

ウェアラブルシステムのための ビューベースな位置・方位取得手法

— 歩数計を用いた広域移動の実現と画像データベースの縮約 —

興梠 正克 蔵田 武志 坂上 勝彦

産業技術総合研究所 知能システム研究部門

〒 305-8568 つくば市梅園 1-1-1 中央第2

TEL:0298-61-2264, FAX:0298-61-3313

E-mail: m.kouroggi@aist.go.jp

概要 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な位置合わせ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、提案手法は、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、本稿では、利用者の歩行動作の検出と計数によって移動距離を推定することで、必要となる画像データベースを縮約する改良手法について述べる。提案手法では、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距離を歩数計を用いて推定し、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な位置合わせによって、利用者の位置推定結果を補正する。改良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 程度に削減することができた。

キーワード 位置・方位取得, 歩数計, パノラマ画像, 位置合わせ, 実時間処理

View-based method of personal positioning and orientation for wearable computer systems

— Reduction of image database for a wide area application —

Masakatsu Kouroggi Takeshi Kurata Katsuhiko Sakaue

Intelligent Systems Institutes,

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Abstract In this paper, we describe an improved method of personal positioning and orientation using image registration between input video frames and panoramic images captured beforehand. In our previous method, panoramic images are required to be captured at a dense interval. Therefore we have difficulties for a wider area application since a serious amount of work is required to capture and maintain the image database. We improved the previous method by using a pedometer to detect and measure user's relative displacement from a known location. The improved method requires much sparse density of panoramic images to correct cumulative errors of the pedometer by the view-based registration between the input frames and the panoramic images. We implemented and evaluated the method on the *VizWear* prototype system. As a result, the number of panoramic images required can be reduced to 1/10 and the computational cost required for view-based image registration can be reduced to between 1/10 and 1/20.

Keywords Personal positioning and orientation, Pedometer, Panoramic image, Image registration, Real-time processing

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な位置・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個人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な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) 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の位置合わせ

処理が行われるため，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，利用者が着用するセンサーとして，歩数計を導入することによって，ビューベースな位置・方位取得手法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な位置合わせを行う．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．

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．頭部に着用されたジャイロセンサーを用いて視点方位の予測を行うことで，ビューベースな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/1m² 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，ビューベースな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，ビューベースな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．

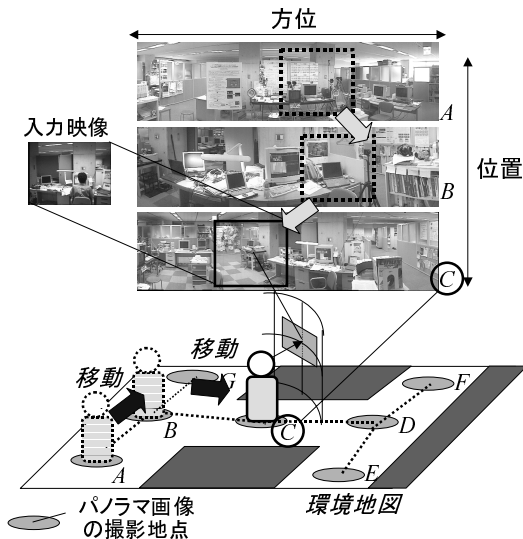


図 2: ビューベースな位置・方位推定手法(改良前)

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] は腰部に着用された 2 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マカのあるキッチン)の間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

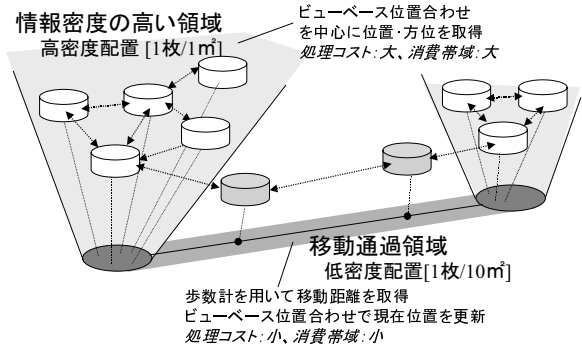


図 3: ビューベースな位置・方位取得手法(改良後)

