

## ウェアラブルシステムのための 画像と複数センサのデータ統合による位置・方位取得手法

A method of personal positioning and orientation with data-fusion of image registration and multiple sensors for wearable systems

興梠 正克      蔵田 武志      坂上 勝彦

Masakatsu Kourogi   Takeshi Kurata   Katsuhiko Sakaue

産業技術総合研究所 知能システム研究部門

Intelligent Systems Institutes, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

m.kourogi@aist.go.jp

*Abstract*      筆者らは、ウェアラブルカメラから得られる映像から、実環境中の情報源であるパノラマ画像群とのビューベース位置合わせと相対角センサーの出力に基づいて利用者の位置と方位を取得する手法を提案、実装してきた。しかしながら、この従来手法では、移動可能なすべての地点でパノラマ画像を事前に撮影しておく必要があるため、広範囲な環境への適用が難しいという問題点があった。そこで、本研究では、利用者の歩行動作に着目して、歩数計と磁気方位センサーを用いて相対的な移動量を推定し、ビューベース位置合わせで得られる絶対位置・方位と統合することで、必要となる画像データベースを縮約する改良手法を提案する。本手法では、詳細な情報提示を必要としない移動路上では、既知の地点からの相対的な移動量を用いて現在位置を推定し、粗い密度に配置されたパノラマ画像群とのビューベース位置合わせによって、利用者の位置推定結果を補正する。本手法を筆者らが構築している *VizWear* プロトタイプシステム上に実装し、評価した。その結果、移動路上に要するパノラマ画像の枚数を 1/10 程度に縮約できた。また、移動中の位置推定に必要な処理コストを 1/10 ~ 1/20 程度に削減できた。

### 1 はじめに

近年、計算機とその入出力機器やセンサーの小型化と高性能化、無線ネットワークの広域・広帯域化に伴い、ウェアラブルコンピューティングがますます注目されている。着用されることで計算機が利用者の置かれている状況を理解し、その状況に即した知的な支援サービスを能動的に提供できることが期待されている [4][5]。人間の日常的な状況把握には視覚が重要な役割を果たしており、利用者視点から得られる映像は計算機による状況理解に有効であると考えられる [1][2][3][6][10][11]。本研究では、コンピュータビジョン ( CV ) の手法を応用し、利用者支援に役立つ状況理解の一つである位置と方位の実時間推定を目的とする。

筆者らは、パノラマ画像群を情報源として用いたビューベース位置合わせと相対角センサー出力に基づく利用者の位置・方位の実時間取得手法を提案し、ウェアラブルコンピュータ上への実装を通して注釈提示と歩行者ナビゲーションへの応用例を示してきた [7][8]。本手法は、実環境中の各地点で撮影されたパノラマ画像群と利用者視点の入力映像のビューベース位置合わせによって、利用者の位置と方位を取得すると同時に、パノラマ画像上に付与された

注釈情報 ( TODO リストや案内板、実空間へのリンクなど ) や操作パネル等を映像上に重ね合わせ提示することができる。図 1 にその出力例を示す。



図 1: 注釈提示アプリケーションの出力例

しかしながら、本手法では、利用者が移動する可能性のあるすべての地点で事前にパノラマ画像を撮影しておく必要がある。したがって、通路や階段など、利用者が移動通過するだけの場所においてもパノラマ画像が必要となり、広範囲な環境をカバーするためには膨大な量の画像データベースが必要となる。また、利用者が情報提供を必要としない場合や、提示すべき情報が存在しない場所においても、高精度なビューベース位置合わせが実行されるため、計算機資源が必要以上に消費される問題点があった。

