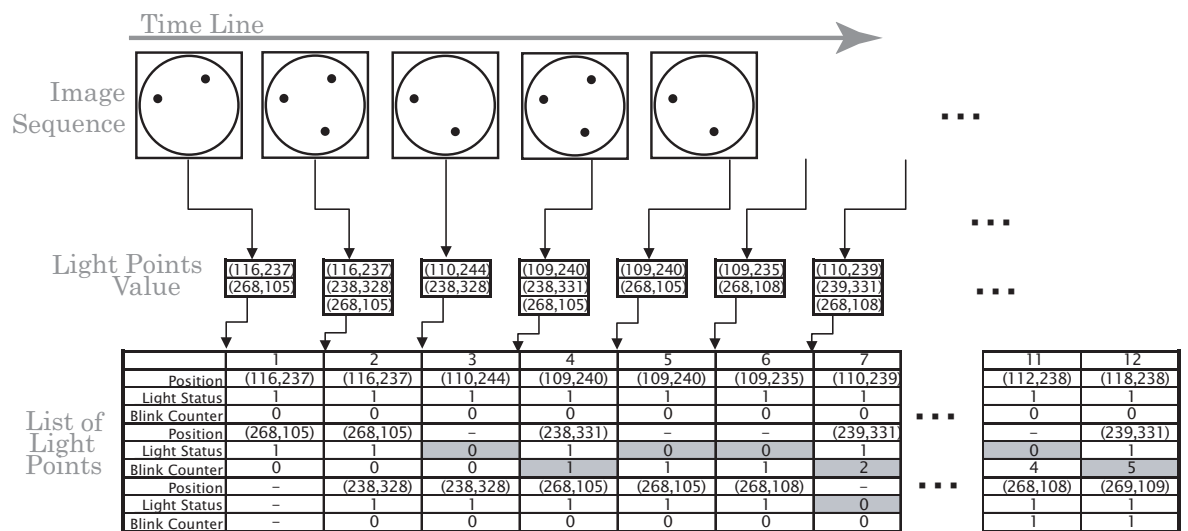


図 3.12 Tag Detector のリスト更新例

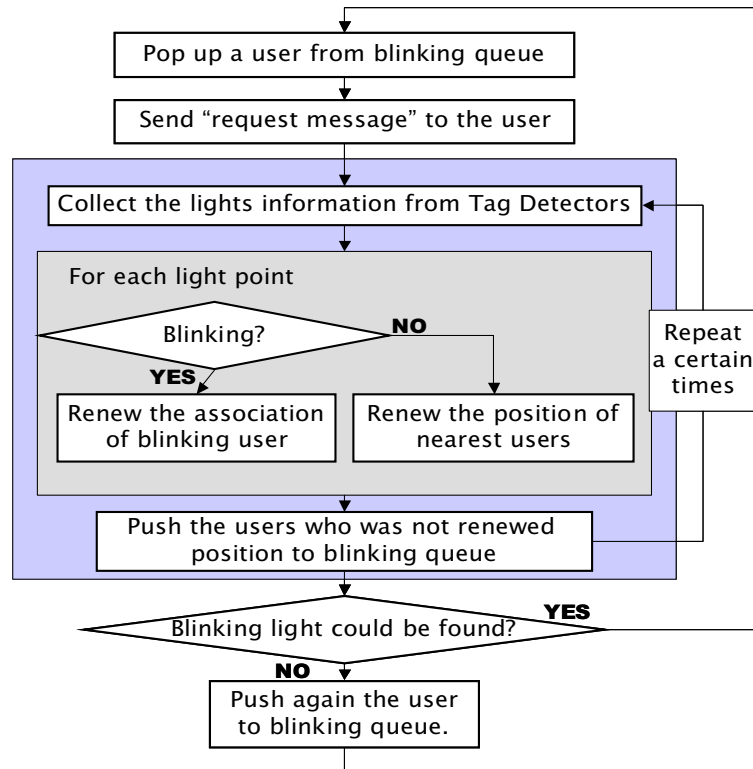


図 3.13 LLM によるユーザ位置追跡と識別処理の流れ

このようにして，一定フレーム間更新されたリストの最終フレーム中の輝点の座標値を 3.4 節で述べた手法で実空間座標に変換し，点滅情報と共に LLM に送信する．

3.5.2 LLM における時系列処理

ここでは，Local Location Manager (LLM) において，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処理について述べる (図 3.13 参照)．

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本で構成されており，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．

ユーザ位置追跡 LLM は Tag Detector よ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．

新規ユーザ登録 新しいユーザが接続要求を送ってきた時は，LLM は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る．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．

3.6 データベースを利用した位置情報の管理

Location Database はユーザの位置情報やアプリケーションに必要な情報を管理し，各時点でのユーザの位置を記録するデータベースである．データ構造を図 3.14 に，データベースのデータ例を表 3.1 に示す．テーブル People では，ユーザ

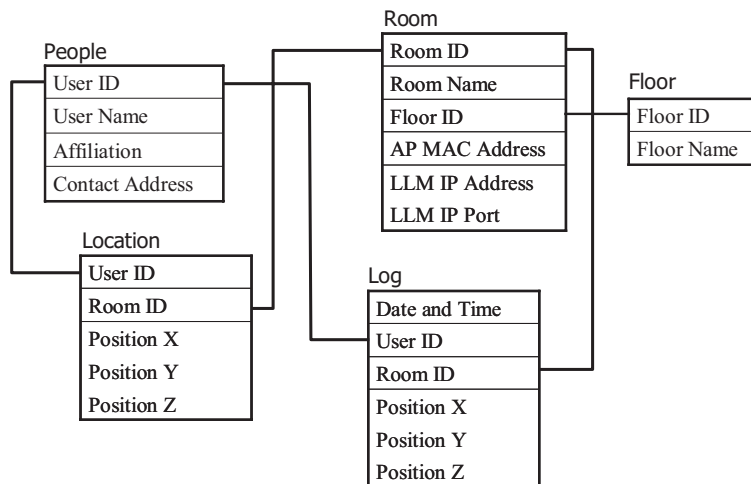


図 3.14 Location Database の構造

の ID や名前，所属などのユーザの情報を管理する．各領域の情報は，テーブル Floor とテーブル Room で管理する．Floor は，建物における「各階」に相当するもので，それぞれ領域がどこかの Floor に属している．テーブル Room の情報は，領域の ID，領域名，Floor ID，その領域に配置されている無線アクセスポイント (AP) の MAC アドレス，その領域を管轄する LLM の IP アドレスとポート番号を含んでいる．テーブル Location では各ユーザの位置の最新情報を管理し，テーブル Log には各ユーザの位置の移動を記録する．

3.7 領域間移動の自動検出

本節では，ユーザの領域の移動を自動で検出し，新しい領域での LLM への接続を行うまでの処理手順について述べる．概要を図 3.15 に示す．

ある領域にユーザが居る場合 (図 3.15 上)，ユーザのモバイル PC はその領域の無線アクセスポイントを通じて LLM へ接続し，個人識別の ID の送信や点滅メッセージの受信などを行う．このユーザが別の領域へ移動すると (図 3.15 下)，ユーザのモバイル PC は無線ネットワークのローミング技術を用いて自動的に新しい領域の無線アクセスポイントへ接続する．この領域でネットワーク通信を行うた

表 3.1 Location Database のデータ例

Table:People			
User ID	User Name	Affiliation	Contact Address
1	Muneyuki Sakata	Image Processing Lab.	muneyu-s@is.naist.jp
2	Yoshihiro Yasumuro	Image Processing Lab.	yasumuro@is.naist.jp
3	Masataka Imura	Image Processing Lab.	imura@is.naist.jp
...	...	...	...

Table:Floor	
Floor ID	Floor Name
1	A1F
2	A2F
...	...

Table:Room					
Room ID	Room Name	Floor ID	AP MAC address	LLM IP	LLM Port
1	ME Room	2	00:60:**:**:57	163.221.***.31	4000
2	A211	2	00:07:**:**:B6	163.221.***.36	4000
3	A111	1	00:07:**:**:2F	163.221.***.215	4000
...	...	...	...	...	...

Table:Location				
User ID	Room ID	Position X	Position Y	Position Z
1	4	3.75	1.79	1.2
2	2	1.16	2.15	1.2
3	1	5.39	3.69	1.2
...	...	...	...	...

Table:Log					
Date and Time	User ID	Room ID	Position X	Position Y	Position Z
2004-02-23 00:19:27.33	1	1	4.87	2.92	1.2
2004-02-23 00:19:27.86	1	1	4.79	2.87	1.2
...	...	...	...	...	...
2004-08-13 19:16:50.91	1	4	3.25	2.71	1.2
2004-08-13 19:16:51.65	1	4	3.25	2.71	1.2
...	...	...	...	...	...

第3章 屋内ユーザロケーションシステム ALTAIR

めのネットワーク情報 (IP アドレス, サブネットマスク等) の更新が必要であれば DHCP サーバに問い合わせる。次に, ユーザのモバイル端末は, その領域のアクセスポイントが持つ無線デバイスの MAC アドレスを用いて Network Server に問い合わせを行う。Network Server は Location Database のテーブル Room を参照し, その MAC アドレスから, その領域を管轄している LLM にアクセスするための情報 (IP アドレス, ネットワークポート) を取得し, ユーザに返す。この情報を元に, ユーザのモバイル PC は無線ネットワークを通じてその領域の LLM に接続要求を送ることができ, その領域におけるユーザの識別および位置同定が開始される。

この処理の中にユーザが意図的に行う動作は必要なく, システムが自動的にユーザの領域の移動を検出することが可能である。

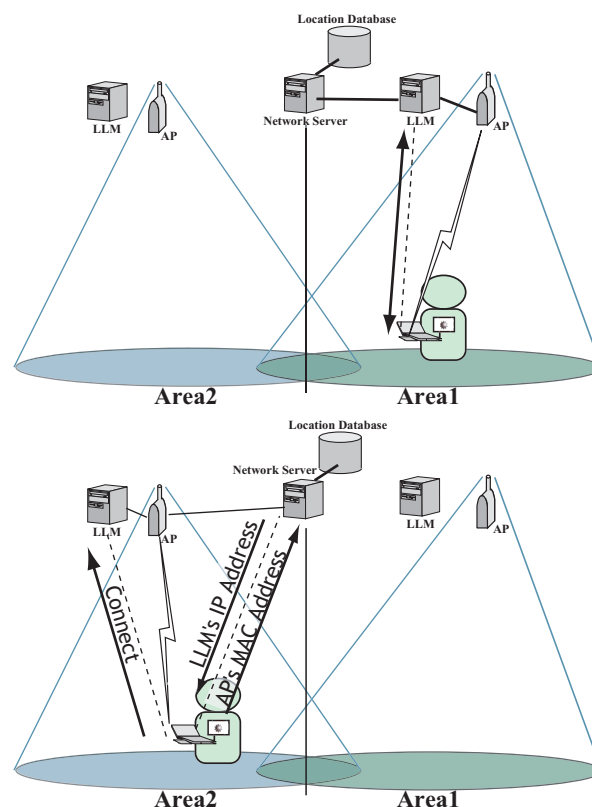


図 3.15 領域移動自動検出:(上) 領域移動前, (下) 領域移動後

第4章

プロトタイプシステムの構築および実験

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検証を行った．

1. 赤外広角カメラによる位置計測精度
2. Tag Detector におけるユーザ追跡能力
3. LLM によるユーザ追跡・識別能力
4. ユーザの領域間移動に対する検知能力
5. Location Database におけるユーザの行動の観察・記録能力

4.1 プロトタイプデバイスの実装

これまで述べてきた ALTAIR が実現可能であることを示し，次節以降で述べる実験に用いる為に，IR タグや赤外広角カメラなどのデバイスを作成した．本節ではそれぞれの実装方法について述べる．

4.1.1 IR タグ・ユーザ側システム

IR タグのプロトタイプを，PIC (Peripheral Interface Controller，Microchip 社 16F64)，赤外線 LED (直径 5mm，ピーク波長 880nm，ビーム角 40 °) 2 個，RS232C インタフェースを利用して作成した (図 4.1)．IR タグは PIC 等を含む回路部と赤外線 LED を含む LED 部に別れており，両者間は結線されている．これ

