

ひとつつながるなび - 位置と気持ちと空間の共有 -

上嶋 祐紀^{1,a)} 藤田 和久^{1,b)} 樋口 雄大^{1,c)} 廣森 聡仁^{1,d)} 山口 弘純^{1,e)} 東野 輝夫^{1,f)}
下條 真司^{2,g)}

概要：

本研究では、大規模な商業ビル内の店舗やレストラン群、東京ビッグサイトのような大型のイベント会場におけるブース群といった、ある共有空間における人々の存在・行動情報、ならびにそれらの人々の気持ちや考え、感覚などを統合的に共有するための共有空間ナビゲーションプラットフォーム「ひとつなび」の設計開発を行う。ひとつなびでは、(i) リアルタイムな人々の存在状況（ひと）、および、(ii) そこに存在する物体（オブジェクト）やリアルタイムに発生する事象（イベント）、あるいは周辺環境に対する人々の考えや気持ち（きもち）を取得し、スマートフォンやタブレットにわかりやすく提示することを目指す。グランフロント大阪で産学の最先端技術を展示するイベントスペース「The Lab みんなで世界一研究所」において本システムを展示し、多数の一般来場者に「ひとつなび」のコンセプトを伝え、本システムの有用性やエンターテインメント性、また将来的な応用可能性に関するフィードバックを得るとともに、人々の位置検出技術に関する性能評価実験を実施した結果を報告する。

Connecting People in Shared Space

YUKI UEJIMA^{1,a)} KAZUHISA FUJITA^{1,b)} TAKAMASA HIGUCHI^{1,c)} AKIHITO HIROMORI^{1,d)}
HIROZUMI YAMAGUCHI^{1,e)} TERUO HIGASHINO^{1,f)} SHINJI SHIMOJO^{2,g)}

1. はじめに

SNSの爆発的普及などにより、人々が写真や動画などのメディアコンテンツ、GPS情報や訪れた店舗などの位置行動情報、趣味や興味などの嗜好情報など、多様な個人情報や環境情報をサイバー空間で共有し、活用しながら社会生活を送ることが自然となってきた。例えば友人が訪れた隠れた名店レストランや居酒屋を写真やコメントとともにTwitterやFacebookなどで生の声で伝えることで、人々は主観と客観に基づく貴重なデータを自身の位置に関

わらず知ることができる。また、TwitterやUstreamによるショートメッセージや映像中継のように、高いリアルタイム性で遠隔地の情報を知ることにも容易に実現可能なサービスやプラットフォームが実現しつつある。

その一方で、大規模な商業ビル内の店舗やレストラン群、東京ビッグサイトのような大型のイベント会場におけるブース群といった、ある共有空間に存在するスペースのリアルタイムな人気状況や混雑状況、それらに対する人々の評価や感想などを知りたい場合がある。自身と同空間に存在する他の人々がどのような行動をとり、何を考えているかをその場で即時に把握することで、自身の行動をより効率的かつ充実したものにすることが可能である。例えば多くの人々が集まっており、その中の一部の人々が感嘆しているブースは、そのブース自体が非常に興味を引くものであったり、その時間に特別な事象が発生した（その時にユニークな説明員がいた、あるいは展示していたロボットの実演が始まった）可能性もある。その情報を入手した人々は、自身の存在場所や他のブースの状況を総合的に判

¹ 大阪大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science & Technology,
Osaka University

² 大阪大学サイバーメディアセンター
Cybermedia Centre, Osaka University

a) y-uejima@ist.osaka-u.ac.jp

b) k-fujita@ist.osaka-u.ac.jp

c) t-higuti@ist.osaka-u.ac.jp

d) hiromori@ist.osaka-u.ac.jp

e) h-yamagu@ist.osaka-u.ac.jp

f) higashino@ist.osaka-u.ac.jp

g) shimojo@cmc.osaka-u.ac.jp

断し、その場所を訪れるべきかなどを判断できるなど、行動決定のための重要な情報を得ることができるため、そのような人々の位置や気持ちの情報のリアルタイム共有は同じ場所に人々にとって高い価値を有する。また、商業施設のみならず、公共性の高いスペース、例えば公共交通機関である電車駅のプラットフォームや電車客室内などにおいてもそのような情報は極めて重要である。車両や駅プラットフォームなどでの混雑の程度を詳細に把握することで、例えば身体的障害を抱える乗客、また大きな荷物やベビーカーを運んだり幼児や児童を同伴し移動に負担が伴う乗客らに、より空いている路線、車両、駅出口を案内するといったように、負担が少なくより安全な移動方法を提示できる可能性もある。

一般に、渋滞情報を取得する VICS 等の路側機や車両プローブ情報などが利用可能な車両ナビゲーションとは異なり、歩行者のナビゲーションには他の歩行者の存在情報は反映されていない。これは、スマートフォンのような小型携帯端末に搭載された加速度センサや電子コンパスなどのセンサから端末の移動軌跡（位置トレース）を高精度に推定する Pedestrian Dead Reckoning (PDR) 技術 [1], [2], [3] や人々の行動を推測したりする行動把握 (Activity Recognition) 技術など、端末による個人のセンシング技術は発達しつつあるものの、イベントスペースなど比較的広範囲の屋内空間全体における人々の存在情報（混雑状況）をセンシングする技術やデバイスが現状では十分に活用されていないことがあげられる。また、共有空間における気持ちの共有としては、ジョルダンライブ! のように、ユーザ参加型で列車の運行状況や混雑状況を共有するサービスも現れており、「座れる」「つり革に掴まれる」といった車内状況がリアルタイムで把握できる環境も整いつつある。しかし、これはあくまでユーザによる状況レポートを伝達するためのプラットフォームであり、前述の人の存在・混雑センシングを活用し、人々の位置行動情報、ならびに気持ち情報を統合的に伝えるプラットフォームではない。

本研究では、共有空間における人々の存在・行動情報、ならびにそれらの人々の気持ちや考え、感覚などを統合的に共有するための共有空間ナビゲーションプラットフォーム「ひとなび」の設計開発を行う。ひとなびでは、(i) リアルタイムな人々の存在状況（ひと）、および、(ii) そこに存在する物体（オブジェクト）やリアルタイムに発生する事象（イベント）、あるいは周辺環境に対する人々の考えや気持ち（きもち）を取得し、スマートフォンやタブレットにわかりやすく提示する。人々の位置センシングには、レーザ測域スキャナ (Laser Range Scanner) を活用する。我々が利用している市販品のレーザ測域スキャナは、30m, 270度にわたり、存在する物体までの正確な距離を赤外線レーザの反射を捉えて測定することができる。これを複数台用

