

都市情報センシングシステムの提案

金井 圭介[†] , 大野 貴弘^{††} , 石塚 宏紀^{††} , 伊藤 花乃子[†] 澤 義和^{††}
三尋木 織^{††} 戸辺 義人^{††}

[†] 東京電機大学工学部情報メディア学科 ^{††} 東京電機大学大学院工学研究科

[‡] 独立行政法人科学技術振興機構 CREST

生活を支援するという点で一番身近であることからオフィス、ホームがユビキタスコンピューティングの対象として取り上げられることが多かった。今後は、生活空間の延長である都市全体をすっぽりと包んで、屋内と屋外とがシームレスにユビキタスコンピューティングで自由に行き来できる世界を構築したいと我々は考える。それに伴い、コンピュータで処理できる情報を取得する過程で必要とされるセンシングも、都市全体をカバーする領域へと拡大する。我々はこれをアーバンセンシングと呼ぶ。本稿では、アーバンセンシングの第一歩となる取組みについて述べる。

Proposal of an Urban Information Sensing System

Keisuke KANAI[†] Takahiro ONO^{††} Hiroki ISHIZUKA^{††} Kanoko ITO[†] Yoshikazu SAWA^{††}
Oru MIHIROGI^{††} Yoshito TOBE^{††}

[†] Department of Information Systems and Multimedia Design, Tokyo Denki University

^{††} Department of Information and Media Engineering, Tokyo Denki University

[‡] CREST, Japan Science and Technology Agency

Offices and homes have been a main target for ubiquitous computing because these are the closest to our daily lives. We hope to construct a world of ubiquitous computing in the city in such a way that we can move back and forth between indoor and outdoor seamlessly. To achieve that goal, we need to extend sensing to the whole area of a city, which is referred to as urban sensing. In this paper we describe the first step towards urban sensing.

1 はじめに

現在、都市部への人口集中は加速し、都市生活者に対して安全・安心、アメニティを提供することが望まれている。我々は、実時間で実世界都市情報を取得するアーバンセンシングを提案する。これまで、生活を支援するという点で一番身近であることからオフィス、ホームがユビキタスコンピューティングの対象として取り上げられることが多かった。今後は、生活空間の延長である都市全体をすっぽりと包んで、屋内と屋外とがシームレスにユビキタスコンピューティングで自由に行き来できる世界を構築したいと我々は考える。それに伴い、コンピュータで処理できる情報を取得する過程で必要とされるセンシングも、自然現象、人工建築物、社会現象を対象とし、都市全体をカバーする領域

へと拡大する。

こうした狙いのもと、我々はアーバンセンシングとして、UScan, RScan, RRI を実施している。UScan は快適歩行ナビゲーション等の基礎データとなる細粒度気象情報を取得し、RScan は人の動きを抽出し、街中の混雑度を見ることを狙う。RRI は都市実世界情報の入出力デバイスである。本稿では、これらのシステムの構成、実験結果を述べる。

本論文の構成は以下の通りである。2章でUScan, 3章でRScanのシステム構成と行った実験について述べる。4章では、ジャイロセンサを用いた実世界検索インタフェースRRIの説明をする。5章で関連研究を述べ、6章で本稿のまとめを行う。

2 UScan: 細粒度温度センシングシステム

都市環境には、高層ビルや街路樹など環境に影響を及ぼす様々な因子が存在する。これらの因子と都市で起きている現象の関係を明らかにし、都市で生活する人々に快適な暮らしを提供するためには、高い空間解像度で実世界情報を抽出する必要がある。我々は、細粒度無線センサネットワーク UScan(Urban Scanning)¹⁾ を構築し、UScan を用いて気象情報を抽出し分析を行った。本章では、UScan システムおよび東京都神田地区で行った実験について述べる。

2.1 システム構成

図 1 は、UScan のシステム構成を示す。小型無線デバイス uParts は、気温を測定し、受信機(WBridge)へ 30 秒毎に送信する。WBridge に対して、ファーム OS として OpenWRT を載せ、無線センサ受信モジュールとサーバ送信モジュールを実装した。無線センサ受信モジュールは、uParts から 315MHz 帯の特殊無線を利用してセンサデータを受信し、UDP(User Datagram Protocol)でサーバ送信モジュールへデータを転送する。サーバ送信モジュールは、データを受信し、インターネット上にある UScan サーバにデータを送信する。UScan サーバは、Web サーバ上にデータをグラフ化可能な可視化モジュールを動かすことが可能である。