本稿では、利用者に装着するセンサーとして、頭部に装着される相対角センサーに加えて、歩数計と磁気方位センサーを導入し、これらのデータ統合によって、ビューベース位置合わせに必要な画像データベースを縮約する改良手法を提案する。提案手法では、利用者の移動が歩行動作によって引き起こされるものとみなし、この歩行動作を歩数計を用いて検出・計数することで既知の地点からの相対的な移動距離を推定する。利用者が移動通過する場所には、パノラマ画像群を粗い間隔で撮影しておき、歩数計の推定結果から利用者がそれぞれの撮影地点に到達可能であるとき、入力映像と各パノラマ画像とのビューベース位置合わせを行う。良好な位置合わせ結果を与えるパノラマ画像が見つかったとき、利用者がその撮影地点に移動したとみなす。提案手法は、必要となるパノラマ画像群の枚数を縮約すると同時に、位置合わせ処理に要する計算コストを節約することができる。

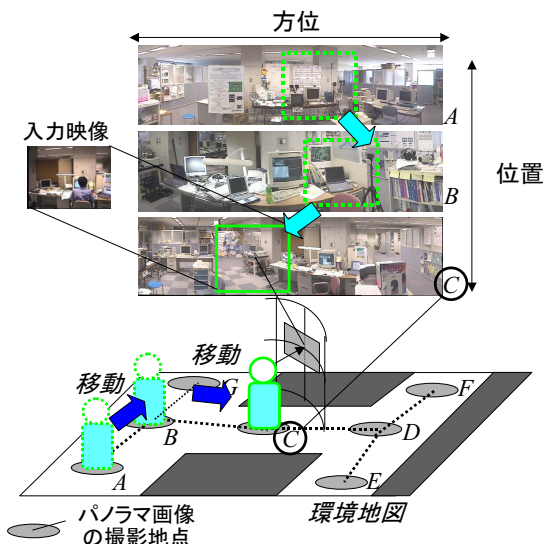


図 2: ビューベース位置合わせに基づく位置・方位推定手法 (改良前)

## 2 ウェアラブルシステムのための位置・方位推定手法

### 2.1 従来手法とその問題点

従来の筆者らの提案手法では、利用者視点の映像が最も良く位置合わせされるパノラマ画像を画像データベースから探索することで利用者の位置を推定する。頭部に着用された相対角センサーを用いて視点方位の予測を行うことで、ビューベース位置合わせの高速化とロバスト化を実現した。提案手法の概要を図 2 に示す。しかしながら、室内環境での様々な実験例から概ね 1 枚/1m<sup>2</sup> の密度でパノラマ画像を撮影し、データベースに登録する必要があることが分かっており、広範囲な環境をカバーするには膨大な量の画像データベースが必要となる。また、ビューベース位置合わせ結果に基づいて利用者の移動を検出していたため、位置推定が必ずしもロバストではない問題点があった。例えば、利用者がまったく移動していないにもかかわらず、ビューベース位置合わせでは偶然に良好に照合するパノラマ画像へと切り替わり、移動したとみなされることがあった。この現象はパノラマ画像間で視差が小さく見え方の差がほとんどない場合にしばしば見られた。

そこで、本研究では、利用者の移動手段としての歩行動作に着目し、これを検出、計数することによって、相対的な位置距離を推定する。提示すべき情報が豊富な情報密度の高い領域では、高密度にパノラマ画像を配置し、移動通過のための領域では低密度に配置されたパノラマ画像を配置する。改良手法の概要を図 3 に示す。Lee ら [9] は腰部に装着された 2

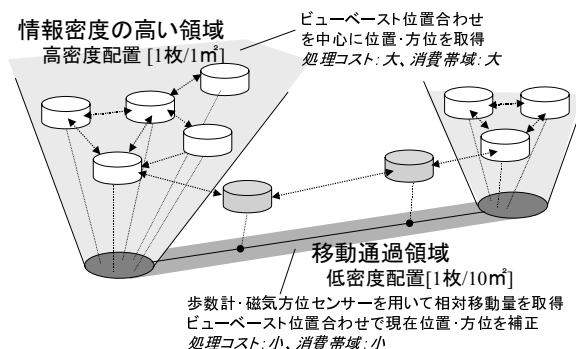


図 3: ビューベース位置合わせとセンサー統合に基づく位置・方位取得手法 (改良後)