いることで、比較的広範囲の人々の存在を高精度に把握し、人々の位置やその軌跡として可視化する。また、スマートフォンやタブレットと簡易な WiFi 位置測定技術を用い、それらの人々の中でスマートフォンユーザのおおよその位置を特定する。これらの情報を共有空間地図上に統合して可視化することで、スマートフォンユーザが専用 GUI から入力したショートメッセージ（例えば Twitter におけるつぶやき）を人々の混雑状況にオーバーレイして表示でき、おおよそのあたりの人々が何を考えて行動しているかが容易に把握できる。

2013 年 4 月 26 日に新規開業（まちびらき）し、開業後 3 日間で 100 万人が訪れた大規模商業施設グランフロント大阪で、産学の最先端技術を展示するイベントスペース「The Lab みんなで世界一研究所」において、一般社団法人ナレッジキャピタルと大阪大学が共同して、まちびらき当日より本システムを継続展示中である（2013 年 5 月 15 日現在）。多数の一般来場者に「ひとなび」のコンセプトを説明し、本システムの有用性やエンターテインメント性、また将来的な応用可能性を伝えるとともに、性能評価実験を実施し、そのトラッキング性能を評価している。

2. 関連研究

人の存在を把握する技術として、位置検出技術が挙げられ、屋外の位置検出においては GPS が利用されているが、GPS が利用できない屋内や地下における位置推定手法も盛んに研究されており [4], [5], [6], Wi-Fi の電波強度を利用した手法、加速度センサや角速度センサを利用した Dead Reckoning, カメラなどの設置型センサを利用した手法など多くの手法が提案されている。Wi-Fi の電波強度を利用した位置推定手法は、アクセスポイントの距離と密度により推定精度が大きく変化し、環境の良い時で 10 メートルから 20 メートル、悪い時には 40 メートル程度の誤差が生じることが知られている [7]。Dead-Reckoning は、加速度センサや角速度センサで取得されたデータに基づき、センサを保持する人の移動形態（徒歩、自転車、自動車）や、位置を逐次的に予測する技術であるが、身長や歩幅などの個人差から推定精度が大きく変化する [13], [14], [15], [16]。また、これらの手法は、Wi-Fi に対応した機器やセンサを搭載した機器を保持している人のみを対象とした位置推定手法であり、特定の人々の位置を把握することはできるが、ある場所における人々の存在を把握する用途には不向きである。一方、設置型センサを利用した手法として、カメラを用いた位置推定手法が提案されており、歩行者の頭部や全身を撮影し、画像処理技術を応用することで、撮影範囲に滞在する人々の位置を把握することができる。既存の監視カメラを利用することが可能で、推定精度も比較的高いが、歩行者のプライバシー保護の観点からカメラ撮影が困難である場所も少なくない。同様に、設置型センサを利用し

た手法としてレーザ測域スキャナを用いる位置推定手法が提案されている。レーザ測域スキャナは赤外線レーザにより、照射された箇所までの位置を正確に把握することが可能で、文献 [20], [21] では、赤外線レーザを人の腰の高さで照射し、各時刻に計測される距離データの差分から人の移動軌跡を得る手法が提案されている。レーザ測域スキャナで計測されるデータは小さく、キャリブレーションも容易であるというメリットを持つが、見通し線上にない物体を検出することができず、障害物や別の人の陰に隠れてしまう人を捕捉することはできない。障害物による検出率低下を防ぐために、人の足首の高さにレーザ測域スキャナを設置し、人の歩幅を検出することで移動軌跡を抽出する手法も提案されている [22], [23] が、個々の人を継続して把握することは困難である。

一方、リアルタイムにイベントを把握する手法としても、様々なセンサが活用されており、日本各地に配置された気象センサから、網羅的にデータを収集し、環境情報を保存する Live E! が推進されている [24]。同様に、脈拍数、呼吸数、血中酸素濃度などの生体情報をセンサにより継続して収集し、健康状態を把握する研究 [25], [26], [27] だけでなく、これらの生体情報から人の「きもち」を推定する手法が提案されている [28], [29]。また、人が装着するセンサを利用するだけでなく、文献 [30] においては、ビルの各所に設置された CO2 センサなどを利用することで、部屋の心地よさを把握し、ビルの空調制御に役立てる研究も行われている。その一方で、人がセンサとして機能するユーザ参加型のセンシング手法も提案されている。セカイカメラは、携帯端末に搭載されている GPS とコンパスにより、携帯端末の位置とその向きを特定し、利用者がその場所に投稿したエアタグをカメラ越しの映像に重ねて表示することができる [31]。エアタグには場所に関連した情報が登録されており、例えば、その場所自身についての情報だけでなく、その場所で行われたイベントの情報、感想、メモなど、様々な情報がエアタグとして蓄積されている。また、位置情報が付与された Twitter のつぶやきを解析することにより、災害状況を推定する手法 [32]、台風の通過をリアルタイムに推測する手法 [33]、各地域における固執衛生を推測する手法 [34] など、テキストマイニングの手法を応用することで、イベントや周りの状況を把握する手法が提案されている。

本研究では、共有空間における人々の存在を把握するために、端末に搭載された Wi-Fi による位置測位と、設置型センサであるレーザ測域センサを組み合わせることで、対象とする領域において継続した人々の位置検出を実現している。また、イベントやきもちの把握についても、つぶやきなどの分析から得られるユーザ参加型の主観的な情報と、センサなどから得られる客観的な情報を統合かつ可視化する点で既存研究とは大きく異なる。

表 1 共有空間で収集する情報の例

データの種別	客観的データ	主観的データ
人の存在位置	人々の正確な存在位置	混雑、盛況
人の気持ちや感覚	催し物、公演、案内、スケジュール	楽しい、面白い

3. 共有空間における情報共有

3.1 システム概要

本稿は、共有空間における人々の存在・行動情報、ならびにそれらの人々の気持ちや考え、感覚などを統合し可視化してユーザに提供する共有空間ナビゲーションプラットフォームの設計及び開発を行う。このプラットフォームにおいて、共有空間の情報を可視化してユーザに提供することで、ユーザは混雑状況や他者の感情などを視覚的に得ることができ、自身の行動決定に役立てるとともに、自身の感情を共有することで他のユーザへ行動を決定するための指針となる情報の提供を行う。このために、本プラットフォームは、共有空間における情報収集、収集した情報の統合、そして統合した情報の可視化の三つの要素から構成されている。共有空間で収集する情報としては、表 1 に示すように、人々の存在・行動情報やそれらの人々の気持ちや考え、感覚などが想定され、外部からセンシング可能な客観的データとユーザから直接得る主観的データの二種類を対象とする。客観的データの収集は、可視化して共有を行いたい情報ごとに必要なセンサを共有空間内に設置することで実現される。一方、主観的データは、スマートフォンやタブレットなどユーザが保持するデバイスを介して収集する。収集されたすべての情報は、対象空間内の人々の存在・行動や感情を容易に把握することができるよう、共有空間地図上に統合され、ユーザが持つスマートフォンやタブレットなどで見ることができる。