2.2 実験

2.2.1 センサノードの設置

本実験において、我々は図 2 に示す 8 つの観測点を設けた。これらの観測点は、それぞれ環境に密接する特徴的な因子を抱えている。例として、観測地点 G と A は歩道に面している。しかし、この 2 つの観測点には、日光を遮る高層ビルや木の位置といった観点で環境が異なる。観測点の方角も気温に大きな影響を及ぼすため、我々は、東西南北すべてに観測点を設けた。このように、都市環境では、環境に影響を与える様々な因子が相互に関連している。実際に、センサを設置するに当たり、すべてのビルはその大きさ、高さ、壁や植木の位置や数など多くの違いがある。そのため、我々は正確な実験を行うために、センサの設置位置を細かく調整する必要がある。また、直射日光は気温センサに悪影響を与え、正確な測定ができなく

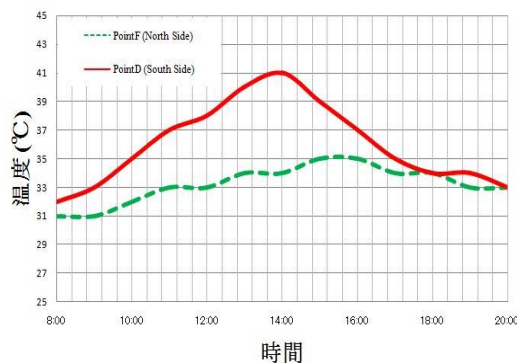


図 3 大通りと路地による違い

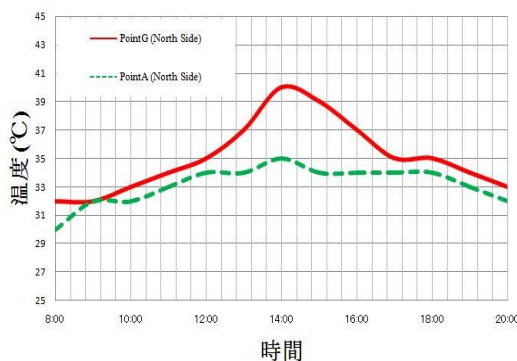


図 4 街路樹の有無による違い

なるため、すべての観測点に対して、センサは日陰に設置しなければならなかった。我々は、本実験を行うにあたり同様の問題を各観測点で検討し、約 200 個の無線センサノードを設置した。

2.2.2 実験結果

図 3 と図 4 に 2007 年 8 月 21 日の気温の時間変化を示す。本図において、各観測点による明確な温度の違いが現れていることがわかる。図 3 の観測点 F と D において、これらの観測点は 50m しか離れていないにもかかわらず、最大温度差は 6 に到達した。また、図 4 は道路沿いの並木の影響を示している。観測点 A の北側には多くの木々があるが、観測点 G の北側には街路樹が存在しない。この差異が 5 の温度差としてグラフに表れている。これらの結果は、細粒度センサネットワークの必要性を証明している。また、狭いエリア内での気温の違いは、都市特有の環境に影響を与える