軸加速度センサーと磁気方位センサーの計測結果と学習データに基づいて、オフィス内でよく滞在する定点間の移動 (例えば実験室からコーヒーメーカーのあるキッチンへの移動など) を増分的に検出する手法を提案し、良好な結果を得ている。しかしながら、増分的な検出手法では適用可能な移動距離に制限がある。また、地磁気が乱される環境 (鉄筋コンクリートの建物内など) では磁気方位センサーの計測結果の信頼性は低下するため、一般に、広範囲な環境では利用者の絶対的な移動方位を安定して取得することは難しい。本研究では、歩数計を用いた提案手法の改良を行い、磁気方位センサーが利用可能な環境下においてのみ限定的に利用する改良手法の拡張を行う。

## 2.2 歩数計による移動検出と移動距離の推定

歩行動作は、人体の重心位置（腰部に相当）の鉛直方向の加速度に特徴的な周期的パターンとして表れるため、腰部に装着された加速度センサーを用いてこのパターンを検出することによって、安定的に歩数を計測することができる。

利用者の歩数を計測することで、歩幅が一定であれば、その移動距離を推定できる。人間の直線的な滑らかな歩行動作の場合、概ね、歩幅 = 身長 × 0.4 となることが経験的に知られている。しかしながら、同一の利用者であっても、歩幅にはばらつきがある上に、歩行中に立ち止まって引き返す、手元の地図や携帯電話などを見ながらや目的地の建物などを探しながら歩行するなど、多様な歩行状況が存在する。このため、歩数から推定される移動距離の精度には限界がある。提案手法では、腰部に着用された加速度センサーによって計測される鉛直方向への加速度に基づいて歩行を検出、計数する。得られた歩数  $n$  からの移動距離  $d$  の算出には測定誤差や歩行の多様性を考慮して、一定の幅を持たせる。利用者に依存して決まる歩幅の最小値と最大値をそれぞれ  $w_{min}, w_{max}$  として与え、 $nw_{min} \leq d \leq nw_{max}$  とする。

## 2.3 ビューベースト位置合わせと歩数計・磁気方位センサーのデータ統合による位置推定手法

前述の歩数計によるアプローチは既知の地点からの相対的な移動距離を推定できるが、センサー精度の限界や歩行動作の誤検出による誤差が累積するため、長時間に渡って精度良く位置を推定することはできない。そこで本研究では、移動路中に位置補正のためのパノラマ画像群を事前に撮影しておき、歩数計から推定される移動距離で到達可能なパノラマ画像群を絞り込む。歩行動作が検出されたとき、これらのパノラマ画像と入力映像とのビューベースト位置合わせを行い、地点間の移動を検出する相補的な手法を提案する。すなわち、ビューベースト位置合わせによって絶対的な位置と方位を取得し、歩数計と磁気方位センサーによって相対的な移動量を推定する。

### 2.3.1 歩数計を用いた移動先候補の絞り込みと位置補正

本手法では、位置補正のためのパノラマ画像群の撮影地点を無向グラフ  $G = (V, E)$  としてデータベースに格納する。各頂点  $V_i$  がパノラマ画像の撮影地点を表し、エッジ情報  $E$  は、2 頂点間の接続関係とそ

の距離を表すものとする。ここで、2 頂点間が接続されているとき、歩行移動によってその地点間を移動できるものとする。また、2 頂点間の距離  $d(V_i, V_j)$  はその地点間の歩行移動に要する距離を表す。パノラマ画像群の無向グラフの一例を図 4 に示す。