3.2 システム構成

本システムは、情報の収集、情報の統合の二つの要素から構成される。情報の収集においては、客観的データである (i) リアルタイムな人々の存在状況 (ひと)、および、主観的データである (ii) そこに存在する物体 (オブジェクト) やリアルタイムに発生する事象 (イベント)、あるいは周辺環境に対する人々の考えや気持ち (きもち) の収集を行う。まず、(i) 共有空間における「ひと」の情報を得るためにレーザ測域スキャナを用いて情報収集を行う。さらに、(ii) ユーザが所有するスマートフォンやタブレットなどのモバイルデバイスを用いることで、人々の「きもち」の収集を行う。以降、この二つの情報収集の実装について述べるが、3.1 節でも示したように、必要であれば他のセンサを使用することで別の情報も共有することが可能である。情報の統合では、各センサやユーザから収集した情報をサーバに集約し、共有空間地図上にマッピングすること

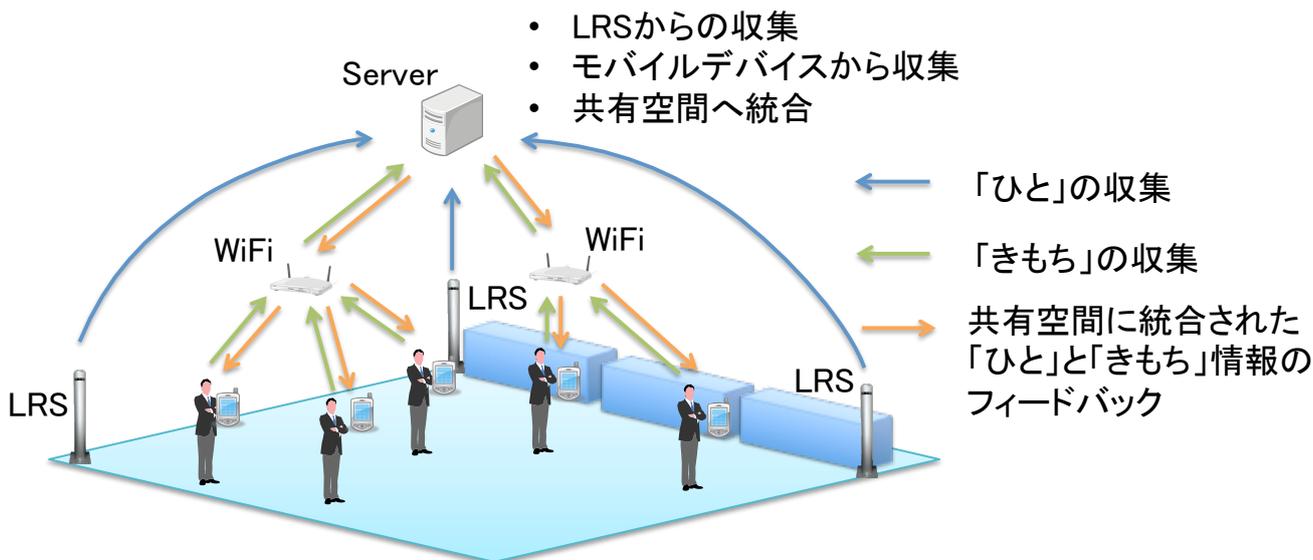


図 1 システム構成

で種類の異なる情報をすべて共有空間地図上に表現される情報へと統合される。また、この情報は、ユーザのモバイルデバイスやサイネージディスプレイによって、共有空間における様々な情報がユーザへ提示される。このシステムの概要を図 1 で示す。以降の節では情報の収集、統合についての詳細を述べる。

3.3 共有空間における情報の収集

本節では、センサやユーザから、ひとときもちを収集する方法について説明する。

3.3.1 「ひと」の情報収集

「ひと」の情報収集には、リアルタイムかつ共有空間に存在するすべての人を検知するためレーザ測域スキャナを用いる。レーザ測域スキャナを用いると共有空間内の障害物を測定することができるため、センシングデータから人の検出を行うことにより、「ひと」の情報収集を行う。以下ではレーザ測域スキャナのハードウェア説明とレーザ測域スキャナのセンシングデータから人の存在を検知する手法を述べる。

[レーザ測域スキャナ]

表 2 UTM-30LX の仕様 (北陽電機資料より抜粋)

項目	仕様
計測距離	0.1 ~ 30m
走査角度	270°
角度分解能	0.25°
測定間隔	25ms/scan
測定精度	0.1 ~ 10m: ± 30mm, 10 ~ 30m: ± 50mm
外形寸法	W60 × D60 × H87 mm
質量	210g

レーザ測域スキャナはレーザ光が対象物に反射し、戻っ

てくるまでにかかった時間を用いて対象までの距離を測定するセンサである。レーザ測域スキャナの例として北陽電機の UTM-30LX [36] の仕様を表 2 に示す。この表に示されるように、レーザ測域スキャナは小型であっても距離 30m、走査角度 270° の広範囲を 25ms と高速に測定することができるだけでなく、その誤差は 50mm 程度と極めて小さい。

レーザ測域スキャナによるセンシングデータは、方向に対する障害物までの距離であるため、カメラを用いた場合における個人情報を侵害する恐れが少なく、顔を写されることを嫌うような人がいる場所においても、個人のプライバシーに配慮して使用することができる。また、レーザ測域スキャナのセンシングデータはカメラなどと比較してデータ量が少なく、データの解析も容易であり、リアルタイムに人を検出することができる。一方、距離しか得られないため服の色や性別、年齢などを特定することはできず、レーザ測域スキャナだけでは個人を識別することができない。また、カメラと同様に人や障害物の陰に隠れてしまいセンサから人が検知できないという問題 (オクルージョン問題) もある。これに対しては、影となる部分を減らすため、レーザ測域スキャナを複数台使用し、それぞれの観測範囲を重ねることで対応する。