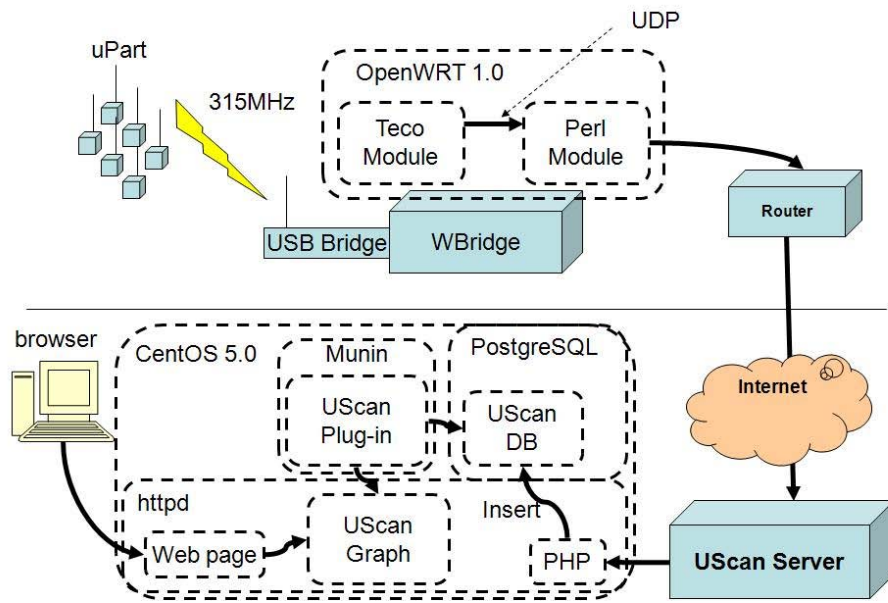


図 1 UScan システムアーキテクチャ

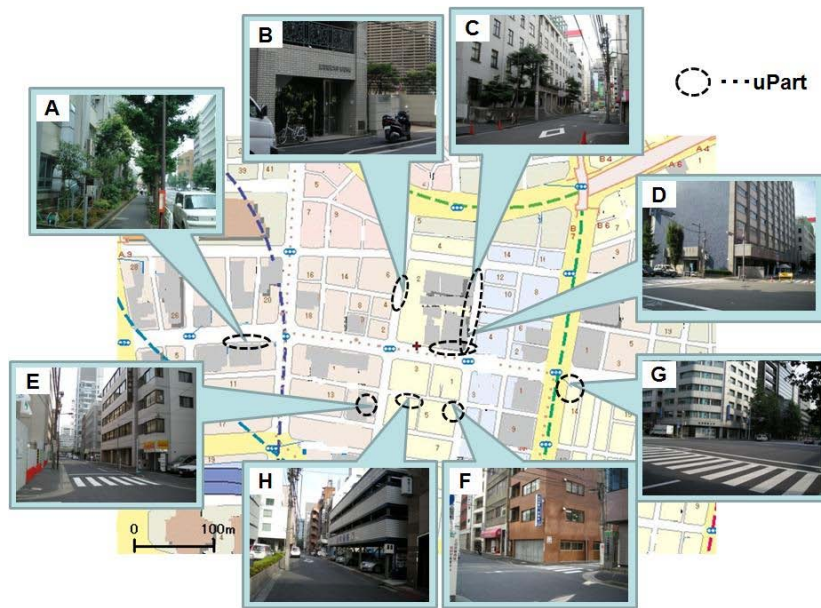


図 2 センサ設置エリア概略

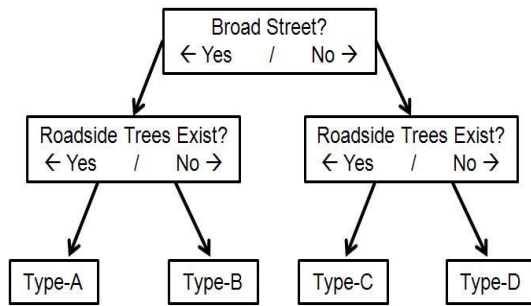


図 5 環境に影響を与える因子の分類

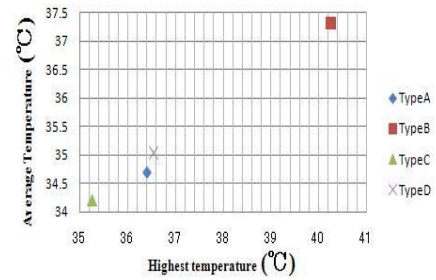


図 6 分類型の相関関係

因子によって引き起こされる。

2.3 分類

2.3.1 分類

1 個のセンサノードを設置するにしても、電源供給、維持管理等実際の問題が多く生じるし、コストも要する。そのため、細粒度と言っても一様にセンサノードを設置するのではなく、観測に意義の高い場所を絞り込むことが必要となる。限られた観測点数の条件下で絞り込みを行うために、環境因子を分類する。図 5 に因子により分類を行う単純な分類木を示す。この分類木は、2 つの因子から構成される。全観測点は、この分類木により 4 つの型に分類される。

- B 型
この型に分離される観測点は観測点 D の南側や観測点 G の北側で、他の型よりも高い温度を観測する地域を示す。
- A 型と D 型
A 型と D 型は、大通りに面していることや街路樹があることなど、温度上昇の 1 つの要因を持ち合わせている。それぞれの観測点で環境は異なるが、温度変化のグラフに類似性が見られる。
- C 型
C 型に分類される観測点は、観測点 C の東側で、全観測点の中でも最も涼しい地域である。