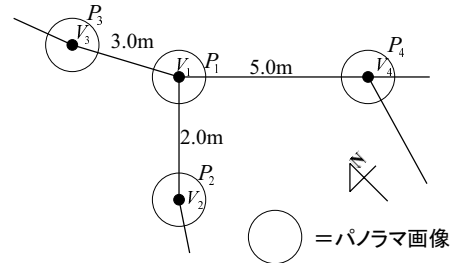


図 4: パノラマ画像群の無向グラフの一例

既知の地点からの利用者の歩数が得られたとき、位置補正のためのパノラマ画像群のグラフ  $G$  を用いて、利用者が到達可能な地点を絞り込むことができる。これらの地点上のパノラマ画像とビューベースト位置合わせを行い、十分に良好な結果を与えるパノラマ画像が存在するとき、利用者の現在位置がその撮影地点へ移動したもとして更新する。図 4 のパノラマ画像群のグラフ  $G$  において、ビューベースト位置合わせに基づいて最後に取得された位置が  $V_1$  であり、その位置からの移動距離が計測された歩数から 1.8m ~ 3.6m であると推測されたとすると、図 5 に示すように、到達可能なパノラマ画像は  $V_2$  と  $V_3$  に絞り込まれる。

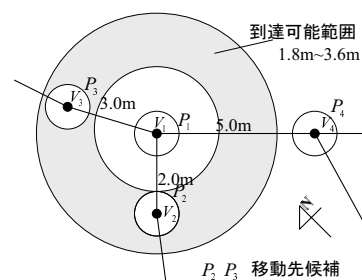


図 5: 歩数計による位置の絞り込み

位置補正に用いるパノラマ画像群はビューベースト位置合わせ結果がお互いに排他的である必要がある。すなわち、一枚の入力画像に対して、これと良好な位置合わせ結果を与えるパノラマ画像が複数枚存在してはならない。したがって、移動路中のパノラマ画像の撮影地点はお互いに十分に離れているか、遮蔽物などによって画像間の視差が十分に大きい必

要がある。

### 2.3.2 相対角センサーによる視点方位の絞り込み

利用者の頭部に着用された相対角センサーを用いると、ビューベース位置合わせに基づいて最後に取得された視点方位から現在の視点方位を予測することができる。したがって、移動先候補のパノラマ画像群と入力映像との位置合わせを行う際に、位置合わせすべき方位を絞りこむことができる。絞り込める範囲は相対角センサーの精度と経過時間によって決定される。

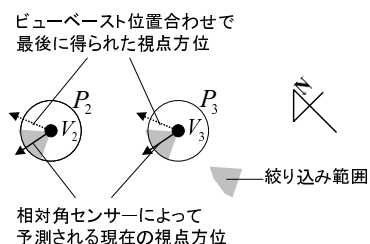


図 6: 相対角センサーによる方位の絞り込み

### 2.3.3 データ統合による改善効果

提案手法は、分岐のない移動路上では歩数計による移動距離の推定結果が信頼できる範囲においてはパノラマ画像を必要とせず、画像データベースを大幅に縮約することができる。歩数計を用いることによるもう一つのメリットは、処理に必要な計算機資源を削減できることである。歩行動作が検出されない限り、利用者の現在位置に変更がないことが分かるため、ビューベース位置合わせ処理は不要となる。外部の計算機サーバにネットワークを介して処理をポストする実装の場合、消費する帯域を節約することができる。また、平均的な歩行の時間間隔は500ミリ秒程度であり、ビューベース位置合わせの処理速度は毎秒2回で十分となる。

提案手法は、情報密度が高い領域上の利用者に対してはビューベース位置合わせを頻繁に行って様々な注釈情報を即座に精度よく提示する一方で、移動中の利用者に対しては、間欠的に位置と方位を追跡することで、計算機資源と帯域を効率良く活用することができる。