サーバとレーザ測域スキャナは Ethernet で接続されており、サーバにおいて URG C Library [37] を介し、TCP 通信でレーザ測域スキャナの制御を行うことができる。具体的には、サーバからレーザ測域スキャナに対してネットワーク経由でコマンドが送信され、レーザ測域スキャナがそのコマンドに応答することで、レーザ測域スキャナの制御とセンシングデータ取得が実現されている。このようにして、共有空間内のそれぞれのレーザ測域スキャナと通信を行い、レーザ測域スキャナからセンシングデータの収集

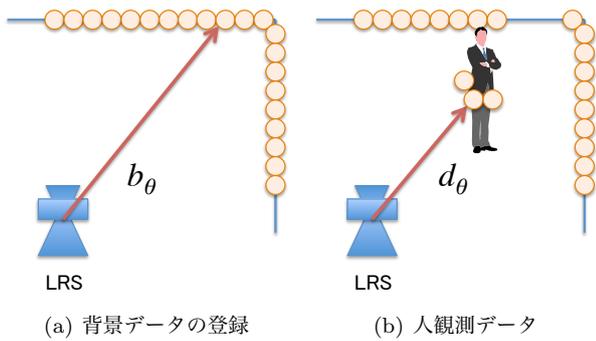


図 2 背景差分法による人検出手法

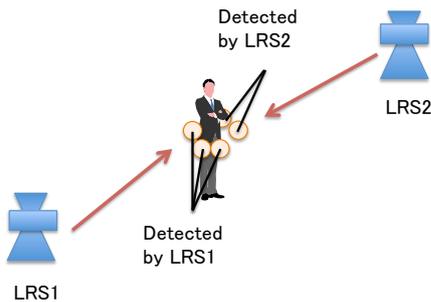


図 3 複数の LRS から得られた検出点の集約

を行う。

[レーザ測域スキャナを用いた人検出手法]

上記で説明したレーザ測域スキャナから取得されるセンシングデータを用いて、人の存在を検知する方法について説明する。レーザ測域スキャナは人の腰の高さで地面と平行に計測できるように設置されており、スキャナから障害物もしくは人までの距離を取得することができる。

この方法では、まず、共有空間内に配置されたそれぞれのレーザ測域スキャナから得られるセンシングデータから、建物の柱や壁など動かないものを検出することにより、動く物体が存在する領域を特定する。その後、複数のレーザ測域スキャナからのセンシングデータを集約することにより、動いている物体が人に相当するものであるか判定を行う。

本システムでは、動かないものを検出する際に、背景差分法を利用している。この手法では、まず、人がいないときに測定したセンシングデータを、動いているものがない状況を表す背景データとして登録する(図2)。このとき、レーザ測域スキャナから角度 θ にある物体までの距離を b_θ とする。一方、共有空間内に人が現れた際(図2(b))、角度 θ にある物体までの距離を d_θ とし、 $d_\theta < b_\theta$ となる角度 θ が存在する場合には、角度 θ の方向に動いている物体が存在することがわかる。この角度 θ に対して $d_\theta < b_\theta$ を満たすときの空間上の点を検出点と呼ぶ。

次に、複数のレーザ測域スキャナから得られた検出点を集約することにより、人の存在を検出する。レーザ測域スキャナの計測範囲内に人が滞在している場合には、図3の

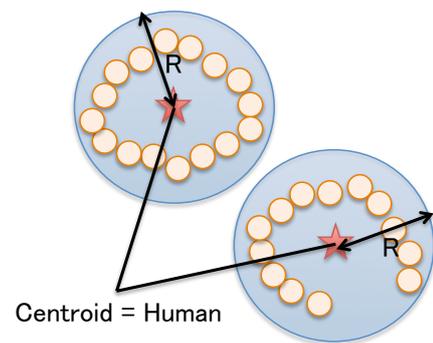


図 4 隣接した検出点を人と推測して位置推定

ように、人の体表面上に検出点が現れる。本システムでは、別々の角度から人を観測できるよう複数のスキャナを配置しており、人の体表面における検出点を多数取得できると期待される。そこで、得られた検出点から、人の胴体と思われる大きさの楕円形を形作る検出点群を抽出し、それを人の位置とする。一般的には、人と人との間にはある程度の空間が生じているため、体表面の楕円形に外接する円の範囲内には、体表面の検出点のみが存在すると考えられる。よって、図4のように、半径 R に含まれ、かつある一定数 C 個以上の検出点を検出し、その円の中心を推定位置として人を検出する。

3.3.2 「きもち」の情報収集

きもちは人々の気持ちや考えであり、例えば、ブースや店舗の感想や特別な事象に対する感情、また室温や通路の混雑具合などの周辺状況に対する感想などが挙げられる。これらのきもちは位置に関連付けられるものも多く、きもちだけでなく、その位置も収集することで、その情報価値は大きく向上する。きもちは、ユーザが所有するスマートフォンやタブレットなどモバイルデバイスによって入力され、WiFi通信によりサーバに送信される。それと同時に、モバイルデバイスとWiFi AP間の電波受信状況に基づき位置推定を行う。以降では、きもちの入力と位置推定手法について説明する。

[きもちの入力]

本システムでは、きもちを幾つかの入力方法により収集する。一つは、あらかじめ用意された項目のいずれかを選択する入力方法で、例えば、料理の感想に対しては、甘い、辛い、酸っぱい、塩辛い、苦いといった様々な味覚を用意しておくことで、ユーザは感想を簡単に入力することができる。また、きもちを数値データとして入力する方法も備えており、例えば、室温の場合、暑い、寒いだけでなく、具体的に数字で表すことで詳細な気温を伝えることができる。さらに、収集された数値データに対して統計処理を行うことも可能で、例えば、ユーザからいくつか室温を収集することで、ユーザが滞在する位置だけでなく、周辺の領域における室温を推定することが期待できる。さらに、上



図 5 WiFi AP の設置の様子

記のいずれにもあてはまらない場合に対応できるよう、きもちを文章として入力できる方法も備えており、例えば、ブースにおいて開催されたイベントに対する様々な感想を伝えることができる。

[きもちの位置推定]