2.3.2 評価

我々は、実際のデータに基づいて分類評価を行った。最初の試行として我々は、全観測点の 10 時-16 時の間の平均温度と最大温度を抽出し、2 次元グラ

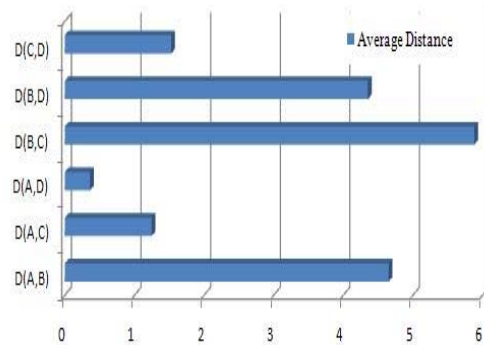


図 7 分類型間の平均距離

フを生成した。図 6 は 2007 年 8 月 21 日の状態をグラフ化したものである。この図 6 より、B 型は他の方とははっきりとした違いが見られる。この違いを明確にするために、我々は、グラフ内での距離を式 1 により計算し、その結果を図 7 に示す。図 7 のグラフから、A 型と他の型、D 型と他の型との区別は容易であるが、B 型と他の型、C 型と他の型を区別することは難しい。

$$(a, b) = ((x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{式 1})$$

次に、我々は、2007 年 8 月 21 日-27 日の一週間の観測データに対して同様に距離を求め、その結果を図 8 に示す。各日毎の天候と比較し、我々は、曇りや雨の日ほどこの距離が小さくなる傾向にあることが明らかになった。

我々は、細粒度センサネットワークを用いて実験を行い、その実験結果より、環境からの影響で気温に大きな違いが出ることが読み取れる。

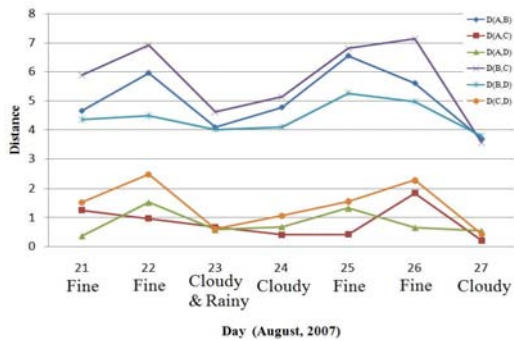


図 8 2007年8月21日～27日の分類型間距離

3 RScan: 人流センシングシステム

都市に潜む情報は環境情報ばかりではなく、時々刻々と変化する人の流れも都市特有の情報といえる。人の流れは、マーケティングやナビゲーション、イベントの検知などに非常に有用な情報となりうる。レーザスキャナを用いて都市における人流を検出するシステム RScan を構築する。

我々は、RScan のプロトタイプとして、人の流れの緩急および停止に関する情報を計測するシステムを動作させる。

3.1 システム構成

3.1.1 レーザスキャナ

本研究では、人の流れを抽出する際、レーザスキャナを用いる。人の流れを計測する手法としてビデオカメラを用いる手法²⁾の研究がされてきたが、この手法は視野角が狭いといった問題や照明による問題などが存在する、こうした問題を解決する手法としてレーザスキャナを用いる手法³⁾が研究されている。レーザスキャナは、レーザ光パルスの伝播時間により距離の計測を行うセンサで、広範囲、高精度、実時間での計測を行うことが可能である。