は、LED 部をユーザの胸部に付け、回路部をモバイル PC と共に持ち運ぶことを想定している。LED 部に設置された LED は無色透明であり、発光も赤外領域であるため人の目には見えず、目立ちにくい。また、LED 部分のみが露出していれば良いため、オフィスなどでは職員証などと統合し、LED を付けていることをさらに目立たなくすることも可能である。発光パターンの選択制御は、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、ユーザのモバイル PC とのシリアル通信の内容によって行った。PIC に入力する水晶振動子の周波数は 10MHz とした。カメラのフレーム取得は最大でも毎秒数十フレーム程度であるため、カメラによって観測可能な範囲の点滅パターンは十分に表現できる。また、試作したタグの回路部は 5cm 四方程度の大きさであるが、回路の集積化等でさらなる小型化が可能である。

さらに、モバイル PC として無線ネットワークデバイスを装填した PDA(Sharp Zaurus [43]) を用い、シリアルインタフェースを通して IR タグと接続してユーザ側のシステムを実現した。このユーザ側のシステムは、今回作成したプロトタイプにおいても PDA と IR タグ、ケーブルなどを含めた総重量が 500g 以下である。PDA と回路部を衣服のポケットに収納し、IR タグの LED 部をユーザの胸部に取り付けることで、ユーザは意識することなくシステムを携帯することができる(図 4.2)。

4.1.2 赤外広角カメラ

赤外広角カメラは、カラー CCD カメラ、700nm 以上の帯域を透過する赤外透過フィルタ、視野角 180deg 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った後、魚眼レンズを装着した。実験で使用したカメラと同等の通常の可視光の魚眼カメラで取得した画像と、実験で用いた赤外広角カメラで取得した画像の比較を図 4.3 に示す。可視光画像では複雑なオフィスの風景であり、この画像からユーザの位置を同定することやユーザの個人識別を行うことは困難であるが、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。

4.1. プロトタイプデバイスの実装

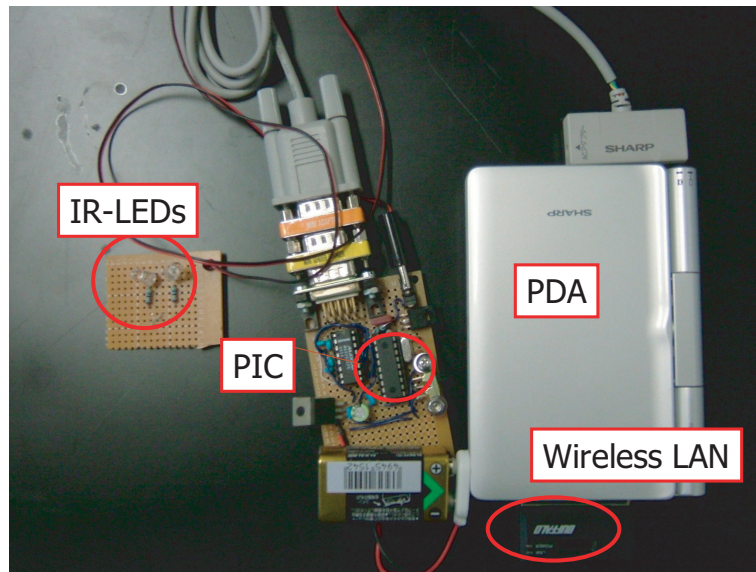


図 4.1 ユーザ側システム



図 4.2 ユーザ側システムを携帯している様子:左図で持っている PDA と IR タグの回路部を右図ではポケットに収納している

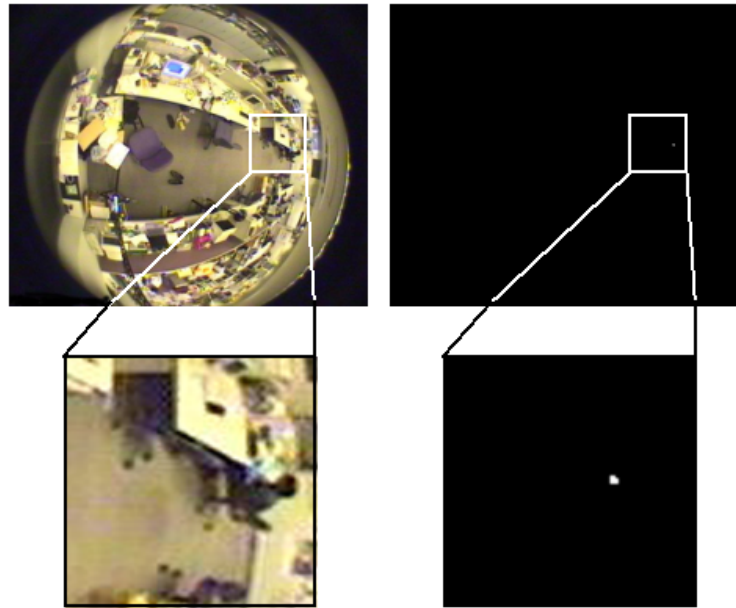


図 4.3 通常の広角カメラ (左) と赤外広角カメラ (右) で撮影した画像 (上段白四角部分を下段で約 5 倍拡大)

4.2 赤外広角カメラのキャリブレーション

本実装における赤外広角カメラを用いた位置計測を行うために，カメラの位置と姿勢を求めるキャリブレーションを行う必要がある．今回の実装では，図 4.4 に示すように，カメラの光軸と床面との交点 P_1 ，カメラの光軸と高さ 1.2m の平面との交点 P_2 の実空間での三次元座標値を計測し，画像中における P_2 の直下の床面の点 P_3 の座標値とカメラ位置の高さ Z の実測値，手作業で与えた画像中心及び画像半径を用いてキャリブレーションを行った．実空間の各点の座標値の計測には IR タグを点灯させてマーカとして用いた．

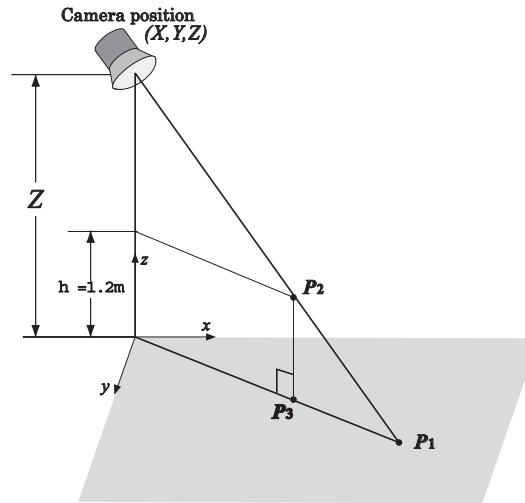


図 4.4 赤外広角カメラのキャリブレーション

4.3 位置同定における計測誤差

本研究で用いている位置同定手法は，胸につけた IR タグの高さを一定と仮定しているために，実際の IR タグの高さの違いによって計測結果に差が生じる．例えば，図 4.5 に示すように，赤外広角カメラで撮影される画像中で，高さを h と仮定した時にカメラからの距離が l と計測される輝点は，IR タグが h よりも高い位置にある場合には l よりも短い距離の位置，IR タグが h よりも低い位置にある場合には l より長い距離の位置でも同一点に観測される．よって，ユーザの身長個人差や IR タグの装着場所の違い，椅子に座っているなどの姿勢の変化によって計測される位置に誤差が生じる．

そこで，タグの高さの仮定値 h を 1.2m とし，IR タグの高さを仮定値通りの 1.2m，および 1.0m，1.4m の高さに変化させ，単眼赤外広角カメラによる位置計測の計測誤差分布を計測した，IR タグの各高さについて，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 4.6～図 4.8 に示す．この実験には，x 軸正方向に俯角約 45deg で設置し，4.2 節で述べた方法でキャリブレーションを行った赤外広角カメラを用いた．結果，IR タグの高さが仮定値通りの 120cm の場合は，7.2m × 6m の床面積の領域に対して，平均誤差は

第4章 プロトタイプシステムの構築および実験

10cm, 最大の誤差が 30cm 程度であった。また, IR タグの高さが 1.0m, 1.4cm の場合でも最大誤差は約 1m 程度であった。このことから, ユーザの身長の違いや姿勢の変化によって IR タグの高さが変化したとしても, 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ことがわかる。

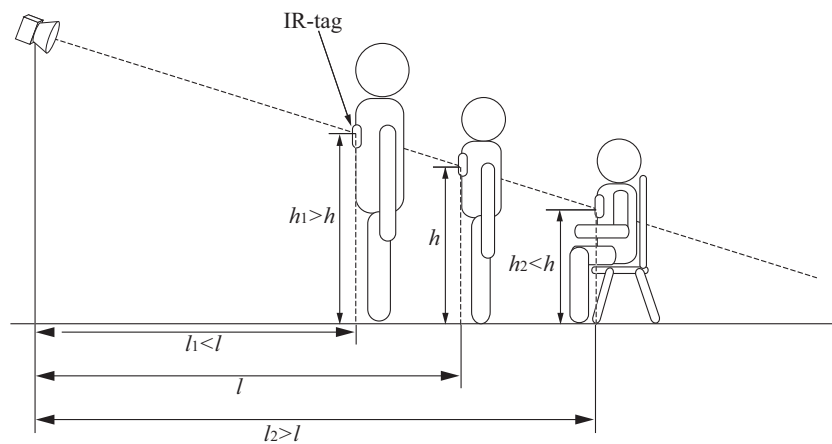


図 4.5 IR タグの高さに対する計測距離の変化

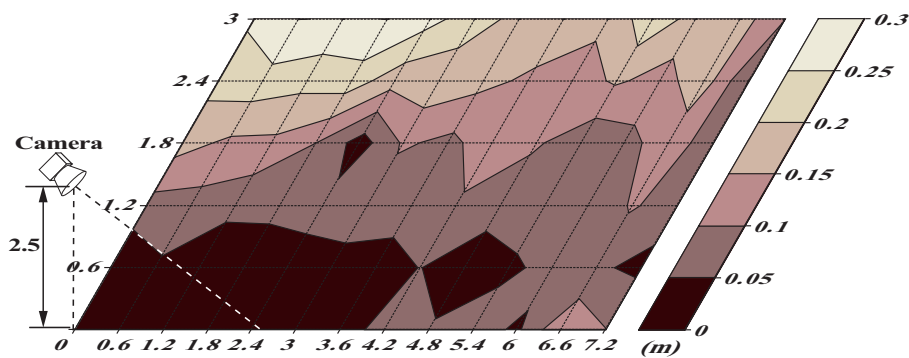


図 4.6 単眼広角カメラによる位置計測誤差分布 (IR タグの高さ=1.2m)

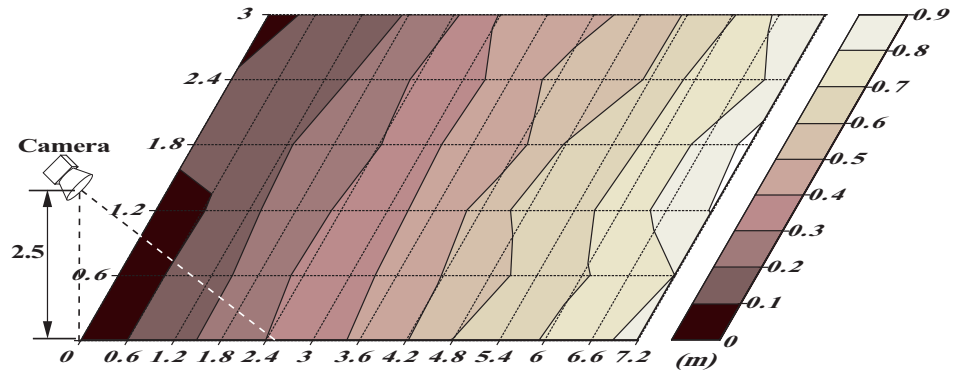


図 4.7 単眼広角カメラによる位置計測誤差分布 (IR タグの高さ=1.0m)