## 2.4 磁気方位センサーを用いた拡張

人間の歩行動作による移動方向は腰部の向きとほぼ一致するため、絶対方位を測定できる磁気方位センサーを用いて歩行中の利用者の移動方向を得るこ

とができる。分岐のある移動路上では、移動方向と歩行動作の検出を組み合わせることで、移動先候補となるパノラマ画像をさらに絞り込むことができる。図5の例では、移動距離のみに基づいて絞り込みを行うと、到達可能な地点は2つであるが、移動方向を測定できれば、一意に決定することができる。移動方向に基づく絞り込みは分岐の多い移動路上で特に有効である。提案手法では、磁気方位センサーの出力が信頼できる環境でのみ、限定的に利用することができる。

## 3 実験

### 3.1 実装

提案手法を VizWear システム上のソフトウェアとして実装した。VizWear システムとは、筆者らがウェアラブルコンピュータ上での様々なコンピュータビジョン(CV)と拡張現実感(AR)技術の開発のために構築しているプロトタイプシステムである[1][2][3]。本研究で用いる VizWear システムの構成を図7に示す。利用者の頭部のヘッドセットにウェアラブルカ

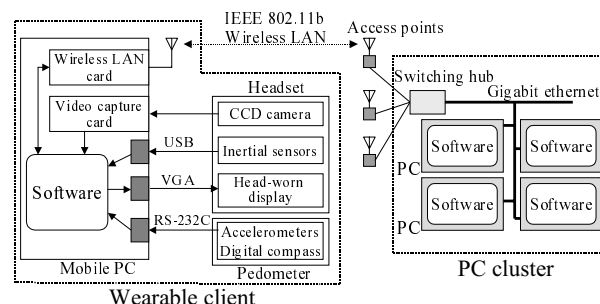


図 7: VizWear システム

メラと相対角センサー、ディスプレイが装着されている。歩数計に用いる加速度センサーと、移動方向を測定する磁気方位センサーについては、これらの二つがパッケージ化された MicroStrain 社製の 3DM (3軸方向の加速度と3軸方向の磁束密度がシリアルポートを介して得られる)を用いる。3DMは利用者の腰部に装着されている。

### 3.2 実験環境

室内環境を歩行移動する利用者の位置の推定手法を VizWear システム上に実装し、位置の推定精度とそれに要する処理コストと帯域を評価した。評価実験に用いた室内環境(面積:約180m<sup>2</sup>)の見取図を

図 8 に示す．図中に示されている 12 地点上で位置補正のために用いるパノラマ画像を撮影した．

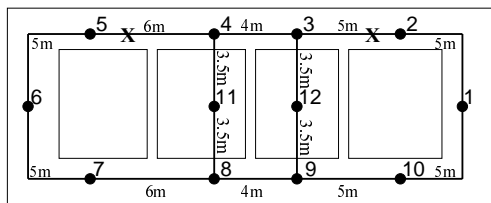


図 8: 実験環境の見取図とパノラマ画像の撮影地点

利用者(身長 174cm)の歩幅については，最小値  $d_{min} = 35\text{cm}$ ，最大値  $d_{max} = 85\text{cm}$  とした．相対角センサーによる絞り込み範囲は，最後のビューベースト位置合わせから 10 秒が経過するごとに水平方向に 9 度ずつ広げる設定とした．

### 3.3 結果

#### 3.3.1 位置推定結果

利用者が実験環境中を 1→2→3→12 →9→8→11 →4→5→6 の順序で歩行移動したときの改良手法(歩数計のみ)による位置の推定結果(成功例)を図 9 に示した．図中の X 印は利用者が 5-6 秒程度立ち止まって，周囲を見回したり手元の携帯電話をのぞき込んだ場所を表している．また，図 10 には歩行中の