3.1.2 レーザスキャナの設置

本研究では、路上や交差点といった屋外にレーザスキャナを設置することを想定している。設置位置は、交差点の全容が取得可能か広範囲の測定が可能な場所で、人の上半身の高さを測定できる場所とする。現在の仕様では、1台のレーザスキャナから得た情報で人の特定を行っているため、下半身では判別が困難である。

```

procedure Human-Detection Algorithm
  var
    BGData:array[dataNum]; //背景情報
    DisData:array[dataNum]; //現在取得している距離情報
    DifData:array[dataNum]; //BGDataとDisDataの差異
    BeginEdge; //人判定の開始端
    EndEdge; //人判定の終了端
    object; //物体 Human or other
  for i:=0 to dataNum-1
    do DifData[i]:=BGData[i] - DisData[i];
  repeat
    if DisData[i-1] - DisData[i] > threshold for Edge
      and BeginEdge == null then BeginEdge = i;
    else if DisData[i] - DisData[i-1] > threshold for Edge
      then EndEdge = i;
    else if BeginEdge != null and DifData[i] < threshold for
      Human then BeginEdge = null;
    else if EndEdge != null and threshold for HumanMin <
      EndEdge - BeginEdge and EndEdge - BeginEdge <
      threshold for HumanMax then object = Human;
    i=i+1;
  until i equals to dataNum-1
end procedure

```

図 9 人判定アルゴリズム

```

procedure Stop-detection Algorithm
  var
    state; //状態 Stop or Move
    Cycle; //停止判定の周期
    humanpostion:array[Cycle];
    //1周期の停止判定を行う人の座標
  repeat
    if humanpostion[i] - humanpostion[i-1] > threshold for
      Stop then state = Move;
    i=i+1
  until i equals to Cycle-1
  if state == Move then Move;
  else if state == Stop then Stop;
end procedure

```

図 10 停止判定アルゴリズム

3.2 提案手法

この章では、提案した人判定手法と停止判定手法について述べる。

3.2.1 人判定手法

ここでは、レーザスキャナにより取得した情報が人であると判定する手法について述べる。この手法は一定時間計測を行い生成した背景情報と現在取得している情報との差分を取り、判定アルゴリズムに基づいて人判定を行う。図 9 にアルゴリズムの擬似コードを示す。

3.2.2 停止判定手法

人の動作における特徴の 1 つとして停止を判定する手法を定める。この手法では、1周期物体の遷

移を計測し、その距離が閾値以内である場合に停止と判定する。図 10 にアルゴリズムの擬似コードを示す。

3.3 実験

RScan のプロトタイプ実験として、屋内において人判定手法と停止判定手法の評価実験を行った。

3.3.1 実験環境

レーザスキャナとして SICK 社製の LMS200 を用いる。レーザスキャナの高さは一般人の平均身長を考え、約 140cm の高さに設置し、スキャン面が地面と平行になるようにする。測定場所は起伏のない壁に対して垂直にレーザスキャナを向け、人が測定範囲内を壁に対して水平に通り抜ける。人が測定範囲に入ってから抜けるまでの軌跡を見るため、測定範囲に関しては、レーザスキャナの正面を中心に左右に 60°(全部で 120°) の測定を行っている。

3.3.2 実験内容

屋内における人判定手法と停止判定手法のプロトタイプ実験として以下の 3 つの実験を行った。

- ・実験 1. 一人による人判定手法の精度の評価
- ・実験 2. 一人による停止判定手法の精度の評価
- ・実験 3. 複数の人による人判定手法の精度の評価

実験 1 では測定範囲を 6 パターンの通り方を測定する。そのパターンはレーザスキャナからの距離が近、中、遠の 3 パターンを右から左と左から右の 2 パターンで通り抜ける。そして、測定範囲に入ってから抜けるまで人判定が正しく動作するかを測定する。実験 2 も実験 1 と同様に 6 パターンの通り方を測定する。実験 2 では歩行途中で所定の場所で 4 秒間停止し、3 秒以上停止判定が行われるかの測定を行う。実験 3 は複数人が同時に測定範囲に存在する時、人判定が正しく動作するかを測定を行う。実験 3 では、複数の人が重ならずに判定、複数の人が重なって判定、複数の人が交差する際の判定について測定する。

3.3.3 実験結果と評価

実験 1 の結果を表 1 に示した。結果に多く見られた例外として中心付近のみ人判定が行われるという項目を追加した。実験の結果、レーザスキャナから近い距離では高い精度で人の判定を行うことができた。しかし、距離が遠い場合は精度が極めて低くなった。これは、距離が遠くなるほど背

表 1 人判定アルゴリズムの精度

	右から左			左から右		
	近	中	遠	近	中	遠
成功	95%	85%	40%	80%	75%	25%
失敗	0%	10%	10%	0%	15%	5%
中心付近のみ	5%	5%	50%	20%	10%	70%