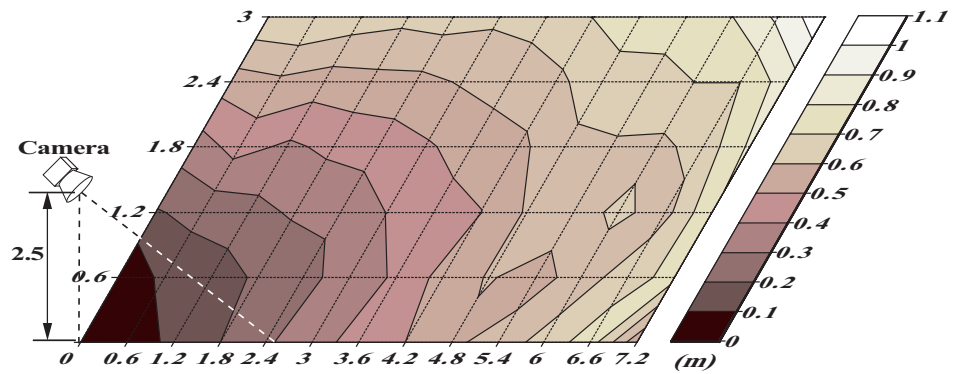


図 4.8 単眼広角カメラによる位置計測誤差分布 (IR タグの高さ=1.4m)

4.4 Tag Detector と LLM によるユーザの追跡と識別

次に、赤外広角カメラと Tag Detector , LLM を配置した単一の領域において、複数ユーザの位置同定およびユーザ識別が行えるかを確かめた。

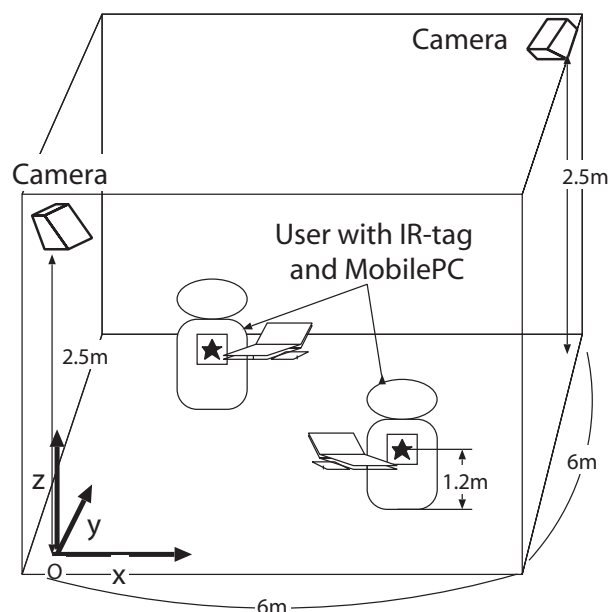


図 4.9 実験対象領域

表 4.1 実験に使用した PC の仕様

Components	CPU	RAM
LLM・Tag Detector (1)	Pentium4 2.0GHz	512MB
Tag Detector (2)	Pentium4 1.8GHz	512MB

4.4.1 実験環境・実験設定

6m × 6m の床面積の領域において座標軸を図 4.9 のように取り，計測対象領域とした．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いた．各カメラは， $(x, y) = (0m, 0m), (6m, 6m)$ の位置に，高さ 2.5m，俯角約 45deg で向き合うように設置し，4.2 節で述べたキャリブレーションを行った．表 4.1 に示す 2 台の PC を使い，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 とし，画像更新速度は約 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

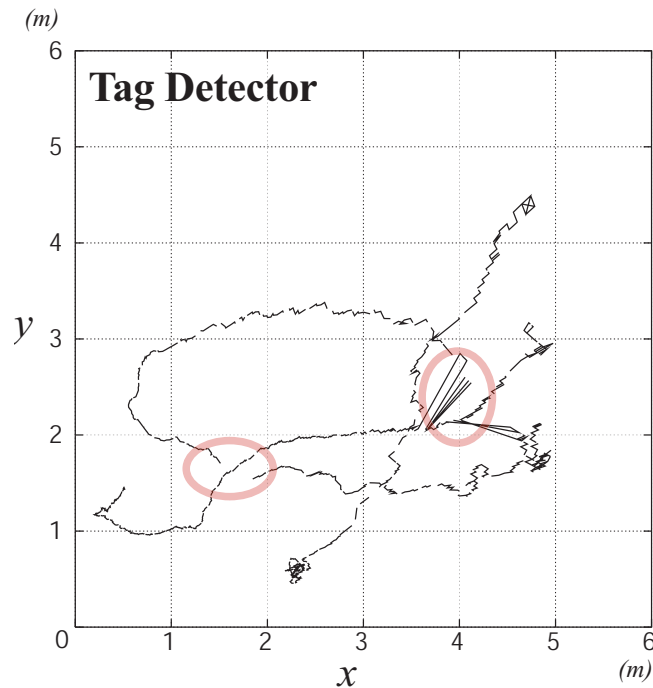


図 4.10 Tag Detector による IR タグの追跡結果

るように IR タグの PIC をプログラムし，Tag Detector では連続 12 フレームをモニターし輝点の明滅を 3 回以上検知した場合を点滅と判断するものとした．各カメラにおいて 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，この実験では，各 PC の IP アドレスは既知とした．

4.4.2 実験結果

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，各 Tag Detector で IR タグを追跡した結果を重ねて図 4.10 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 IR タグ同士が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．図中丸で囲んで示した部分は，移動する 2 人のユーザが交差して 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

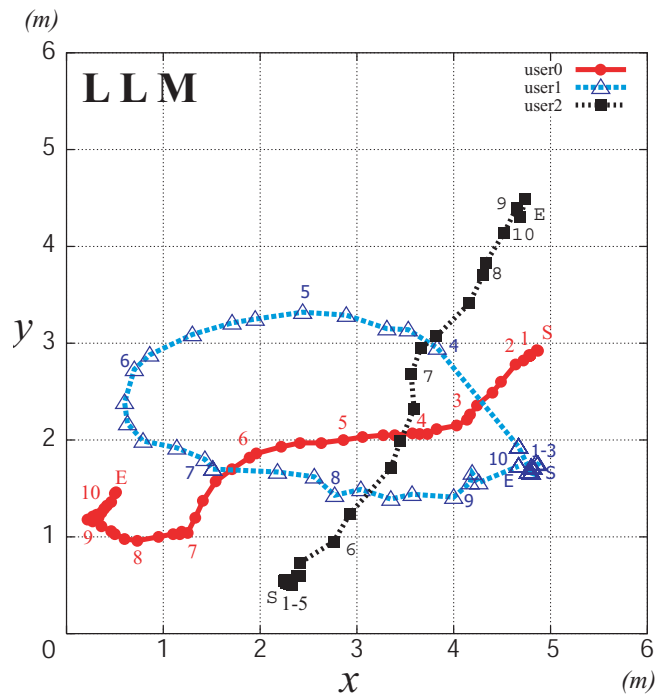


図 4.11 LLM による IR タグの追跡結果

た場合を示している．それぞれ，追跡が途切れてしまったり，異なる IR タグの軌跡の対応付けが入れ替わったことを示している．

一方，LLM による追跡結果を図 4.11 に示す．3 人の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でき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，IR タグの点滅時間 2 秒間に無線ネットワークを考慮し，約 4 秒程度であった．

4.4.3 実験考察

20Hz 程度の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。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。しかし、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 タグの発光が再び検知され、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。ユーザー一人の呼び出しに 4 秒程度かかるのは十分早いとは言えないが、点滅時間を効率化することによる時間短縮や、CMOS カメラのように高速で撮影可能なセンサを使うなど、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。

4.5 アプリケーション構築

Application Server で提供するアプリケーション例として、Room Viewer、Floor Viewer、Log Viewer を構築した。ALTAIR におけるアプリケーションの基本的なデータの流れを図 4.12 に示す。

Location System の各領域の LLM において取得された各ユーザの位置情報は Location Database に集約されている。Application Server は、担当する各アプリケーションの内容とユーザの要求に応じて Location Database にクエリを送り、返ってきた結果のデータに対して整形や描画を行いユーザに提示する。今回構築した環境では、ユーザ側のアプリケーションが Location Database に直接クエリを送信することも許可する形とした。本実装においては、Location Database には既存のリレーショナルデータベースである PostgreSQL [44–46] を採用し、3.6 節で述べたデータ構造を実装した。

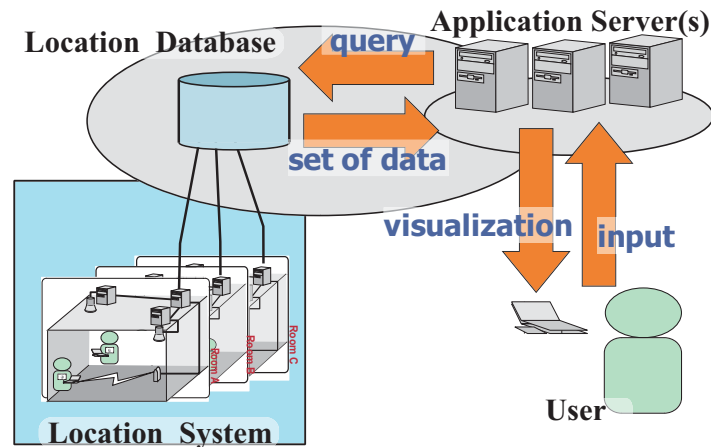


図 4.12 アプリケーションの基本的なデータの流れ

4.5.1 Room Viewer

まず, Room Viewer と名付けたアプリケーションを構築した. このアプリケーションは, 各領域の現在の状況を離れたところから見るができるアプリケーションである. 今回の実装では, Application Server として Location Database にクエリを送信して位置情報のデータを受け取り, ユーザ側のプログラムへ送るプログラムを作成した. また, ユーザ位置を描画するのに必要な領域内の間取りなどの背景やユーザ画像などは, Web サーバプログラムである Apache [47, 48] を利用し, 必要時にネットワーク上から取得するようにした (図 4.13). このアプリケーションが Location Database へ送信するクエリは, 対象領域における最新情報, つまり Location Database におけるテーブル Location のデータの中で, Room ID が目的の領域と一致するデータを取得するものである.

図 4.14 に PC において実行した画面と, 比較として同じ場面を撮影した画像を示す. 実行画面では, 領域を選択するとその領域内にいるユーザの位置をユーザの顔写真と円錐形のオブジェクトで疑似三次元表示している. Room Viewer は他にも PDA で実行することもでき, この際は, 表示画面サイズを考慮して二次元表示にしている (図 4.15). このアプリケーションによって, LLM が取得した最新のユーザ位置情報を 2 秒程度の遅延で取得することが可能である.