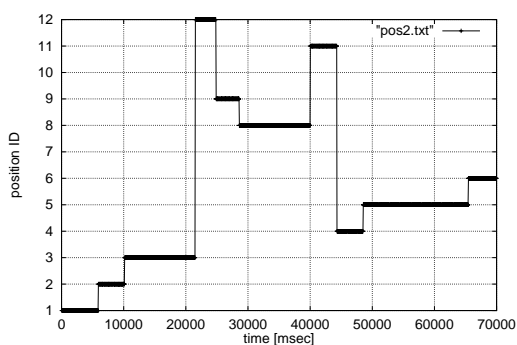


図 9: 位置推定結果のグラフ

利用者の位置・方位の推定結果(4枚)が示されている．それぞれ，左側に入力画像が示され，右側には，本手法によって推定された現在位置に対応するパノラマ画像が示されており，各パノラマ画像上には，本手法によって推定された方位(水平方向)に対応する縦のラインが重ね合わされている．

移動路中の分岐点において，利用者の視点が手元を向いていたたり，画像特徴の乏しい方向を向いていた



図 10: 位置・方位推定結果(上から順に地点 4, 11, 3, 5 における結果)

ことによって，位置補正用のパノラマ画像とのビューベースト位置合わせに失敗することがあった．このため，探索すべき移動先候補数が増大して，パノラマ画像群全体との位置合わせ処理が要求され，システムが過負荷状態となって機能しなくなることがあった．磁気方位センサーを用いた場合は，移動方向による絞り込みが正しく働いたため，このような失敗例はなかった．

#### 3.3.2 本手法のコスト

本手法の計算コストは，ビューベースト位置合わせのみの従来手法と比べて大幅に削減された．図 11 に各時刻での PC クラスタ側で処理されている位置合わせ処理のタスク数の時系列の一例を示す．なお，相対角センサーによる絞り込みが有効であるとき，1枚のパノラマ画像とのビューベースト位置合わせ処理に要するタスク数は 5 個に設定されている．

この実行例では，最初の時刻では，利用者は地点 3 上にいるとビューベースト位置合わせにより認識されている．歩行による移動距離が小さく到達可能な移動先の候補がない状態では，位置合わせ処理は行われない．歩行によって，2つの移動先候補(地点 4 と地点 12)が到達可能となり，これらとの位置合わせが歩行動作が検出された時刻ごとに実行されている様子を読み取れる．やがて 3 つ目の移動先候補(地点 2)が追加されるが，4 歩目で移動先が見つかり，しばらく位置合わせ処理が行われない状態が続いている．

図 12 に磁気方位センサーを利用した場合の計算コストを示す．いずれの時刻においても，移動先候補が 1 つに絞り込めているため，さらに計算コストが

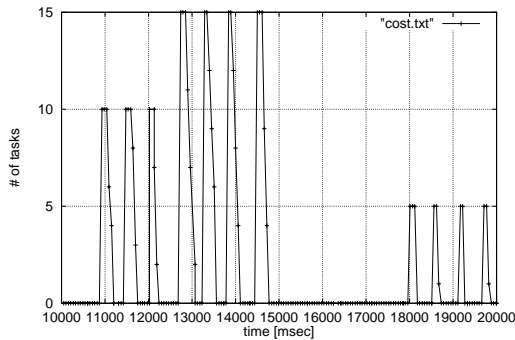


図 11: 処理コストのグラフ (歩数計のみの改良手法)

削減できたことが分かる。

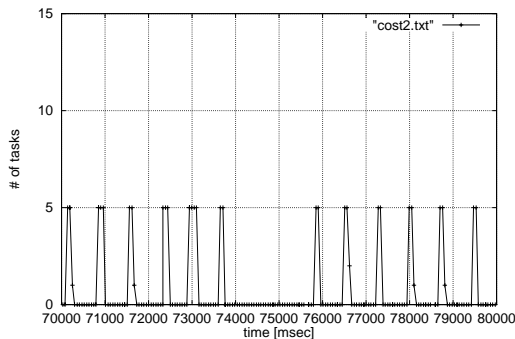


図 12: 処理コストのグラフ (歩数計+磁気方位センサーによる改良手法)