表 2 停止判定アルゴリズムの精度

	右から左	左から右
成功	28%	33%
失敗	17%	0%
停止時間が短い	55%	67%

景情報と現在の取得情報との差が小さくなり、閾値を超えないケースがあったと考えられる。これは、中心付近のみ判定されたことにも関係していると考えられる。距離が遠い場合、体が壁と接しているようになり、測定範囲の両端では、レーザが斜めに当たるため、開始端を見つけにくくなると考えられる。

次に実験 2 の結果を表 2 に示した。この結果において停止判定の精度は高いとはいえない。問題として、停止をしているのに、途中で停止の判定が外れるというものがほとんどであった。その原因として閾値の設定が小さかったということと、開始端のブレを考慮にいれていなかったためであると考えられる。

実験 3 は重ならずに判定を行った場合は人数が増えても問題なく判定を行うことができたが、重なっている場合は人数が正しく判定されず 1 人として判定されてしまう。今後、重なり検出のアルゴリズムを精緻化していく。

4 RRI: 実世界検索インタフェース

UScan や RScan でリアルタイムにセンシングされた都市情報を利用するユーザは、実世界で直観的に情報を検索可能なユーザインタフェースを用いる必要がある。本章は、都市情報センシングシステムに適した実世界検索インタフェースを提案する。また、実装したプロトタイプとその使用事例を紹介する。

4.1 入力デバイス

人間の行動において「指差し」を関心の所在を主張する潜在的な動作であると定義する。断続的にセンシングされた都市情報を利用するユーザは、入力情報として「指差し」行動を用いることで実世界情報を直観的に検索することが可能となる。「指差し」を入力インタフェースとした場合、システムに対して与える入力情報は、ユーザの位置 $U_p(x, y)$ とユーザが指し示す方角を U_θ とする。 U_p は、ユーザの位置情報であるため、GPS (Global Positioning System) センサによって取得可能である。一方、 U_θ は、ジャイロセンサのヨーイング角の値を取得し、解析することで取得可能となる。ここで、GPS センサとジャイロセンサによって、ユーザがセンサ情報を要求する方角を指し示すことができる入力デバイスを O-Wand と呼ぶ。

4.2 出力方法と表示デバイス

UScan や RScan において、センサノードは、都市の地理位置条件に基づいて設置されている。そのため、観測されたセンシングデータは、道路沿いや、交差点単位など、地理オブジェクトと大きな関わりがある。また、ユーザが、O-Wand を用いて検索した結果も、ユーザの位置と指示方角といったように地理環境に大きく依存する。そのため、ユーザが O-Wand を用いて得た検索結果は、地図上に Mapping することによって、より有意義な情報となる。

さらに、ユーザは、O-Wand を保持しながら実世界のセンサ情報を閲覧するため、表示デバイスは、軽量の携帯端末である必要があり、画面を見ながらの移動は困難となるため、HMD(Head Mount Display) のような手ぶらで閲覧できる装置が必要となる。

4.3 実世界検索インタフェースのプロトタイプ

我々は、実世界ユーザインタフェースを構成する入力デバイスと表示デバイスを実装し地図上にセンサ情報を Mapping するシステムを実装した。本プロトタイプは、各種入力デバイスからのデータ収集やセンサ情報を Mapping する地図描画エンジンとして小型 LaptopPC を用い、表示デバイスとしてヘッドマウントディスプレイ (HMD) を利用する。図 11 に各種デバイス装着時の様子を示し、表 3 に実装に使用したデバイス一覧を示す。



図 11 各種デバイス装着時の様子

表 3 実装に使用したデバイス一覧

デバイス名	製品名	メーカー
3 軸ジャイロセンサ	Inertia Cube 3	InterSense
GPS センサ	CFGPS	I-O DATA
HMD	SV-6 PC Viewer	MicroOptical
データ通信端末	"DD" /WS002IN	WILLCOM
小型 LaptopPC	ThinkPad X40	IBM

本プロトタイプは、あらかじめ描画しておいた地図を利用し、センサ情報の Mapping は Web アプリケーションとして実装した。ブラウザに表示された地図は、GPS センサから取得した自身の現在位置を中心として描画され、3 軸ジャイロセンサから得られる水平方向成分を利用して、センサ情報に表示する領域が計算される。モバイル環境におけるアプリケーションサーバとのデータ通信には、携帯電話網を利用したインターネット接続環境を用いた。次に、実世界インタフェースの使用事例として、本プロトタイプを用いた実世界ナビゲーションシステムを示す。