ひとたびでは、環境内に設置された WiFi アクセスポイントからの電波の受信状況をもとに、スマートフォンやタブレット端末を持つ来場者のおおよその位置を特定する。

モバイル端末上で WiFi アクセスポイントの探索を実行すると、通信範囲内に存在するアクセスポイントの MAC アドレスと受信電波強度 (RSS) の組が取得される。ここで、環境内に設置されている WiFi アクセスポイントの数を n とし、 i 番目のアクセスポイント AP_i からの受信電波強度を rss_i で表す。提案システムでは、アクセスポイントからの RSS の観測結果をもとに、式 (1) のような n 次元のベクトルを構成し、位置推定のためのフィンガープリントとして利用する。

$$\mathbf{r} = (rss_1, rss_2, \dots, rss_n) \quad (1)$$

なお、探索時に AP_i からの無線ビーコンが受信されなかった場合には、 $rss_i = -99$ dBm (RSS の最小値) とする。

位置推定を行うためには、あらかじめ環境内の複数の地点 (参照点) においてアクセスポイントからの受信電波強度を収集し、それぞれの参照点におけるフィンガープリントを事前学習しておく。ここで、参照点の集合を S とする。提案システムでは、モバイル端末上で観測されたフィンガープリント \mathbf{r} (式 (1)) をそれぞれの参照点 $p_i \in S$ における学習データ $\hat{\mathbf{r}}(p_i)$ と比較し、式 (2) のように、フィンガープリント間のユークリッド距離が最も小さくなるような参照点の位置を端末の現在位置の推定結果 \hat{p} とする。

$$\hat{p} = \arg \min_{p_i \in S} \|\mathbf{r} - \hat{\mathbf{r}}(p_i)\| \quad (2)$$

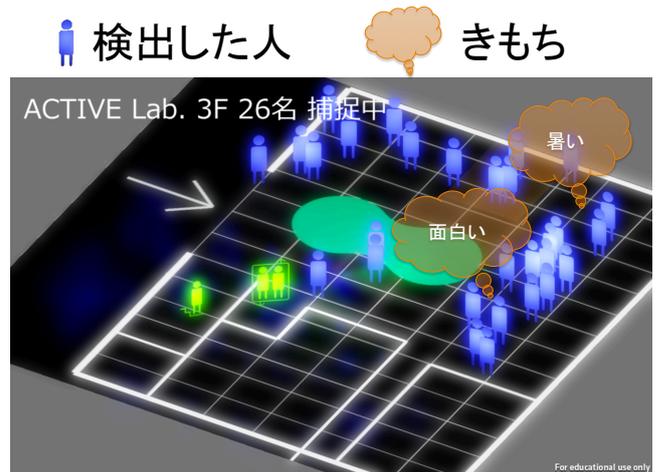


図 7 収集された情報の可視化

The Lab の 2F および 3F フロアには、図 6 において三角形のマークで示した計 6 地点の天井付近に WiFi アクセスポイントが設置されている。ここで、アクセスポイントの設置の様子を図 5 に示す。事前学習では、それぞれのフロアにおいて 5m 間隔で参照点を設定し、図 6 に示した計 20 地点で RSS の収集を行った。Android 端末 (Nexus 7) を手に保持した状態で、それぞれの参照点においてアクセスポイントの探索を 300 回ずつ実行し、300 サンプルの RSS の平均値を用いて、6 次元のフィンガープリントを構成した。

3.4 収集された情報の統合

センサやユーザから収集した情報は、それぞれが観測した側面から見た情報でしかなく、共有空間全体を表したのではない。例えば、あるセンサから収集した人々の存在情報により、共有空間内の特定の場所に人が集まっているは把握できるが、その理由を知ることはできない。ここで、もし、ユーザから収集したきもちに、その場所でイベントが行われていることがわかれば、その混雑はイベントにより生じたものと判断することができる。このように、収集した情報を個別に提供するのではなく、統合することで、ユーザーにとって意味のある形に新たな価値を生むことができる。本プラットフォームでは、「ひと」と「きもち」の情報を別アイコンを用意し、共有空間上の対応する位置にこのアイコンを表示し、地図上に収集した情報を重ね合わせることでこれらの情報が統合されており、図 7 のように、サイネージディスプレイやスマートフォンを介して、ユーザにわかりやすく提供される。

4. グランフロント大阪における実証実験

4.1 実証実験概要

設計開発したシステムを、展示場「The Lab みんなで世界一研究所」[38] (図 10) に設置し、実際の来場者を計測している。「The Lab みんなで世界一研究所」は、2013

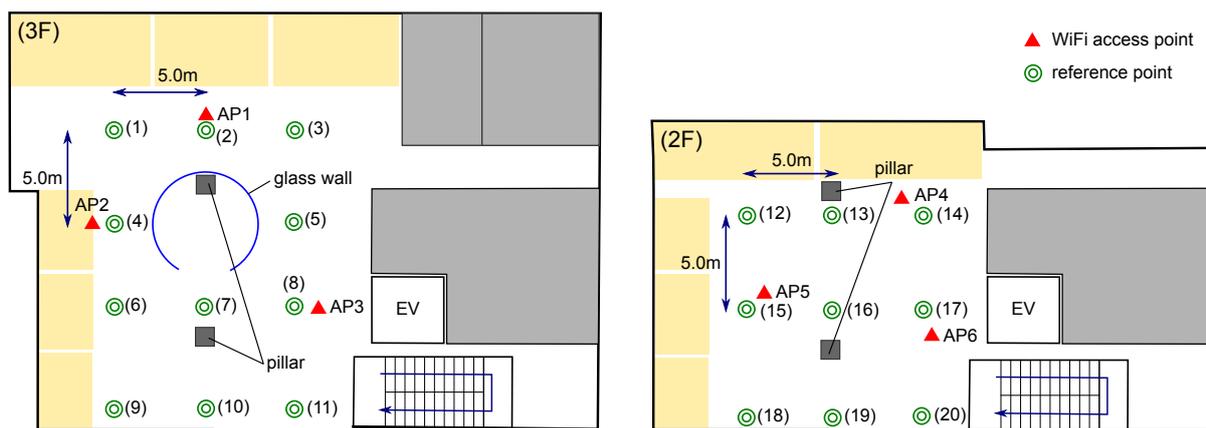


図 6 WiFi AP の配置とフィンガープリント収集地点 (参照点)