ビューベースト位置合わせにのみ基づいた場合、歩行動作と移動先候補への到達可能性の有無に関わらず位置合わせが必要となるが、改良手法を用いることによって、計算コストが  $1/10 \sim 1/20$  に削減できることが確認された。

## 4 まとめ

本稿では、ビューベースト位置・方位取得手法の歩数計を用いた改良手法について述べた。提案手法は、詳細な情報提示を必要としない移動路上においては、歩数計が計測する利用者の相対的な移動距離を用いて、到達可能な移動先候補を絞り込む。室内環境での評価実験では、 $180\text{m}^2$  を 12 枚のパノラマ画像群でカバーできることが確認された。また、歩行移動中の位置合わせの処理コストは  $1/10 \sim 1/20$  に削減できることが確認された。

今後の課題としては、分岐点が到達範囲に含まれている場合のビューベースト位置合わせ処理をロバスタ化する必要がある。具体的には、分岐点付近で

は位置合わせに用いられなかった入力映像をローカル PC 側で一時的に格納しておき、位置合わせに成功せずに通過してしまった場合、これらの入力映像を取り出して、時間方向に細かく位置合わせする、などの対策が考えられる。腰部に相対角センサーを装着することによって、利用者の移動方向の引き返し動作などを検出することが可能であると考えられる。実装上の課題としては、処理のローカル化が挙げられる。現実装では、すべての位置合わせ計算を計算機クラスタが処理している。このため、無線 LAN の通信状態が不安定になったり途切れた場合、クライアント側は完全に停止してしまう問題点がある。今後は、利用者の移動中の位置補正をローカルのクライアント側で実現していく必要がある。

## 参考文献

- [1] *VizWear*, <http://www.is.aist.go.jp/vizwear/>
- [2] 蔵田武志, 大隈隆史, 興相正克, 加藤丈和, 坂上勝彦, “VizWear: コンピュータビジョンとウェアラブルディスプレイによる人間中心インタラクション”, 高臨場感ディスプレイフォーラム 2001, pp. 47–52, 2001.
- [3] T. Kurata, T. Okuma, M. Kouroggi, T. Kato, K. Sakaue, “VizWear: Toward Human-Centered Interaction through Wearable Vision and Visualization,” in *Proc. of PCM2001*, pp. 40–47, 2001.
- [4] M. Lamming and M. Flynn, “Forget-me-not Intimate Computing in Support of Human Memory,” Technical Report EPC-1994-103, RXRC Cambridge Laboratory, 1994.
- [5] S. Mann, “Wearable Computing: A first step toward Personal Imaging,” *Computer*, Vol. 30, No. 2, pp. 25–32, 1999.
- [6] T. Starner, B. Schiele and A. Pentland, “Visual ‘Contextual Awareness Through Wearable Computers,” in *Proc. of ISWC98*, pp. 50–57, 1998.
- [7] 興相正克, 蔵田武志, 坂上勝彦, 村岡洋一, “パノラマ画像群を位置合わせに用いたライブ映像上への注釈提示とその実時間システム”, 信学論 (D-II), Vol. J84-D-II, No. 10, pp. 2293–2301, 2001.
- [8] M. Kouroggi, T. Kurata and K. Sakaue, “A Panorama-based Method of Personal Positioning and Orientation and Its Real-time Applications for Wearable Computers,” in *Proc. of ISWC2001*, pp. 107–114, 2001.
- [9] S. W. Lee and K. Mase, “Incremental Motion-Based Location Recognition,” in *Proc. of ISWC2001*, pp. 123–130, 2001.
- [10] B. Clarkson, K. Mase and A. Pentland, “Recognizing user context via wearable sensors,” in *Proc. of ISWC2000*, pp. 69–75, 2000.
- [11] H. Aoki, B. Schiele and A. Pentland, “Realtime personal positioning systems for wearable computers,” in *Proc. of ISWC99*, pp. 37–43, 1999.