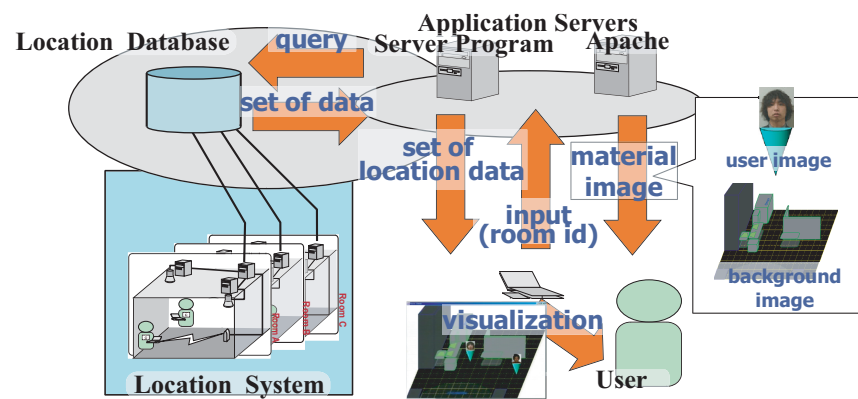


図 4.13 Room Viewer におけるデータの流れ

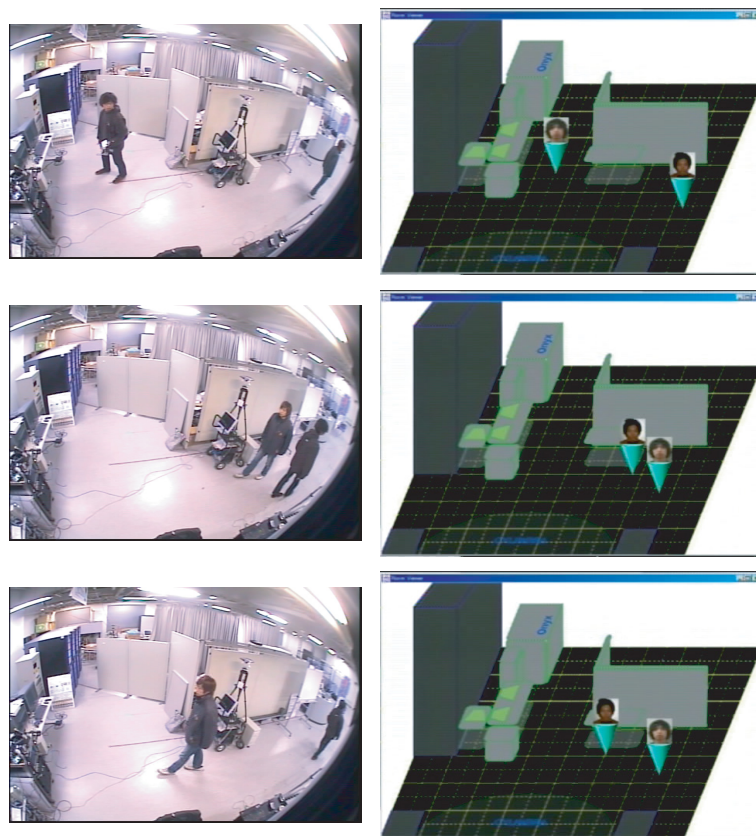


図 4.14 Room Viewer 画面:(左) 比較実写画像, (右)Room Viewer 画面



図 4.15 PDA での Room Viewer 実行例

4.5.2 Floor Viewer

次に，Floor Viewer と名付けたアプリケーションを構築した．このアプリケーションは，各 Floor において，どの領域に誰がいるかを離れたところから見る事ができるアプリケーションである (図 4.16)．データの流れ等の実装方法は Room Viewer と同様である．Location Database へ送信するクエリは，対象 Floor における最新情報，つまり Location Database におけるテーブル Location とテーブル Room を連結したデータの中で，Floor ID が目的の Floor と一致するデータを取得するものとし，背景およびユーザ画像は Web サーバ から取得する構成にした．

4.5.3 Log Viewer

次に，Log Viewer と名付けたアプリケーションを構築した．このアプリケーションにおけるデータの流れを図 4.17 に示す．Log Viewer は，Location Database に記録されている位置情報の記録から，ある人のある領域，ある時間の行動の足跡を表示することができるアプリケーションである．今回の実装では，ユーザ側で実行するプログラム自身が Location Database にクエリを送信し，返ってきた

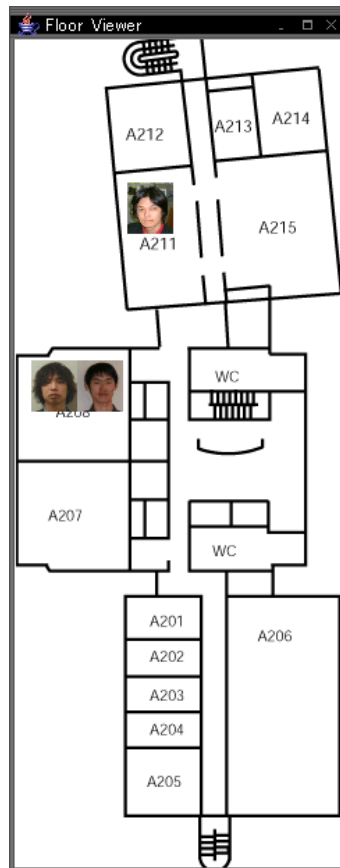


図 4.16 Floor Viewer 画面:

データを Room Viewer でも用いた Web サーバからの画像を使って可視化するようにした。このアプリケーションが Location Database に送信するクエリに含まれる情報は、領域の ID、ユーザ ID、描画するデータの日時であり、ユーザは領域名やユーザ名等理解しやすい方法で選択できる。これらの選択を行う候補も Location Database から取得する。

図 4.18 に Log Viewer を実行した画面を示す。左の画面で、領域名、ユーザ名を選択すると、対象のユーザが対象の領域に居た日が Date 欄に列挙され、そのうちの一つを選択すると、その日にユーザが居た時間が From 欄と To 欄に表示される。この From 欄と To 欄を用いて描画する時間の範囲を選択し、描画のボタンを押すと、別画面にて対象のデータを描画することができる。

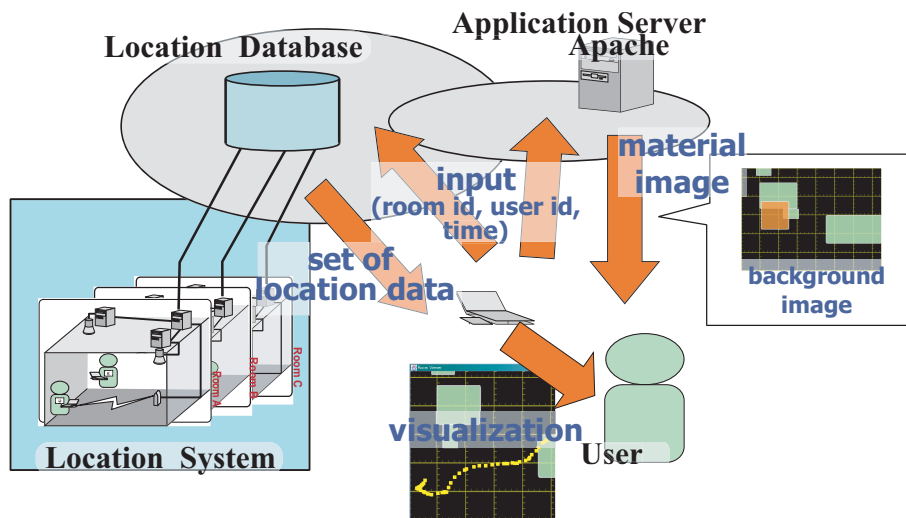


図 4.17 Log Viewer におけるデータの流れ

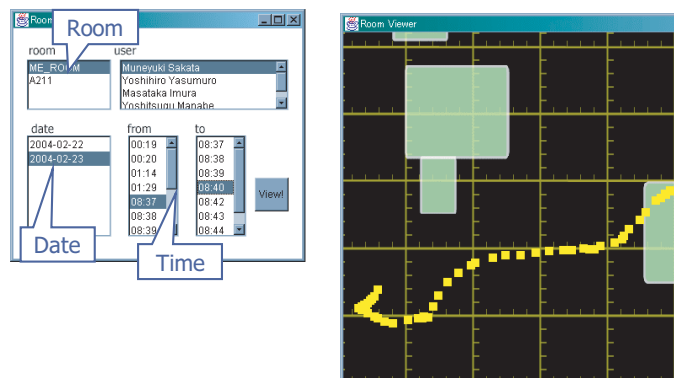


図 4.18 Log Viewer 画面:(左) 入力選択部, (右) 足跡表示部

4.6 領域間移動を含むユーザ行動記録実験

本節では, 3.15 節で述べた手法を用いてユーザの領域間の移動を自動的に検知し, 各領域における位置同定およびユーザ識別が自動的に開始, 終了することが可能であること, および各領域における位置同定, ユーザ識別, Location Database を用いてユーザの行動を観察, 記録することが可能であることを検証する実験に

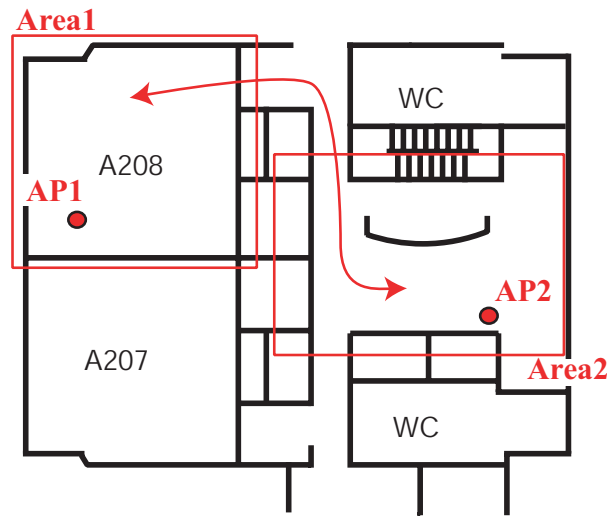


図 4.19 領域の設定

ついて述べる。

4.6.1 実験環境・実験設定

図 4.19 に示すように無線 LAN のアクセスポイント AP1, AP2 をそれぞれ設置し、領域 Area1, Area2 を設定した。ネットワーク上、AP1・AP2 およびユーザー側のモバイル PC は同一セグメントに属するとし、無線ネットワークを利用するために必要な情報 (ESSID WEP キー) は AP1 および AP2 に共通のものをを用いた。このことによって、モバイル PC の無線ネットワークデバイスはローミングサービスを利用することができ、無線ネットワークの設定やネットワーク情報 (IP アドレス、サブネットマスクなど) を再設定することなくアクセスポイント間を移動しながら通信を行うことができる。

さらに、Area 1 内、 $6\text{m} \times 6\text{m}$ の床面積の領域に座標軸を図 4.20 のようにとり、Area1 の計測対象領域とした。赤外広角カメラはおよそ $(x, y, z) = (5.5\text{m}, 0.5\text{m}, 2.6\text{m})$, $(0.5\text{m}, 5.5\text{m}, 2.6\text{m})$ の場所に俯角約 45deg で向き合うように設置し、4.2 節で述べたキャリブレーションを行った。

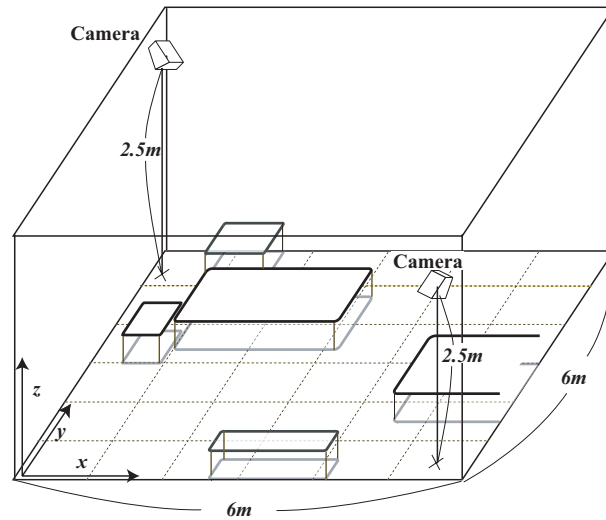


図 4.20 Area1 内の環境設定

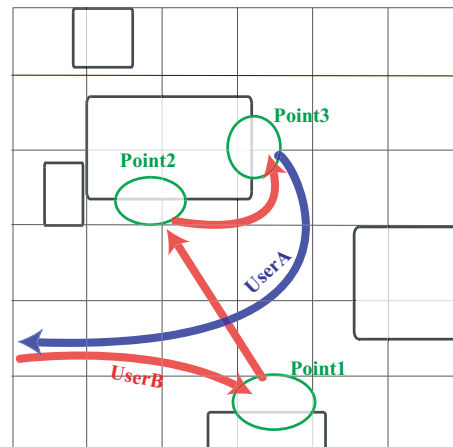


図 4.21 Area1 内でのタスク内容

この環境下において、二人のユーザ (User A, User B) にユーザ側システムを携帯させ、以下に示すタスクを満たすよう行動した時、システムがこれらの検知し、記録できるかどうかを確かめた。

- (i) 初期状態は Area1 に User A, Area2 に User B が居る状態とする。
- (ii) User B が Area2 から Area1 に入る。

- (iii) User B が Area1 内で図 4.21 に示すように，Point1, Point2, Point 3 へ順番に移動し，Point3 にて User B は User A と場所を交代する．
- (iv) User A が Area1 を退出し Area2 に移動する．