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。典型的な歩行動作が引き起こす鉛直方向への加速度の時系列グラフを図 4 と図 5 に示す。前者のグラフは滑らかな歩行の一例で、後者は手元を見ながら一歩ずつ足元を確認するような歩行の一例である。グラフ中で連続する二つの凹凸のピークの組が歩行の 1 周期分のパターンに相当する。これは、片方の足が床面を蹴ってから、着地してもう一方の足が床面を蹴る直前までの運動が引き起こす鉛直方向への加速度パターンに相当する。

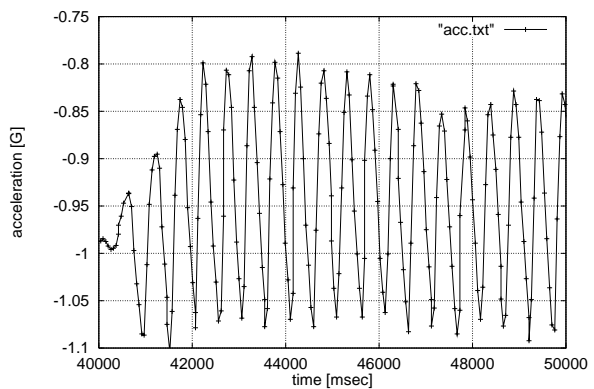


図 4: 典型的な歩行動作による加速度パターン (I)

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

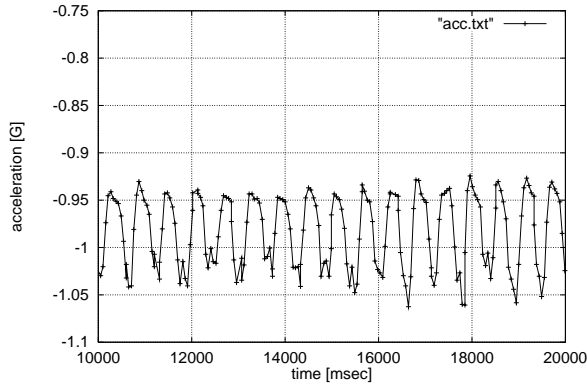


図 5: 典型的な歩行動作による加速度パターン (II)

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 ビューベースな位置合わせと歩数計によるハイブリッド位置推定手法

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な位置合わせを行い、地点間の移動を検出する相補的なハイブリッド手法を提案する。すなわち、ビューベースな位置合わせによって絶対的な位置と方位を取得し、歩数計によって相対的な位置の移動を推定する。

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、2 頂点間のエッジの有無が移動可能性を表すものとする。頂点間の距離 $d(V_i, V_j)$ は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 6 に示す。

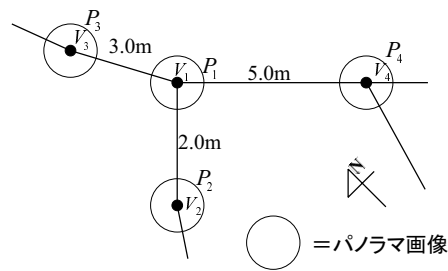


図 6: パノラマ画像群の無向グラフの一例

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な位置合わせを行い、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 6 のパノラマ画像群のグラフ G において、ビューベースな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 $1.8\text{m} \sim 3.6\text{m}$ であると推測されたとすると、図 7 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。

位置補正に用いるパノラマ画像群はビューベースな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、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。

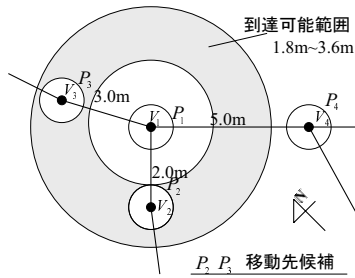


図 7: 歩数計による位置の絞り込み

2.3.2 ジャイロ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ジャイロセンサーを用いると、ビューベースな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。絞り込める範囲はジャイロセンサーの精度と経過時間によって決定される。