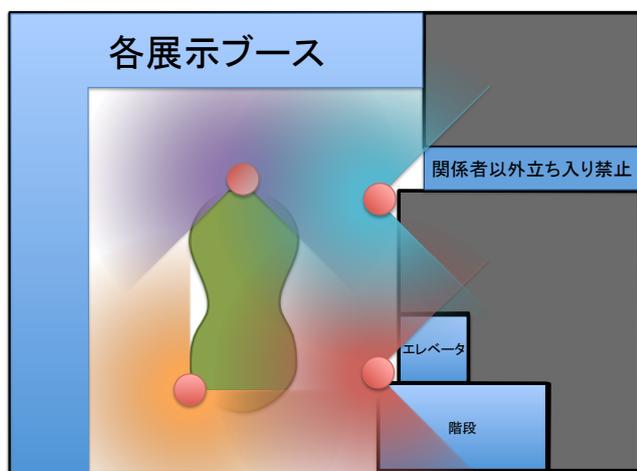


図 8 レーザレンジスキャナの設置場所

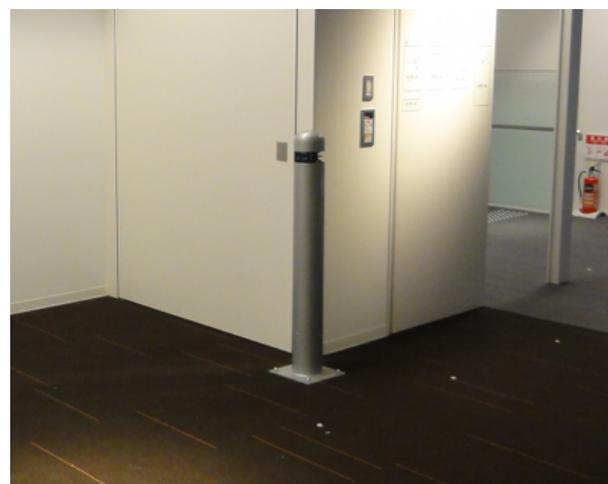


図 9 設置したポール

年 4 月 26 日に新規開業 (まちびらき) し、開業後 3 日間で 100 万人が訪れて大きな注目を集めた JR 大阪駅前の大規模商業施設グランフロント大阪 (図 11) のナレッジキャピタル [39] において、先端技術を見て、触れ、体験し語り合う交流施設であり、現在多数の企業や学術団体、大学がブースで最先端技術の展示を行っている。我々は、この The Lab. において、文部科学省国家課題対応型研究開発推進事業—次世代 IT 基盤構築のための研究開発—「社会システム・サービスの最適化のための IT 統合システムの構築」(2012 年度～2016 年度) の助成のもとで、一般社団法人ナレッジキャピタルと共同で、The Lab 内の人々の行動を計測するとともに、それを可視化して展示する実証実験を図 12、図 13 のように展開している。同システムはまちびらき当日より展示を開始し、2013 年 5 月 15 日現在も継続して展示中である。極めて多数の来場者に「ひとなび」を説明し、本システムの有用性やエンターテイメント性、また将来的な応用可能性を伝えるとともに、性能評価実験を実施し、そのトラッキング性能を評価している。

The Lab は、グランフロント大阪の北館の 3 階から地下 1 階までを占める大型の展示施設であり、そのうち 3F と 2F は技術展示を中心としたブースが並ぶ Active Lab、1 階はカフェ、地下 1 階は期間限定のイベントスペースであり、2013 年 5 月現在では「The 世界一展」が開催されている。我々は、地下 1 階の The 世界一展内に 4 基、および 2 階と 3 階の Active Lab の各フロアに 4 基ずつ、計 12 基のレーザ測域スキャナを金属ポールに格納して床面に固定設置している (図 9)。本稿では Active Lab. の 3 階での計測結果について述べる。

Active Lab. 3 階は、図 8 に示すように、ブースが 8 箇所、壁に沿って展示してあり、中央にコミュニケーションスペースが設けられている。来場者は 3 階からは図下部のガラスドアの入り口、あるいは The Lab 内移動用の階段またはエレベータを利用してフロアに会場し、多くの来場者がコミュニケーションスペースを周回するように各ブース展示を観覧していく。3 階の ACTIVE Lab. のフロアマップであり、幅 15m、長さ 20m ほどの空間である。この空間全体をレーザレンジスキャナが覆えるように図中の赤丸で示したところの計 4 ヶ所にレーザレンジスキャナを設置



図 10 The Lab. みんなで世界一研究所 (Active Lab. フロア)



図 11 グランフロント大阪

した。また図中の橙色はレーザレンジスキャナの計測可能範囲を示しており、計測対象空間全体を覆えるようにしている。加えて、同フロアに WiFi アクセスポイントを 3 基設置した。これらは天井設置とすることで、混雑時も見通し通信を確保できるようにしている。

4.2 LRS による人の位置推定の性能評価

LRS による位置推定の精度を検証するため、Active Lab. 3 階にて、人が頻繁に通行する縦 5.5m、横 6.0m の長方形のスペース内に滞在する人の位置推定を行った。訪問者が多い昼間と、訪問者が比較的少ない夜間のそれぞれ 5 分間を対象に、指定のスペース内に滞在する人の数を LRS で推定し、目視で計測した人数と比較した。昼間は平均して



図 12 ひとたび展示



図 13 ひとたびポスター

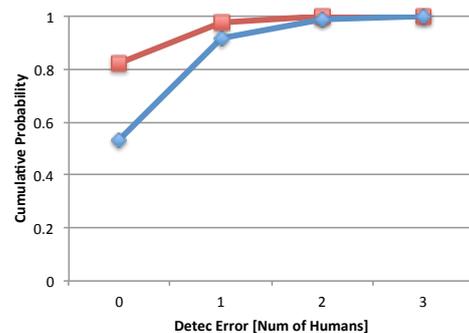
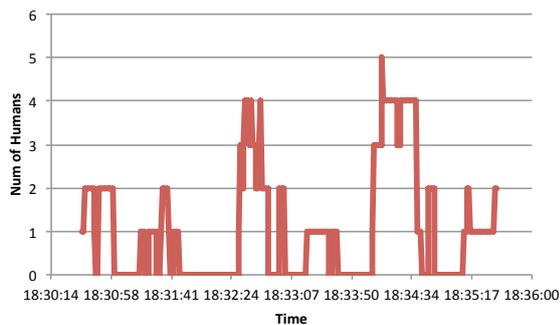
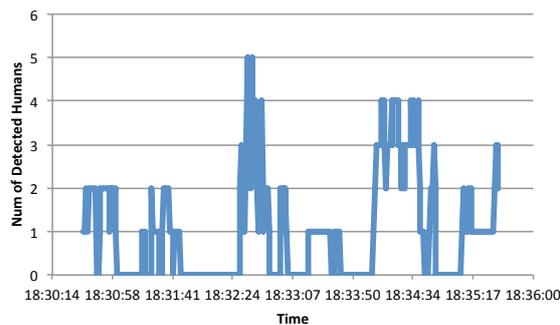