4.6.2 実験結果

ALTAIR が検知しているユーザの位置情報を Floor Viewer(4.5.1 節) および Room Viewer(4.5.2 節) によって示したものを同時刻における実写映像と比較し，図 4.22 に示す．この図では，各画面において User A の位置を赤色，User B の位置を青色で囲んである．

実験の結果，タスク (ii) およびタスク (iv) にあたる領域間の移動をシステムが検知できていることが，Floor Viewer の出力から確認できた．図 4.22(1) と (2) 間では User B が Area 2 から Area 1 へ移動したこと，(5) と (6) 間では User A が Area 1 から Area 2 へ移動したことをそれぞれ示している．検知にかかる時間は，実際にユーザが移動してから 3～10 秒程度であり，この時間のほとんどはユーザの携帯するモバイル PC において，利用するアクセスポイントの変更が検知されるまでの時間である．また，ユーザの移動を検知した際の，移動したユーザに対する Area 1 での位置同定およびユーザ識別が，入室時には自動的に開始され，退出時には自動的に終了されたことが，Room Viewer の出力から確認できた．

Location Database に記録されたユーザの足跡を Log Viewer を用いて描画した画面を図 4.23 に示す．User A については図 4.23 左，User B については図 4.23 右にそれぞれ示してある．この図からは，User B については Area1 に入室してから Point1，Point2，Point3 の順で移動していること，User A については Point3 から移動して Area1 を退出していることを読み取ることができる．これは，タスク (iii) および (iv) における各ユーザの行動を記録できることを示している．また，タスク (iii) および (iv) における各ユーザの行動は Floor Viewer および Room Viewer を用いて示した図 4.22 でも，User B が各点に移動した様子が図中 (2)(3)(4)，User A が退出していく様子が図中 (5) で示されており，システムがユーザの行動をリアルタイムに観察できることが確認できた．

第4章 プロトタイプシステムの構築および実験

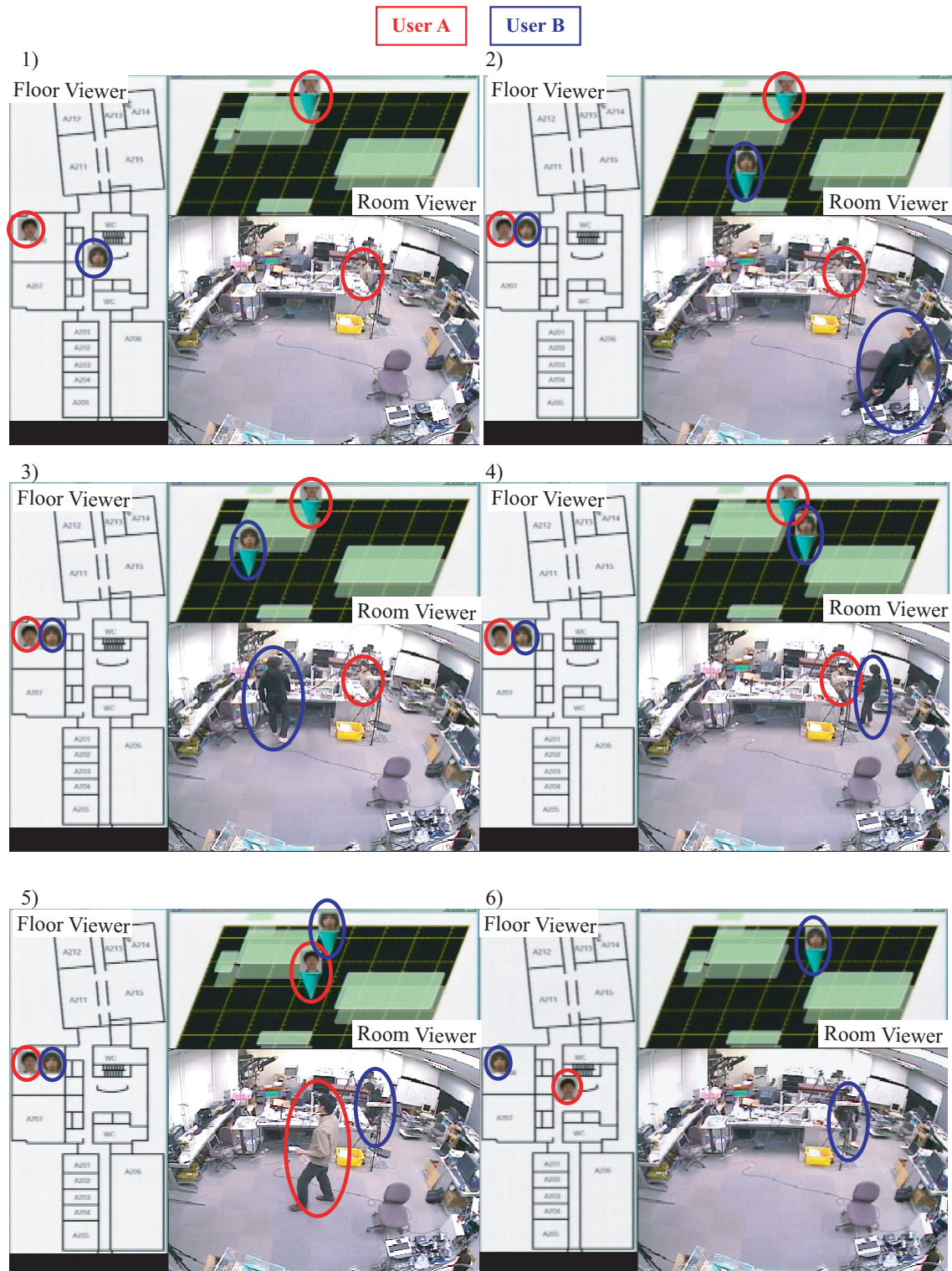


図 4.22 ユーザの行動をシステムが認識している様子

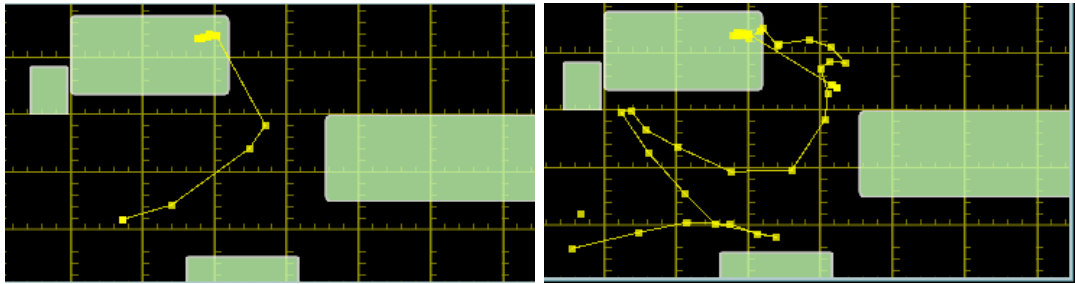


図 4.23 Log Viewer の出力:(左)User A (右)User B

4.6.3 実験考察

実験によって、ALTAIR がユーザの領域間の移動をユーザが意図的な動作をすることなく自動的に検知し、各領域における位置同定およびユーザ識別を開始・終了できることが示された。このことは、ALTAIR が複数領域に拡張可能であり、ユーザの位置を把握する全ての行程においてユーザの意図的な動作を必要としない自動的なシステムとして実現可能であることを示している。しかし、ユーザが領域間を移動したことを正確かつ早急に検出するためには、無線ネットワークでの各アクセスポイントが担当している領域を適切に設定、把握し、赤外広角カメラで捕捉可能な領域と一致させることが必要である。そのためには、赤外広角カメラの設置位置や角度、アクセスポイントの設置位置や電波強度などを調整する必要があると考えられる。他にも、DHCP サービスなどを用いてユーザのモバイル PC のネットワーク情報 (IP アドレスやサブネットマスク等) を更新するには 10 秒程度の時間がかかるため、無線ネットワークが同一セグメントで構成され、全ての領域間でのローミングが可能であることが望ましい。

また、Floor Viewer と Room Viewer を用いたリアルタイムの観察と、Location Database に記録された情報を用いた Log Viewer での表示により、ユーザの行動をシステムが把握可能であることが示された。このことは、ユーザが行っている作業内容や現在の状況などを、ユーザの位置を利用して把握できる可能性を示唆している。

4.7 考察

本章では，位置同定およびユーザ識別の手法を用いたロケーションシステムの手法を提案し，ALTAIRのプロトタイプの構築とその有効性を示す実験について述べた．本節では，これらをまとめ，手法の有効性および，ALTAIRのロケーションシステムとしての能力，可能性，適用可能な対象について考察する．

4.7.1 提案手法の考察

本研究で提案したユーザの位置同定およびユーザ識別手法について考察を行う．提案した手法の特徴として以下の点が挙げられる．

- センサとしてカメラを用いる．

センサとしてカメラを用いることは，他の電波や超音波などのセンサを用いるのと比べ，カメラが二次元センサであること，そして光を計測することに相違点がある．電波や超音波を用いて距離計測を行う手法では，発信部とセンサの組が3組，条件に一定の拘束を与えたとしても最低2組同時に計測されなければ位置を決定できない．提案手法ではカメラを二次元センサとして用い，IR タグの発光を1台のカメラで捕らえるだけで位置を同定することが可能である．さらに，カメラを広角レンズと組み合わせて用いており，1台のカメラで広範囲の領域を担当することができる．これはセンサを削減するためには有効であると考えられ，実験においても対象領域に2台のカメラを設置することで，その領域内の位置同定を行うことが可能であった．しかし，光は障害物によって簡単に遮断されてしまうことから，隠蔽などによって計測不能な事態が生じやすいという欠点がある．しかし，これは超音波等にも同様に言えることであり，距離や位置の計測を行うという点では電波を用いる場合にも障害物の影響は大きいと考えられる．

- 赤外広角カメラと赤外発光マーカを使って近赤外光領域で撮影された画像を用いて画像処理を行う．

赤外線透過フィルタを用いて可視光を遮断し，マーカに赤外発光マーカを用いることで，可視光による画像処理を行うよりも安定してマーカを抽出することが

できた．可視光領域でマーカを抽出する情報としては，色情報を用いる場合が多いが，生活空間においては環境に様々な色が溢れているために，単純に抽出することは難しい．一方，赤外光を発するものは可視光に比べて格段に少なく，画像中から輝度の情報だけを用い，単純な画像処理で効果的に抽出することが可能であった．生活空間にも赤外線発するものがいくつか存在するが，実験を行う上でカメラによって取得されたものは太陽光および赤外線通信デバイス発光の2種類だけであった．太陽光や白熱灯の照明が発する光には可視光だけでなく赤外光の要素も含まれているが，あらかじめ太陽光が入射する部分や天井の白熱灯領域をマスク処理などを用いて排除することで対応可能であった．赤外線通信 (IrDA) や家電のリモコンなどの赤外線デバイスの発光と IR タグの発光と区別することは，現状の実装ではできていない．しかし，赤外線通信やリモコンの通信に用いられる点滅 (発振) 速度は，IR タグで用いているものとは大きく違うこと，IR タグの発光パターンはシステム側から制御した場合にだけ変化し，常に点滅しているものは IR タグではあり得ないことを利用することで IR タグの発光とそれ以外のデバイスの発光とを区別することが可能であると考えられる．また，赤外光の発光は人の目には見えず，可視光のマーカを使うのに比べて実生活上で目立たないマーカを実現することができる点も赤外発光マーカを使う上での利点である．

- 発光マーカの発光パターンを変化させ，時間軸に連続した画像群を用いてマーカの識別を行う．

カメラを使ってユーザの識別を行うためには，高度な画像処理を用いて画像中の顔部分を用いて識別することや2次元コードのようなマーカを用いることなどが行われているが，どちらの場合も画像中の一定以上の領域に判別対象が映っていないければならず，広角のカメラで広い領域を撮影した画像でこれを行うのは難しい．しかし，発光マーカの発光パターンを変化させることで，画像中にマーカが1ピクセル以上の大きさで撮影されていればそのマーカを判別することができ，実験においても6m四方の領域で安定して点滅を検知することが可能であった．