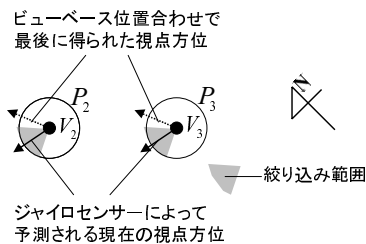


図 8: ジャイロセンサーによる方位の絞り込み

2.3.3 歩行が中断された状況への対処策

提案手法は、利用者が歩行中に立ち止まったり、来た方向へと引き返す状況に対しては、次のように対処する。歩行動作が一定時間検出されない場合、利用者の進行方向が逆方向になる可能性を考慮に入れて、移動候補先のパノラマ画像を検索する。図 6 の例では、現在位置が V_1 から 2m 歩行したところで、歩行動作が検出されなかった場合、次に歩行動作が再開されたとき、 V_1 に向かって歩行している可能性を考慮に入れる。また、ジャイロセンサーが頭部の十分に大きな回転角度（本研究で

は経験則に基づいて 150 度に設定)を検出した場合も移動方向が反転した可能性を考慮に入れる。

2.3.4 ハイブリッド手法による改善効果

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、ビューベースな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、ビューベースな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、情報密度が高いエリアにいる利用者に対してはビューベースな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。近年、広帯域無線 LAN によるネットワーク接続環境をホットスポットと呼ばれるエリアで局所的に提供するサービスが展開されている。その一方で、第 3 世代 (3G) 携帯電話に代表されるように携帯電話による広域的なネットワーク接続環境が全国的に展開されつつある。提案手法は図 9 に示すような近年整備されつつある無線ネットワーク環境に対してよく適合すると考えられる。

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測定することが可能である。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 7 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

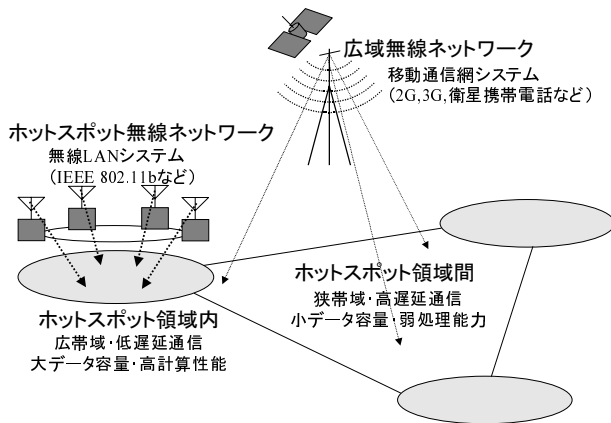


図 9: 提案手法がターゲットとする無線ネットワーク環境

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][3][2]。本研究で用いるシステムの構成を図 10 に示す。利用者の頭部のヘッドセットにウェアラブルカメラとジャイロセンサー、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 を用いる。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。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 180m²) の見取図を図 11 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。