図 15 LRS による人の位置推定の累積誤差分布

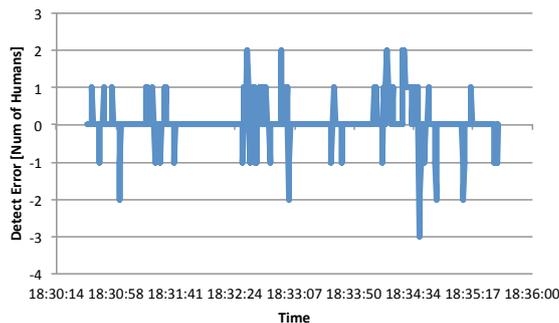
3 人程度、多いときには 7 人が存在し、夜間に平均して 1 人程度、最大で 4 人が実験領域内に存在している。夜間における実際の滞在人数、LRS による推定滞在人数及びその差を図 14 に示す。図 14(c) は両者の誤差であり、ここから人数が多い時に誤差が多く発生していることがわかる。ここで誤差は、マイナスの場合オクルージョン問題により LRS が人を見失った時、プラスの場合大きな荷物やベビーカーなどを人として誤判定した時に、それぞれ発生すると考えられる。しかし、多くの誤差は 0.1 秒程度の非



(a) 実際のエリア内滞在人数



(b) 推定エリア内滞在人数



(c) 人数の違い

図 14 LRS による夜間の位置推定実験結果

常に短い時間でのみ発生し、その前後の時刻での推定人数は実際の人数に一致しているため、線形予測を用いてオクルージョン問題で見失った人を補完することが可能であると考えられる。また人でないものを誤判定している問題についても、人間の体表面が楕円形であることから物体の形状を考慮に入れることで、ある程度緩和できるものと予測できる。本実験の推定人数誤差の累積確率分布を図 15 に示す。誤差 1 人を許容すれば混雑時でも 90%以上の確率で人数を推定できていることがわかった。

4.3 人の位置行動計測精度の性能評価

WiFi による位置推定の精度を検証するため、図 6 で定義した 20 地点の参照点においてアクセスポイントからの受信電波強度を取得し、事前学習によって構成したフィンガープリントおよび 3.3.2 節の位置推定アルゴリズムを用いて、モバイル端末の推定位置を算出した。このときの位置推定誤差の累積確率分布を図 16 に示す。位置推定誤差が 5m 以内となる割合が 54%、10m 以内となる割合が 80% となっており、スマートフォンユーザが現在のブースを巡回しているかは、比較的高い精度で特定することが可能であることが分かる。

5. まとめ

本研究では、レストラン街やイベント会場などの共有空間における人々の存在・行動情報、ならびにそれらの人々

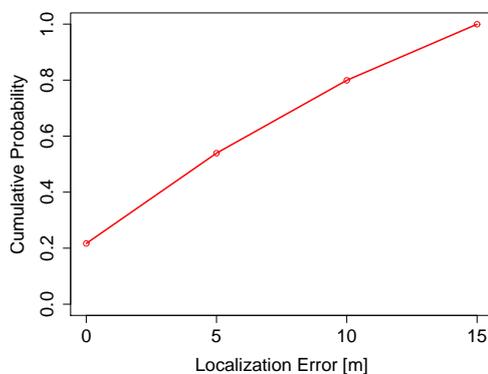


図 16 WiFi 測位の累積誤差分布

の気持ちや考え、感覚などを統合的に共有するための共有空間ナビゲーションプラットフォーム「ひとなび」の設計開発を行った。展示会場での性能評価実験を行った結果、人々の存在情報推定としてのレーザ測域スキャナを用いた人検知システムにおいて誤差 1 人を許容すれば混雑時でも 90% 以上の確率で人数を推定できていることがわかった。また、WiFi を用いた位置推定技術も位置推定誤差が 5m 以内となる割合が 54%、10m 以内となる割合が 80% となり高い精度で特定可能であることもわかった。

今後は空間の温湿度や人の移動軌跡など共有する情報を増やし統合することで、これまで単体の情報だけでは感じ

取れなかった共有空間内の情報を新しく作り出し、可視化してユーザに提供することを目指す。また、スマートフォン用プログラムの実装を行い、広く一般に配布し実際に使ってもらうことを想定しており、実際に使ってもらった感想を踏まえ、システムを改善していきたいと考えている。

謝辞

本研究の一部は、本研究は文部科学省国家課題対応型研究開発推進事業 一次世代 IT 基盤構築のための研究開発—「社会システム・サービスの最適化のための IT 統合システムの構築」(2012 年度～2016 年度)の助成を受けたものです。The Lab. での実証実験に関し、一般社団法人ナレッジキャピタルの宮原秀夫代表理事をはじめ、多大なご協力を賜りましたすべての関係者の皆様にお礼申し上げます。