- ネットワークを通じて発光マーカの発光パターンを制御し，制御したマーカと発光が変化した輝点とを関連付ける．

発光マーカの発光パターンを変化させることでユーザの識別を行う場合、マーカの発光パターンに情報量を持たせるためには、発光パターンとカメラの撮影周期を同期させることや、一定時間以上安定して発光を取得するなどが必要である。本手法ではネットワークを通じて一人のユーザの発光マーカの発光を制御し、他のユーザの発光マーカの発光と区別することで、制御した発光マーカと撮影された輝点のうち発光が変化したものとを関連付ける。この関連づけを全ユーザに対してくり返すことで、識別に必要な発光マーカの発光パターンを点灯、点滅の1ビットの情報量だけに抑さえ、マーカを識別するために映っていなければならない時間が短くても全ユーザの識別を行うことが可能となった。一度に識別が行えるのは一人のユーザに対してだけであり、一人を一回識別するためには現状で4秒程度の時間を必要とするが、本手法ではフレーム間の輝点追跡によるユーザ位置追跡を識別処理と併用することで識別対象以外のユーザに対する位置同定も行っているため、位置情報の更新頻度は高く保つことができる。また、一度オクルージョンなどで発光を見失ったマーカを優先して識別対象にすることで、全てのユーザが正しく識別されている状態をできるだけ長く保つための工夫も行っている。

4.7.2 研究目的との比較

赤外広角カメラは、一般に市販されているカラー CCD カメラと赤外線透過フィルタ、魚眼レンズを組み合わせることで実現できた。このカメラは、オフィスのような屋内の環境において、IR タグの発光を、簡単な画像処理のみで安定して抽出できる二次元センサとして用いることができ、時間的に連続した画像群を処理することで IR タグの点滅を検知することができる。また、システム側からの要求に応じて赤外線 LED の発光を制御するユーザ側のシステムは、無線ネットワーク機能を有する小型の PC や PDA に試作の IR タグデバイスを接続することで実現可能であった。このユーザ側のシステムは、プロトタイプである本実装においても衣服に収納できるほどの大きさであり、これを携帯することによるユーザの負担は少ないと考えられる。

実験を通して、領域間の移動にも対応し、ユーザの位置を把握する全ての行程

においてユーザの意図的な動作を必要としない、自動的なロケーションシステムであることが確認できた。位置同定精度は、IR タグの高さが仮定した高さと同じ場合、6m 四方程度の領域において最大誤差が 30cm 程度と高い精度を実現している。また、身長個人差や IR タグの装着位置の違い、椅子に座っているなどの姿勢の変化により、IR タグの高さが変化した場合にも、誤差は 1m 程度に抑えられた。これは、成人男性の肩幅が約 50cm、歩幅が約 1m であることを考えると、人の立っている位置を表すのには十分に高精度であると考えられる。構築したアプリケーション例では、現在の状況を観察したり、過去の情報をまとめて閲覧するなどが可能であり、ALTAIR がユーザの位置情報を用いて様々なアプリケーションに適用できる可能性を有することを確認することができた。なかでも、システムによって観察・記録されている情報は、どの場所に居たか、どの椅子に座っていたか、どの机に立ち寄ったかなど、ユーザの行動を表しており、作業の内容によっては ALTAIR に記録された位置情報からユーザの作業記録を作成するなどのアプリケーションが実現できる可能性を有している。また、データベースを利用して、人の位置を時間的、場所的に管理していることから、他のデータリソース、例えば端末の入出力やその記録、定点カメラの映像、会議の議事録などとの連携が可能であり、散財するそれらのデータ群を結び、人、時間、場所など様々な切り口から利用する核となる可能性を有している。以上のことから、ALTAIR は 2.3 節で述べた屋内のロケーションシステムに必要な条件を全て満たし、様々な用途に応用可能なシステムであると言える。

4.7.3 ALTAIR の能力に関する考察

本節では、ALTAIR の能力について、IR タグが撮影可能な範囲、ユーザ位置同定における時間遅延、利用可能なユーザ数の点から考察を行う。

IR タグが撮影可能な範囲についての考察

IR タグの発光は、複数の赤外線 LED を配置し、できるだけ広角に発光するように設計してある。実際、4.1.1 節にて述べた手作りによる試作の IR タグを用い

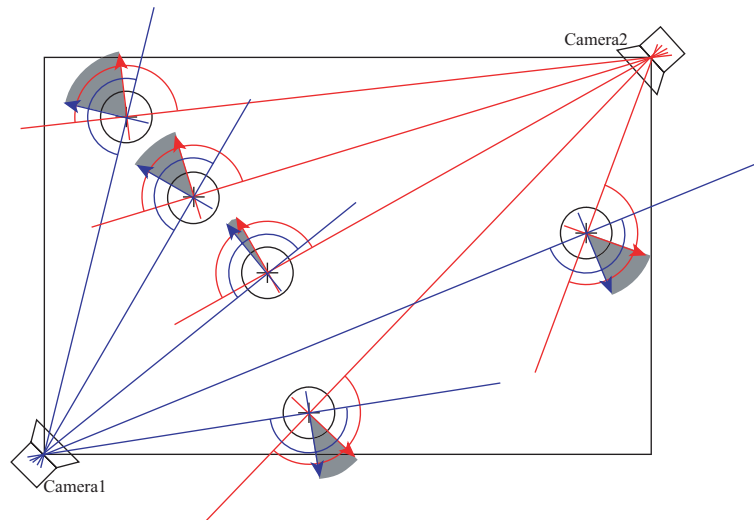


図 4.24 ユーザ位置と IR タグを撮影不可能なユーザの向きとの関係:青色が Camera1 で撮影可能な限界, 赤色が Camera2 で撮影可能な限界を示しており, ユーザの向きが灰色部分に入っている場合どちらのカメラでも撮影できない。

た場合, $6\text{m} \times 6\text{m}$ の領域において IR タグの向きを変えてもほぼ 180deg の範囲で発光を検知できた。しかし, 図 4.24 に示すように, 赤外広角カメラを領域の角に向かい合うように 2 台設置した場合には, 仮に IR タグの発光角度が 180deg であり, 障害物が存在しない条件であったとしても, ユーザの向きによっては IR タグの発光を検知できない場合が存在する。タグの発光を検知できない角度は, カメラを設置していない角付近にて最大となり, カメラ同士を結んだ線上が最小となる。この問題によってユーザの行動が検知不能な場面は, カメラの設置位置を工夫し, ユーザが長時間取りうる姿勢が発光を検知しにくい角度に当てはまらないようにすることで減らすことができる。しかし, 検知不能な角度を完全に無くすためには, カメラの台数を増やすことが唯一の手段である。

他にも, ユーザが前かがみになっている場合やユーザが持っている荷物によって IR タグが隠れてしまう場合など, ユーザの姿勢やユーザ同士のオクルージョンなどによっても, IR タグの発光が検知できないことが起こり得る。つまり, マーカとカメラの組み合わせを用いている以上, 常に IR タグの発光を取得し, 100%の

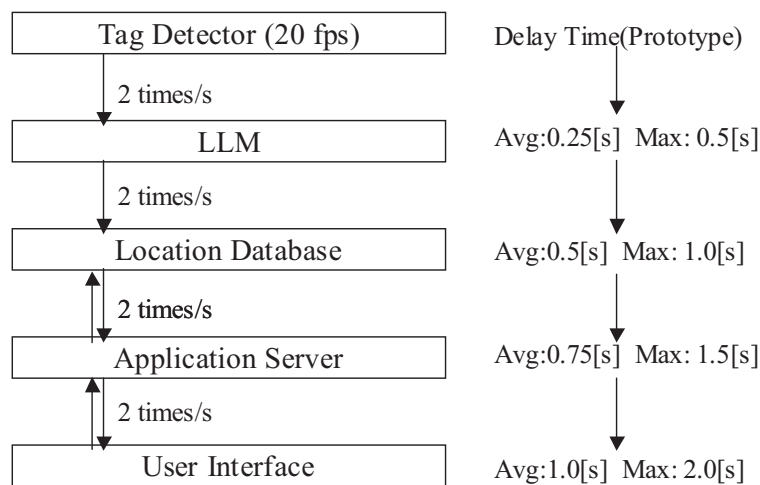


図 4.25 Room Viewer における遅延時間の概算

追跡率を達成することは不可能であると考えられる．しかしながら，ユーザの位置が把握不能な時間を極力短くするために，一旦 IR タグの発光が検知できなくなったとしても，再び検知できた時点で自動的かつ優先的にユーザの追跡およびユーザ識別を再開可能な機構を備えているなどの最大限の工夫は行っている．

ユーザ位置同定の時間遅延に関する考察

ALTAIR において，ユーザの行動が追跡されて，アプリケーションでユーザに提示されるまでの時間遅延について考察する．図 4.25 に，Room Viewer における情報の更新頻度と遅延時間の概算を示す．Tag Detector では，カメラで撮影した毎秒 20 フレーム程度の画像を用いてフレーム間追跡を行うため，遅延は無いに等しい．しかし，今回の実装では，非同期に動作する LLM，Location Database，Application Server，ユーザ側の提示プログラム (図中 User Interface) の各プログラムの更新頻度を毎秒約 2 回に設定しており，各所で概算平均 0.25 秒，最大で 0.5 秒程度の遅延が発生する．そのため，ネットワークの遅延が無いと仮定した場合でも，Tag Detector で画像を撮影してからユーザに提示されるまで，平均で約 1 秒，最大で約 2 秒程度の遅延が発生すると考えられ，実際の実験中でも同様の結

第4章 プロトタイプシステムの構築および実験

果が得られた．現状の結果でも実現可能なアプリケーションは多くあると考えられるが，この遅延を短くする必要がある場合にはいくつかの対処策が考えられる．例えば，毎秒2回の更新頻度は，Tag Detector で点滅検知に使用する画像群12フレームを撮影する時間を基準に設定している値であり，ネットワークで伝送される情報はどのプログラム間においても数十バイトの文字列データでネットワークに与える負担は少ない．よって，各プログラム中の更新頻度を，カメラにおける画像の撮影頻度と等しい毎秒約20フレームを限界値として高速化することが可能であり，遅延時間を現状よりも短くすることが可能であると考えられる．

ユーザ数に関する考察

ALTAIR は，1台の赤外広角カメラで撮影可能なユーザ数，一つのLLMが担当する単領域で管理可能なユーザ数，システム全体で管理可能なユーザ数，アプリケーションを同時利用可能なユーザ数について，それぞれ異なった限界を有している．まず，1台の赤外広角カメラで撮影可能なユーザ数については，各画像中に撮影されるユーザ数が多くなると，ユーザ同士によるオクルージョンやフレーム間追跡における追跡の失敗などが起こりやすくなると考えられる．1台のカメラで10人以上を撮影する必要がある場合などはこの傾向が顕著になる．同様に，単領域で管理可能なユーザ数，すなわち1台のLLMにて位置同定およびユーザ識別を行うユーザ数も，10人程度が限界であると考えられる．これは，一人のユーザを識別するために現状では4秒程度かかり，10人が一領域にいるとすると，あるユーザを一度識別して次に再び識別されるまでには40秒かかる計算になり，その間に追跡を失敗した場合にはユーザを正しく識別している状況に復帰するまでに時間がかかるからである．この問題を改善するためには，点滅時間を効率化することやCMOSカメラのように高速で撮影可能なセンサを使うなど，点滅検知処理を高速化することである程度改善が可能であると考えられる．

一方，システム全体で管理可能なユーザ数に関しては，データベースを利用していることにより，現状でも100人程度であれば管理可能であると考えられる．また，データベースに用いるプロセッサ数やメモリの容量を増やす，複数のデータベースに分割して負荷分散を行う，より高機能なデータベースソフトウェアを

導入するなど、改良可能な点は多い。また、アプリケーションを同時利用可能なユーザ数についても、Application Server が代表して Location Database に問い合わせを行い、アプリケーションを提供するために必要なデータを保持するデータベースとしての役割を担うことによって Location Database の負荷を押さえることができる。また、Application Server を複数台設置することによる分業化も可能なことから、同時利用が可能な人数を増やすことは容易であると考えられる。