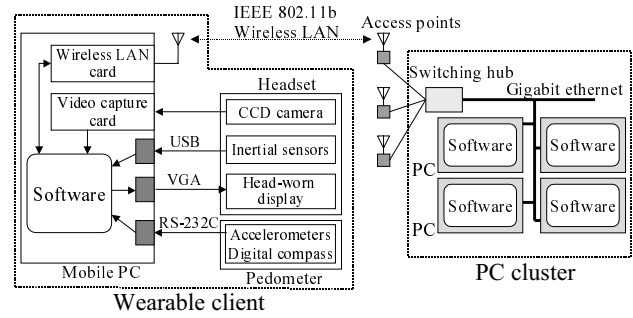


図 10: VizWear システム

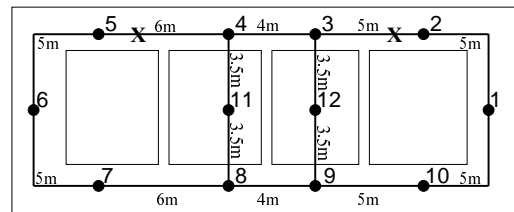


図 11: 実験環境の見取図とパノラマ画像の撮影地点

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。ジャイロセンサーによる絞り込み範囲は、最後のビューベースな位置合わせから 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 12 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。しかしながら、移動途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な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

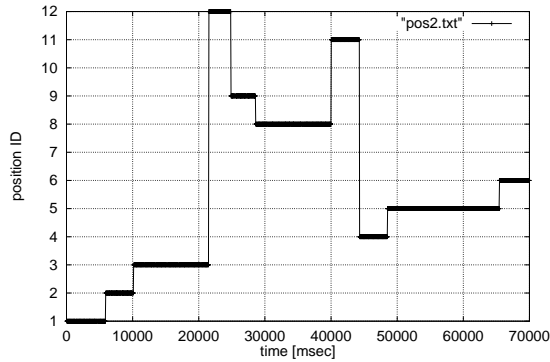


図 12: 位置推定結果のグラフ

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，ビューベースな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 13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，ジャイロ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な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な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が見取れる．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 14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削減できていることが分かる．

ビューベースな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1/10～1/20に削

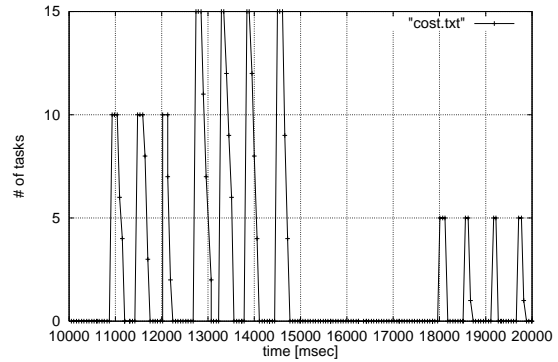


図 13: 処理コストのグラフ(歩数計のみの改良手法)

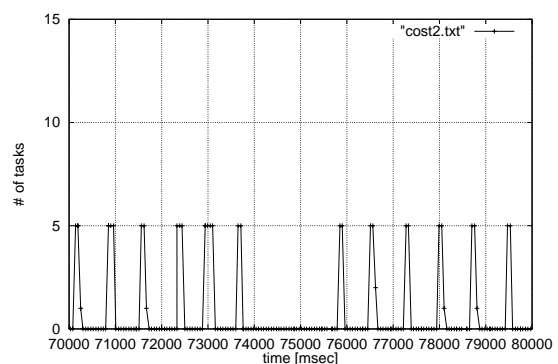


図 14: 処理コストのグラフ(歩数計+磁気方位センサーによる改良手法)

減できることが確認された．

4 まとめ

本稿では，ビューベースな位置・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，180m²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1/10～1/20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な位置合わせ処理をロバスト化する必要がある．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。腰部にジャイロ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. 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. Int’l Symp. on Wearable Computers (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. Int’l Symp. on Wearable Computers (ISWC2001), pp. 107–114, 2001.
- [9] S. W. Lee and K. Mase, “Incremental Motion-Based Location Recognition,” in Proc. Int’l Symp. on Wearable Computers (ISWC2001), pp. 123–130, 2001.
- [10] B. Clarkson, K. Mase and A. Pentland, “Recognizing user context via wearable sensors,” in Proc. Int’l Symp. on Wearable Computers (ISWC2000), pp. 69–75, 2000.
- [11] H. Aoki, B. Schiele and A. Pentland, “Real-time personal positioning systems for wearable computers,” in Proc. Int’l Symp. on Wearable Computers (ISWC99), pp. 37–43, 1999.