参考文献

- [1] Kjaergaard, M. B., Wirz, M., Roggen, D. and Tröster, G.: Detecting pedestrian flocks by fusion of multi-modal sensors in mobile phones, *Proceedings of the 14th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp '12)*, pp. 240–249 (2012).
- [2] Kloch, K., Lukowicz, P. and Fischer, C.: Collaborative PDR Localisation with Mobile Phones, *Proceedings of the 15th Annual International Symposium on Wearable Computers (ISWC '11)*, pp. 37–40 (2011).
- [3] Li, F., Zhao, C., Ding, G., Gong, J., Liu, C. and Zhao, F.: A reliable and accurate indoor localization method using phone inertial sensors, *Proceedings of the 14th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp '12)*, pp. 421–430 (2012).
- [4] Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P. and Liu, J.: Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, Vol. 37, No. 6, pp. 1067–1080 (2007).
- [5] Gu, Y., Lo, A. and Niemegeers, I.: A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks, *IEEE Communications Surveys Tutorials*, Vol. 11, No. 1, pp. 13–32 (2009).
- [6] Zekavat, S. A. R. and Buehrer, R. M.(eds.): *Handbook of Position Location*, IEEE Press (2012).
- [7] Cheng, Y.-C., Chawathe, Y., LaMarca, A. and Krumm, J.: Accuracy characterization for metropolitan-scale Wi-Fi localization, *Proceedings of the 3rd international conference on Mobile systems, applications, and services (MobiSys '05)*, pp. 233–245 (2005).
- [8] Bahl, P. and Padmanabhan, V. N.: RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system, *Proceedings of the 19th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM '00)*, pp. 775–784 (2000).
- [9] Youssef, M. and Agrawala, A.: The Horus WLAN location determination system, *Proceedings of the 3rd international conference on Mobile systems, applications, and services (MobiSys '05)*, pp. 205–218 (2005).
- [10] Otsason, V., Varshavsky, A., LaMarca, A. and de Lara, E.: Accurate GSM indoor localization, *Proceedings of the 7th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp '05)*, pp. 141–158 (2005).
- [11] Chung, J., Donahoe, M., Schmandt, C., Kim, I.-J., Razavai, P. and Wiseman, M.: Indoor location sensing using geo-magnetism, *Proceedings of the 9th International Conference on Mobile systems, applications, and services (MobiSys '11)*, pp. 141–154 (2011).
- [12] Azizyan, M., Constandache, I. and Roy Choudhury, R.: SurroundSense: mobile phone localization via ambience fingerprinting, *Proceedings of the 15th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '09)*, pp. 261–272 (2009).
- [13] Beauregard, S. and Haas, H.: Pedestrian dead reckoning: A basis for personal positioning, *Proceedings of the 3rd Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC' 06)*, pp. 27–35 (2006).
- [14] Jirawimut, R., Ptasinski, P., Garaj, V., Cecelja, F. and Balachandran, W.: A method for dead reckoning parameter correction in pedestrian navigation system, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 52, No. 1, pp. 209–215 (2003).
- [15] 吉川毅: 視覚システム搭載型自律走行ロボットの開発(第2報)-機能モジュールの開発と自律走行試験-, 北海道立工業試験場報告, Vol. 296, pp. 113–121 (1997).
- [16] R.Jirawimut, P.Ptasinski, V.Garaj, F.Cecelja and W.Balachandran: A method for dead reckoning parameter correction in pedestrian navigation system, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 52, No. 1, pp. 209–215 (2003).
- [17] Higuchi, T., Yamaguchi, H. and Higashino, T.: Clearing a Crowd: Context-supported Neighbor Positioning for People-centric Navigation, *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Computing (Pervasive '12)*, pp. 325–342 (2012).
- [18] Jin, Y., Toh, H.-S., Soh, W.-S. and Wong, W.-C.: A robust dead-reckoning pedestrian tracking system with low cost sensors, *Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom '11)*, pp. 222–230 (2011).
- [19] Teixeira, T., Jung, D. and Savvides, A.: Tasking networked CCTV cameras and mobile phones to identify and localize multiple people, *Proceedings of the 12th ACM international conference on Ubiquitous computing (UbiComp '10)*, pp. 213–222 (2010).
- [20] Fod, A., Howard, A. and Mataric, M. J.: Laser-Based People Tracking, *In Proc. of the IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA)*, pp. 3024–3029 (2002).
- [21] 李在勲, 金容植, 川田浩彦, 大矢晃久, 油田信一: 測域センサを用いたセキュリティーシステムの開発—人物追跡・計数アルゴリズム—, 第24回日本ロボット学会学術講演会, 2B22 (2006).
- [22] 中村克行, 趙 卉菁, 柴崎亮介, 坂本圭司, 大鋸朋生, 鈴木尚毅: 複数のレーザーレンジスキャナを用いた歩行者トラッキングとその信頼性評価 (画像認識, コンピュータビジョン), 電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-パターン処理, Vol. 88, No. 7, pp. 1143–1152 (2005).
- [23] H.Zhao and R.Shibasaki.: A Novel System for Tracking Pedestrians Using Multiple Single-Row Laser-Range Scanners, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A*, Vol. 35, No. 2, pp. 283–291 (2005).
- [24] Live E!: Live E! ～活きた地球の環境情報～.
- [25] Malan, D., Fulford-Jones, T., Welsh, M. and Moulton, S.: Codeblue: An ad hoc sensor network infrastructure for emergency medical care, *International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, Vol. 5 (2004).

- [26] Gao, T., Greenspan, D., Welsh, M., Juang, R. and Alm, A.: Vital signs monitoring and patient tracking over a wireless network, *Proceedings of the 27th Annual International Conference on Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS '05)*, pp. 102–105 (2006).
- [27] Pantelopoulos, A. and Bourbakis, N. G.: A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, Vol. 40, No. 1, pp. 1–12 (2010).
- [28] Peter, C., Ebert, E. and Beikirch, H.: A wearable multi-sensor system for mobile acquisition of emotion-related physiological data, *Affective Computing and Intelligent Interaction*, Springer, pp. 691–698 (2005).
- [29] Wagner, J., Andre, E. and Jung, F.: Smart sensor integration: A framework for multimodal emotion recognition in real-time, *Proceedings of the 3rd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII '09)*, pp. 1–8 (2009).
- [30] Kolokotsa, D., Pouliezos, A., Stavrakakis, G. and Lazos, C.: Predictive control techniques for energy and indoor environmental quality management in buildings, *Building and Environment*, Vol. 44, No. 9, pp. 1850 – 1863 (2009).
- [31] 頓智ドット株式会社 : Sekai Camera Web.
- [32] Cataldi, M., Di Caro, L. and Schifanella, C.: Emerging topic detection on Twitter based on temporal and social terms evaluation, *Proceedings of the 10th International Workshop on Multimedia Data Mining (MDMKDD '10)*, pp. 1–10 (2010).
- [33] Sakaki, T., Okazaki, M. and Matsuo, Y.: Earthquake shakes Twitter users: real-time event detection by social sensors, *Proceedings of the 19th International Conference on World Wide Web (WWW '10)*, pp. 851–860 (2010).
- [34] Paul, M. and Dredze, M.: You are what you tweet: Analyzing Twitter for public health, *Proceedings of the 11th International AAAI Conference on Weblogs and Social Media (ICWSM '11)* (2011).
- [35] Rattenbury, T., Good, N. and Naaman, M.: Towards automatic extraction of event and place semantics from flickr tags, *Proceedings of the 30th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval (SIGIR '07)*, pp. 103–110 (2007).
- [36] 北陽電機株式会社 : UTM-30LX.
- [37] URG Helper project: URG C Library document.
- [38] KNOWLEDGE CAPITAL: アクティブラボ- KNOWLEDGE CAPITAL | ナレッジキャピタル.
- [39] KNOWLEDGE CAPITAL: KNOWLEDGE CAPITAL | ナレッジキャピタル.