4.7.4 ALTAIR が適用可能な場面

最後に、ALTAIR が適用可能な場面について考察を行う。ALTAIR はユーザにシステムを携帯させる必要があり、ユーザの位置情報を集中的に管理する形態を取っていることから、ユーザ側システムの配布が難しく、取得した情報はユーザのプライバシー情報に直結するなどの理由などによって公共施設の利用者や地下街の通行人など不特定多数の位置情報を把握するためのシステムとしての適用は難しい。また、ユーザに装着した HMD(ヘッドマウントディスプレイ, Head Mounted Display) にユーザの視点に合わせた情報を重畳表示するといった VR(バーチャル・リアリティ, Virtual Reality) 分野や MR(ミックスド・リアリティ, Mixed Reality) 分野に用いるためには、ユーザの姿勢情報など本システムで取得できない情報が必要となる場合がある。しかし、ALTAIR と他の計測システムとを併用することでこれらの分野にも利用できる可能性がある。

しかし、ALTAIR はオフィスや店舗などで働く人々をユーザとし、位置の移動を観察・記録することでユーザ同士のコミュニケーションを円滑にし、業務を見守っていくシステムとして、効果を発揮すると考えられる。現段階でも広く導入され始めている無線ネットワーク環境において、カメラを一部屋に数台設置するだけという簡便な設備で、環境を Sentient(知覚力のある) な状態にすることができ、誰がどこにいるかを一步単位の分解能で把握してしてくれる環境を実現できる。ALTAIR が設置された環境では、環境がユーザの日常の仕事や作業などの生活を見守っており、ユーザの意識しないところで常に「誰がどこにいるか」といった情報を管理し続けている。ユーザは ALTAIR が管理している情報を利用して、離れた場所の状況や目的の人がどこにいるかといったことを把握したり、過去の

第4章 プロトタイプシステムの構築および実験

行動の記録やそれを解析することによってメンバーの作業効率や領域内のスペースの利用効率などの情報を得ることができる。この状況は、「人とコンピュータの相互作用」や「コンピュータが人に意識されることなく利用される」といったユビキタスコンピューティングの目指している新しい情報環境を実現するものである。

ALTAIRの特色を生かしたアプリケーションは、様々な場所での実現できると考えられるが、例えば病院内での医師や看護師などの動きを把握するシステムとして特に有効であると考えられる。病院内では、大きな病棟であるほど、人や物の動きが活発であり、作業・業務の種類や形態が場所によってある程度決まっていると言える。例えば、看護師の業務は各患者の病床や詰所内の特定の位置など、場所によって業務内容を特定することができる場合が多い。したがって、医療スタッフとそのロケーションとを常に把握することができれば、業務の記録に等しい情報を得ることができる。病院管理の立場からは、医療資源の適切な配置を行うために、医師や看護師の業務状況や人員の過不足が無いかなどを評価する必要性が高まっているが、現状では評価員を同行させたり、本人の手作業によって作成された報告によって評価が行われている事が多い。そこで、ロケーションシステムによって取得された情報を用いて、業務に負担を増やすことなく客観的な記録を作成することで、これらの評価に用いることができると考えられる。また、取得した位置情報を記録するデータベースは、電子カルテや医療機器の入出力データなど、現状では機器ごと又は患者ごとに断片的に分散されているデータとも親和性があり、時間・場所・人の軸でデータ同士を結びつける中心的な役割を果たすことも期待される。例えば、各機器の入出力を各看護師の動線で結ぶことにより、業務や医療行為を見守るシステムとして利用可能であると考えられる。

第5章

結論

最後に，結論として本論文をまとめ，将来を展望する．

本論文では，最初に本研究の背景となるユビキタスコンピューティングおよびロケーションシステムについて述べ，ロケーションシステムを核とした応用例の先行研究として AT&T で研究が行われている Sentient Computing Project を紹介した．Sentient Computing Project では，ユーザの携帯するデバイスを高精度に位置同定可能であり，その位置情報を利用して領域内の状況のモデル化や，環境とのインタフェースを実現している．また，ロケーションシステムの先行研究について，位置同定に用いるデバイスの使用形態によって自律計測型，センサ埋め込み型，カメラ画像処理型に分類し，特徴や問題点を概観した．自律計測型は，環境にセンサを設置しなくて良いという反面，ユーザの携帯するデバイスが大きくなってしまうたり，センサの誤差が蓄積するといった特徴があった．センサ埋め込み型は，位置同定精度を向上させようとする，環境に埋め込むデバイス数が増える傾向にあった．カメラ画像処理型は，ユーザの個人識別を行うためにはユーザに特定の行動をさせる必要があった．

本研究では，ロケーションシステムはユーザの行動を制限しないように自動化されたシステムであること，できるだけ少ないセンサ数で比較的高精度な位置同定を実現することが重要であると考え，新しいロケーションシステムの提案を行った．まず，屋内におけるユーザの識別および位置同定の手法として，ユーザ端末に取り付けられた IR タグの発光を赤外広角カメラにより取得し，少ないセンサで安定した位置同定を行うと同時に，システムとユーザ端末の通信を利用してタグの発光を制御し，制御された発光パターンを用いて対応付けを行うことで自動的

に各ユーザを識別する手法を提案した．続いて，この手法を実現したロケーションシステムのプロトタイプとして，ALTAIR を構築し，実験によりその有効性を確認した．IR タグのプロトタイプは，赤外線 LED の発光をプログラム可能なインタフェースコントローラである PIC で制御することで実現し，無線機能を有した PDA と接続することでシステム側からの命令を無線ネットワークおよびシリアル通信を通じて命令を受けることができる．PDA を含めたユーザ側のシステム全体は衣服に収納可能な程度に小さなものが実現できた．赤外広角カメラは，通常のカラー CCD カメラと赤外線透過フィルタ，魚眼レンズを用いて実現可能であり，簡単な画像処理によって IR タグの発光を取得することができた．また赤外広角カメラによって取得された IR タグの発光は，高さを一定と仮定することで座標変換を用いて三次元位置を推定することができ，これを位置同定に用いることができた．

実験では，まず各領域においてユーザの識別および位置同定が自動的かつ比較的高精度に安定して行うことができることを確認した．次に，ユーザが居る領域が無線ネットワークのアクセスポイントに関する情報を利用して同定可能であり，ユーザの領域の移動を自動的に取得し，各領域におけるユーザの識別および位置同定がユーザの意図的な動作を必要とせずに行われることを確認した．さらに，各領域において取得されたユーザの位置情報をデータベースを用いて管理することで，基礎的な複数のアプリケーションに利用可能であることを示した．

ALTAIR は人の動きを時間的・空間的に把握することを可能にするシステムであり，このシステムを用いて実現可能なアプリケーションは多岐にわたる．例えば，現在の状況を観察する，過去の足跡を確認する，他のメディアとの連携した情報を提示するといった様々なアプリケーションが実現可能であると考えられ，ALTAIR は人の位置情報や動きを利用した今までに無いアプリケーション群の核になる可能性を秘めているといえる．

来るべきユビキタス社会において，本研究で取り上げたロケーションシステムが実用化され，これまでには考えられなかったような利便性をもったサービスが実現されることを期待して，本論の結びとする．

謝辞

本研究をすすめるにあたり，主指導教官である情報科学研究科 千原 國宏教授には，所属した像情報処理学講座の担当教授として，奨励研究員として従事した 21 世紀 COE プログラムにおいては拠点リーダーとして，研究内容に対する直接の御助言だけでなく，研究に対する姿勢，研究者としてのあり方まで，有益な御指導を頂きました．ここに心からの感謝の意を表します．

博士論文の執筆にあたりご指導頂きました情報科学研究科 横矢 直和教授，本研究を遂行するにあたり，様々な可能性をご指摘して戴き，研究や研究発表の場を与えてくださいました情報科学研究科 眞鍋 佳嗣助教授に深く感謝致します．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」の研究代表者として本研究の機会を与えてくださり，博士前期課程の副指導教官として数多くのご助言を戴きました情報科学研究科 木戸出 正繼教授に深く感謝致します．研究室での研究活動や発表の際に，数多くのご指導，ご指摘を戴いた前・先端科学技術調査センタ 大城 理助教授 (現 大阪大学教授) に深く感謝致します．本研究を始めるにあたっての方向付けや研究活動中における温かいご指導，的確なご指摘を頂き，研究に対する模範的姿勢を示してくださいました 情報科学研究科 安室 喜弘助手，井村 誠孝助手に厚く御礼申し上げます．

研究活動や研究者としての考え方など，数多くのご指導，ご指摘を戴いた金谷 一朗氏 (現 大阪大学助手)，21 世紀 COE 研究員 増田 泰氏，細やかな気くばりで研究活動をご支援頂いた村上 満佳子氏に深く感謝致します．学生生活において多大なるご協力を頂いた像情報処理学講座 川本 桂子秘書，21 世紀 COE プログラム推進室 足立 敏美氏，桑野 美紀氏に深く感謝致します．実験の補助など研究に関わるだけでなく，学生生活を共に過ごす上で支えとなってくれた像情報処理学講座の先輩，同期，後輩に感謝致します．最後に，私が学生生活を送る上で暖かく見守り続けてくれた家族や友人に感謝します．

参考文献

- [1] M. Weiser. The computer for the 21st century. *Scientific American*, Vol. 265, No. 3, pp. 66–75, Sept. 1991.
- [2] ナビピドットコム株式会社. GPS 携帯電話対応サービス ここっぴ.
http://www.navi-p.com/gpsasp/docomo_p/index.html.
- [3] AT&T Laboratories Cambridge. Sentient Computing Project Home Page.
<http://www.uk.research.att.com/spirit/>.
- [4] A. Harter, A. Hopper, P. Steggles, A. Ward, and P. Webster. The Anatomy of a Context-Aware Application. *COMPUTER*, Vol. 34, No. 8, pp. 50–56, Aug. 2001.
- [5] J. Borenstein, H. R. Everett, L. Feng, and D. Wehe. Mobile robot positioning: Sensors and techniques. *Journal of Robotic Systems*, Vol. 14, No. 4, pp. 231–249, Apr. 1997.
- [6] J. Borenstein and L. Feng. UMBmark: A Benchmark Test for Measuring Odometry Errors in Mobile Robots. in *1995 SPIE Conference on Mobile Robots*, pp. 22–26, Philadelphia, Oct. 1995.
- [7] B. Barshan and H. F. Darrant-Whyte. An inertial navigation system for a mobile robot. in *the 1993 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '93)*, pp. 2243–2248, Yokohama, Japan, July 1993.