4.3.1 実世界検索インタフェースの使用事例

実世界ナビゲーションシステムは、センサ情報として静的な地域情報を地図上に Mapping し、意図的に地域情報を隠蔽することで自由散策を促すシステムである。図 12 に示すようにユーザは O-Wand



図 12 各種デバイス装着時の様子

を持って街を移動し，O-Wand を向けた方角の地域情報を閲覧できるシステムとなっている．実世界検索インタフェースを用いることで，実世界を移動しながら随時，興味のある方向を O-Wand で指示し，街中の散策を支援することができた．

5 関連研究

ロボットシティ⁴⁾ は，実験室の中のロボットを都市へ持ち出し，ロボティクス機能を都市で展開する試みである．大阪 RoboCity CoRE 等の例があり，ロボットにより実現できることをボトムアップで生み出して行くアプローチで，警備，見守り，掃除支援等が考えられている．SICE City⁵⁾ は，計測自動制御学会の取り組みで，計測・制御の技術から見て，理想とする空間，町，都市を創造する試みである．SICE City では，都市を分散自律系として捉えて，多くのセンサを設置することも狙う．振動センサを用いて同相振動により極めて小規模レベルで地震を検出し，電気・ガス等のライフラインを緊急停止したり，画像入力装置としてのカメラネットワークを用いて，自動車の流れの誘導等が考えられている．

センシングとして，より直接関連するのは，CitySense⁶⁾ である．CitySense では，ハーバード大学周辺のケンブリッジ市で無線メッシュネットワークを構築し，メッシュ状に気象情報を取得するものであるが，センシングよりもネットワークルーティングに主眼点を置いている．最後に，街中で，人の移動を積極的に活用するセンシングもある．BikeNet⁷⁾ は，GPS， CO_2 センサ他諸センサを取りつけた複数の自転車が市内を走り回ることによる CO_2 濃度の分布図を作成する．これは人をセンサとする例である．

6 むすび

本稿では，我々が進める UScan，RScan，RRI を中心にアーバンセンシングの取組みを紹介した．現在，サブシステムのプロトタイプにより可能性を確認している段階である．今後は，相互のサブシステムの連携を取り，統合システムとして完成させて行く予定である．

謝辞 UScan 実施に当たり，慶應義塾大学徳田研究室 Airy Notes⁸⁾ グループにご指導いただきました．ここに感謝いたします．

参考文献

- 1) Ono, T., Ishizuka, H., Ito K., Ishida, Y., Miyazaki, S., Mihirogi, O. and Tobe, Y.: UScan: Towards Fine-Grained Urban Sensing, International Workshop on Real Field Identification(RFId2007),(2007).
- 2) Curio, C., Edelbrunner, J., Kalinke, T., Tzomakeas, C., and von Seelen, W.: Walking pedestrian recognition, IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems, vol.1, no.3, pp.155-163,(2000).
- 3) Zhao, H., and Shibasaki, R.: Pedestrian Tracking using Multiple Laser Range Scanners, Proceedings of Computers on Urban Planning and Urban Management, (2003).
- 4) ロボットシティ[特集], 日本ロボット学会誌, Vol.22, No.7, (2004).
- 5) 池田雅夫: 計測・制御による都市創造, 計測と制御, 第 45 巻, 第 1 号, p.1, (2006).
- 6) Murty, R., Gosain, A., Tierney, M., Brody, A., Fahad, A., Bers, J. and Welsh, M.: CitySense: A Vision for an Urban-Scale Wireless Networking Testbed, Harvard University Technical Report TR-13-07, Sep., (2007).
- 7) Eisenman, S.B., Miluzzo, E., Lane, N.D., Peterson, R.A., Ahn, G-S. and Campbell, A.T.: The BikeNet Mobile Sensing System for Cyclist Experience Mapping, ACM SenSys 2007, pp.87-102, (2007).
- 8) Ito, M., Katagiri, Y., Ishikawa M. and Tokuda, H.: Airy Notes: An Experiment of Microclimate Monitoring in Shinjuku Gyoen Garden, Fourth International Conference on Networked Sensing Systems(INSS 2007), Braunschweig, Germany, June, (2007).