参考文献

- [8] G. Gini and A. Marchi. Indoor Robot Navigation with Single Camera Vision. in *Pattern Recognition in Information Systems (PRIS)*, Spain, Apr. 2002.
- [9] L. Longega, S. Panzieri, F. Pascucci, and G. Ulivi. Indoor robot navigation using log-polar local maps. in *7th International IFAC Symposium on Robot Control (SYROCO '03)*, pp. 229–234, Wroclaw, Poland, Sept. 2003.
- [10] D. Murray and C. Jennings. Stereo vision based mapping and navigation for mobile robots. in *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1694–1699, Apr. 1997.
- [11] T. Edlinger and G. Weiß. Exploration, Navigation and Self-Localization in an Autonomous Mobile Robot. in *the IEEE/RSJ/GI International Conference on Intelligent Robots and Systems '94. Advanced Robotic Systems and the Real World (IROS '94)*, Sept. 1994.
- [12] A. Aboshosha, H. Tamimi, and A. Zell. Matching of 2D Laser Signatures based on Spatial and Spectral Analysis. in *Robotik 2004*, June 2004.
- [13] 小西勇介. 自律方式による歩行者用ポジショニングシステムの開発. 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 修士課程 卒業論文, Mar. 2001.
- [14] 小西勇介. 自律方式による歩行者用ポジショニングシステムの開発. <http://shiba.iis.u-tokyo.ac.jp/research/pdf/konishi.pdf>.
- [15] J. Rekimoto and K. Nagao. The World Through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments. in *ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'95)*, pp. 29–36, 1995.
- [16] イー・ソンウ, 間瀬健二. 装着型センサを用いた歩行者のための室内ナビゲーションシステム. 信学技報, PRMU 2000-149, pp. 17–24, Jan. 2001.
- [17] R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya. A positioning method combining specification of users absolute position and dead reckoning for wearable

- augmented reality system. in *3rd CREST/ISWC Workshop on Advanced Computing and Communicating Techniques for Wearable Information Playing*, pp. 19–22, Oct. 2004.
- [18] M. Maeda, T. Ogawa, K. Kiyokawa, and H. Takemura. Tracking of User Position and Orientation by Stereo Measurement of Infrared Markers and Orientation Sensing. in *8th International Symposium on Wearable Computers (ISWC2004)*, pp. 77–84, Nov. 2004.
- [19] G. D. Abowd, C. G. Atkeson, J. Hong, S. Long, R. Kooper, and M. Pinkerton. Cyberguide: A mobile context-aware tour guide. *ACM Wireless Networks*, Vol. 3, pp. 421–433, 1997.
- [20] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons. The Active Badge Location System. in *ACM Transactions on Information Systems*, pp. 91–102, 1992.
- [21] R. Want, B. Schilit, N. Adams, R. Gold, K. Petersen, D. Goldberg, J. Ellis, and M. Weiser. The parctab ubiquitous computing experiment. Technical report, CSL-95-1, Xerox Palo Alto Research Center, Mar. 1995.
- [22] P. Bahl and V. N. Padmanabhan. RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System. in *IEEE INFOCOM 2000*, pp. 775–784, Tel-Aviv, Israel, Mar. 2000.
- [23] 無線 LAN 位置検知システム「日立 AirLocation(TM)」.
<http://www.hitachi.co.jp/Prod/vims/solutions/ssup/airlocation/>.
- [24] M. Addlesee, R. Curwen, S. Hodges, J. Newman, P. Steggles, A. Ward, and A. Hopper. Implementing a Sentient Computing System. in *the 5th International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'99)*, pp. 59–68, Seattle, Washington, USA, Aug. 1999.
- [25] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan. The Cricket location-support system. in *the 6th Annual ACM/IEEE International Con-*

参考文献

- ference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2000)*, pp. 32–43, Boston, MA, USA, Aug. 2000.
- [26] M. Addlesee, A. Jones, F. Livesey, and F. Samaria. The ORL Active Floor. *IEEE Personal Communications*, Vol. 4, No. 5, pp. 48–57, 1997.
- [27] R. J. Orr and G. D. Abowd. The smart floor: A mechanism for natural user identification and tracking. in *2000 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2000)*, Hague, Netherlands, Apr. 2000.
- [28] 椎尾一郎. RFID を利用したユーザ位置検出システム. 情報処理学会研究報告, pp. 45–50, May 2000. 00-HI-88.
- [29] A. Harter and A. Hopper. A Distributed Location System for the Active Office. *IEEE Network*, Vol. 8, No. 1, Jan. 1994.
- [30] J. Krumm, S. Harris, B. Meyers, B. Brumitt, M. Hale, and S. Shafer. Multi-Camera Multi-Person Tracking for Easy Living. in *3rd IEEE International Workshop on Visual Surveillance*, pp. 3–10, Dublin, IRELAND, July 2000. IEEE Press.
- [31] B. Brumitt, B. Meyers, J. Krumm, A. Kern, and S. A. Shafer. EasyLiving: Technologies for Intelligent Environments. in *Second International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing, HUC 2000*, pp. 12–29, Bristol, UK, Sept. 2000.
- [32] T. Darrell, G. Gordon, M. Harville, and J. Woodfill. Integrated person tracking using stereo, color, and pattern detection. in *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 601–608, Santa Barbara, CA, June 1998.
- [33] 坂田宗之, 安室喜弘, 井村誠孝, 眞鍋佳嗣, 千原國宏. 広角カメラとアクティブ赤外線タグを用いた通信者定位手法. 第46回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, pp. 289–290, 神戸, May 2002.

- [34] 坂田宗之, 井村誠孝, 安室喜弘, 眞鍋佳嗣, 千原國宏. ネットワーク制御可能な IR タグを用いた複数ユーザの判別及び位置同定システム. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 102, No. 313, pp. 13–18, Sept. 2002.
- [35] M. Sakata, Y. Yasumuro, M. Imura, Y. Manabe, and K. Chihara. A Location Awareness System using Wide-angle Camera and Active IR-Tag. in *IAPR Workshop on Machine Vision Applications (MVA2002)*, pp. 522–525, Nara, Japan, Dec. 2002.
- [36] M. Sakata, Y. Yasumuro, M. Imura, Y. Manabe, and K. Chihara. AL-TAIR: Automatic Location Tracking System using Active IR-tag. in *IEEE Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems(MFI2003)*, pp. 299–304, Tokyo, Japan, Aug. 2003.
- [37] オムロン フィールドエンジニアリング株式会社. Face Key .
<http://www.omron-fe.co.jp/product/fid/fid.html>.
- [38] H. Kato, M. Billingham, I. Poupyrev, K. Imamoto, and K. Tachibana. Virtual Object Manipulation on a Table-Top AR Environment. in *ISAR 2000*, pp. 111–119, 2000.
- [39] D. L. de Ipiña. TRIP:A Distributed vision- based Sensor System. Technical report, Laboratory for Communication Engineering,Cambridge,Technical Repor, Sept. 1999.
- [40] D. L. de Ipiña, P. Mendonca, and A. Hopper. TRIP: a Low-Cost Vision-Based Location System for Ubiquitous Computing. *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 6, No. 3, pp. 206–219, 2002.
- [41] J. Rekimoto and Y. Ayatsuka. CyberCode: Designing Augmented Reality Environments with Visual Tag. in *Designing Augmented Reality Enviromnments (DARE 2000)*, pp. 1–10, Elsinore, Denmark, Apr. 2000.

参考文献

- [42] 青木 恒. カメラで読みと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: WISS2000, pp. 131–136. 日本ソフトウェア科学会, 近代科学社, 2000.
- [43] シャープ株式会社. Zaurus. <http://ezaurus.com/>.
- [44] 石井達夫. PC UNIX ユーザのための PostgreSQL 完全攻略ガイド. 技術評論社, 1999.
- [45] PostgreSQL Global Development Group . <http://www.postgresql.org/>.
- [46] 日本 PostgreSQL ユーザ会. <http://www.postgresql.jp/>.
- [47] Apache Project. Apache Software Foundation. <http://www.apache.org/>.
- [48] Apache JAPANIZED APACHE SERVER PROJECT. JAPAN APACHE USERS GROUP. <http://www.apache.org/>.

研究業績

論文

1. 坂田宗之, 安室喜弘, 井村誠孝, 眞鍋佳嗣, 大城理, 千原國宏: 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, 電気学会論文誌 E, センサ・マイクロマシン準部門, Vol.123, No.8, pp.279 – 284 [3,4,5 章]

国際発表

1. Muneyuki Sakata, Yoshihiro Yasumuro, Masataka Imura, Yoshitsugu Manabe, Kunihiro Chihara: A Location Awareness System using Wide-angle Camera and Active IR-Tag, IAPR Workshop on Machine Vision Applications (MVA2002), Dec. 2002, pp.522 – 525 Nara, Japan [3,4,5 章]
2. Muneyuki Sakata, Yoshihiro Yasumuro, Masataka Imura, Yoshitsugu Manabe, Kunihiro Chihara: Location System for Indoor Wearable PC Users, 2nd CREST Workshop on Advanced Computing and Communicating Techniques for Wearable Information Playing, pp.57 – 61, May. 2003, Nara, Japan [3,4,5 章]
3. Muneyuki Sakata, Yoshihiro Yasumuro, Masataka Imura, Yoshitsugu Manabe, Kunihiro Chihara: ALTAIR: Automatic Location Tracking System using Active IR-tag, IEEE Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI2003), pp.299 – 304, Aug. 2003, Tokyo, Japan [3,4,5 章]
4. Muneyuki Sakata, Hiroshi Sasaki, Masataka Imura, Yoshihiro Yasumuro,

- Yoshitsugu Manabe, Kunihiro Chihara: Active IR-tag User Location System for MR Collaborative Environment, 3rd CREST/ISWC Workshop on Advanced Computing and Communicating Techniques for Wearable Information Playing, pp.90 – 93, Oct. 2004, Arlington, VA, USA [3,4,5 章]
5. Yoshitsugu Manabe, Hiroshi Saruwatari, Muneyuki Sakata, Tomoya Takatani, Yoshihiro Yasumuro, Masataka Imura, Kiyohiro Shikano, Kunihiro Chihara: Wearable Computing for Virtualizing Real Space, 3rd CREST/ISWC Workshop on Advanced Computing and Communicating Techniques for Wearable Information Playing, pp.75 – 83, Oct. 2004, Arlington VA, USA
 6. Hiroshi Sasaki, Muneyuki Sakata, Masataka Imura, Yoshihiro Yasumuro, Yoshitsugu Manabe, Kunihiro Chihara: Hands-Free User Interface for Seamless Collaborative Works in Shared MR Space, 3rd CREST/ISWC Workshop on Advanced Computing and Communicating Techniques for Wearable Information Playing, pp.84 – 89, Oct. 2004, Arlington VA, USA

国内発表

1. 坂田宗之, 安室喜弘, 井村誠孝, 眞鍋佳嗣, 千原國宏: 広角カメラとアクティブ赤外線タグを用いた通信者定位手法, 第46回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, pp.289 – 290 May. 2002, 神戸 [3 章]
2. 坂田宗之, 井村誠孝, 安室喜弘, 眞鍋佳嗣, 千原國宏: ネットワーク制御可能なIRタグを用いた複数ユーザの判別及び位置同定システム, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.102, No.313, pp.13 – 18, Sep. 2002, 岐阜 [3,4,5 章]
3. 坂田宗之, 安室喜弘, 井村誠孝, 眞鍋佳嗣, 千原國宏: 優先度つきロールコールによるアクティブIRタグロケーションシステム, 47回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, Vol.47, 3032, pp.301 – 302, May. 2003, 京都 [3,4,5 章]
4. 眞鍋佳嗣, 南広一, 坂田宗之, 佐々木博史, 井村誠孝, 安室喜弘, 黒田知宏, 千原國宏: ウェアラブルコンピュータと没入型提示装置による空間共有, 計測

自動制御学会 S I 部門講演会講演概要集, p.249, Dec. 2003, 東京

5. 坂田宗之, 安室喜弘, 井村誠孝, 眞鍋佳嗣, 千原國宏: アクティブ IR タグロケーションシステムを用いたユーザ行動自動記録システム, 第 48 回 システム制御情報学会研究発表講演会 講演論文集, Vol.48, pp.9 – 10, May. 2004, 京都 [3,4,5 章]
6. 坂田宗之, 安室喜弘, 井村誠孝, 眞鍋佳嗣, 大城理, 千原國宏: IR タグを用いた看護業務のためのロケーションシステムの提案, BPES 2004 第 19 回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp.321 – 322, Nov. 2004, 大阪 [3,4,5 章]

シンポジウム

1. Kunihiro Chihara, Tomohiro Kuroda, Masataka Imura, Yoshiyuki Kojima, Muneyuki Sakata, Yu Ishikawa: Ubiquitous Visualization System of Energy Consumption, 第 3 回「エネルギーと環境」公開シンポジウム - 最終報告会 - ならびに「エネルギー利用の高効率化と環境影響低減化」に関する国際シンポジウム ポスターセッション概要集, T26, Jan. 2002, Osaka, Japan [3,4,5 章]
2. Muneyuki Sakata: ALTAIR: Automatic Location Tracking system using Active IR-tag, 2003 NAIST COE International Symposium -Ubiquitous Networked Media Computing-, pp.7 – 8, Oct. 2003, Nara, Japan [3,4,5 章]

特許

1. 井村誠孝, 千原國宏, 安室喜弘, 坂田宗之: 対象物定位システム 特願 2002-137633, 特開 2003-329762