

作業効率化を目指した 高精度ロケーションベース情報提供 システム：PosPush

杉山高弘

要旨

近年、オフィスで業務する従業員の行動トレースをすることにより、効率的なオフィスレイアウトや人の配置、また、従業員が不在の際に不必要な照明・空調などを止めることにより、省エネを実現しようとする動きが高まってきています。また、店舗や倉庫において、商品の位置確認をシステム化することにより、在庫管理を効率化したいという要求がよく聞かれます。ここにおいて、省エネやオフィス効率化に向けて、高精度な3D位置検出技術に基づくロケーションベース情報提供技術が重要な位置を占めてきています。本稿では、超音波測位装置によって得られた高分解能3D位置情報を利用して、ユーザにロケーションベースの情報を効率良く提供する高精度ロケーションベース情報提供システム、PosPushを提案します。

キーワード

●3D位置情報 ●ロケーションベースサービス ●超音波測位 ●ユビキタスコンピューティング

1. はじめに

本システムは、3D空間が近距離で隣接した小ゾーンに分割されており、ユーザがこれらのゾーンのどれかに移動すると、それに対応する情報がユーザにタイムリーに転送される、といったアプリケーションのために設計されたものです。以前からロケーションベース情報提供（LIDS）に焦点を当てた研究は多く行われてきましたが、そのほとんどは非常に粗い位置データに基づいて近接度ベースの情報を提供するものでした。

それらの研究は、精密なゾーンを識別するため、及び適切な提供タイミングを判定するためのメカニズムを欠いていることから、上記の応用に利用することはできません。PosPushは、ゾーンを精密に識別するために、まず、主要位置ポイント群から位置クラスタ化アルゴリズムを使用してゾーンモデルを定義します。実行時には、抽出した位置ポイントを階層化検索に基づいたオンラインゾーン識別をこのモデルを使って行います。情報の適切な提供タイミングの判定には、位置の流れに沿って最初の変化を検出する適応型ウィンドウ変化抽出（AWCD）法を提案します。最後に、本稿ではPosPushに基づいて棚に陳列された商品の情報を提供する試作アプリ

ケーションについて述べ、提案したシステムの有効性を検証します。PosPushでは3D空間を緊密に隣接した小ゾーンに分割し、ユーザはスティック型の超音波タグを携帯してゾーンのいずれかに入ると、より詳細な位置情報を得ることができま。PosPushは多くのアプリケーションシナリオに利用できます。PosPushは、きめ細かい位置ゾーンと高精度な位置情報を備えた新しいLIDSです。

2. PosPushの課題と解決手段

従来のLIDSと比較すると、より複雑なメカニズムが必要となりますが、従来のLIDSには未だ取り組まれていない2つの問題が存在します。

(1) 精密なゾーンのモデル化と識別

PosPushの各ゾーンは小分割で近距離に隣接しているため、精密なゾーン識別は極めて重要であり、これはオフラインによるゾーンのモデル化とオンラインによるゾーンの識別のための高い要求条件になっています。

(2) 適切な提供タイミングの判定

PosPushでは多数の隣接した小ゾーンが存在するので、ユーザは意識せずにこれらの小ゾーンを通過することがありま

す。もし、ある小ゾーン内でのユーザの検出を情報提供のトリガーとすると、ユーザは多くの不要な情報を受け取ることになるので、適切な提供タイミングのための判定方法が必要です。PosPushでは、上述の問題に対応するために2種類の主要メカニズムが設計されています。精密なゾーンのモデル化と識別については、オフラインフェーズでは、小ゾーン内でランダムに収集した軌跡から、主要な位置ポイントを抽出する位置クラスタ化アルゴリズムを利用して小ゾーンを精密に較正しています。オンラインフェーズでは、階層化検索法を利用して対象が存在している小ゾーンを正確・迅速に判定しています。適切な提供タイミングの判定については、適応型ウィンドウ変化抽出 (AWCD) 法を利用してゾーン識別エラーを許容し、位置の流れの高速な変化を監視して情報提供タイミングを最適化しています。筆者らは、ショッピングモールでの商品情報提供を行う試作アプリケーションとしてPosPushを製作しました。この試作作品に基づき、PosPushの性能を評価するための多数の実験を実施しました。

3. システムの概要

図1にはPosPushのシステムアーキテクチャを示します。このアーキテクチャの主要な構成要素は下記のとおりです。

(1) 超音波測位システム

PosPushでは、超音波受信デバイスとマジックスティックで構成された超音波測位システムを展開して、移動するターゲットの位置を測定しています。測位装置はポジショニング装置 (POD) と呼ばれ、多数の超音波受信機で構成されています。

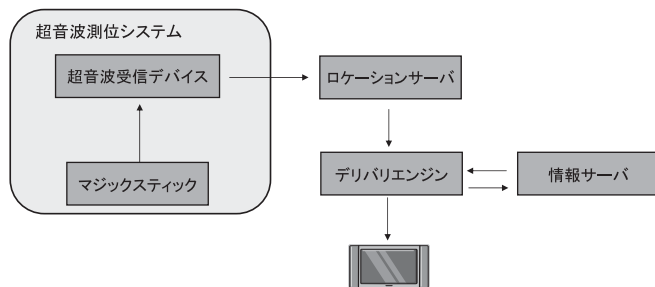


図1 PosPushシステムの概要

PODは、測定対象室内に下向きに設置されます。マジックスティックは超音波送信機であり、位置情報をトラッキングするためにユーザが持ち運びます。この超音波送信機はアクティブ送信モードで動作し、PODによって5cm未満の精度で測位します。超音波測位システムの詳細については、中国研究院の以前の研究¹⁻²⁾を参照してください。

(2) ロケーションサーバ

ロケーションサーバの機能は、マジックスティックの正確な位置を収集することです。オフラインフェーズでは、各小ゾーンのモデルは、一連の位置データ標本のクラスタ化によって較正されます。オンラインフェーズでは、ロケーションモデルの検索を行い、マジックスティックのリアルタイム位置によってマジックスティックがどの小ゾーンに属しているかを判定します。

(3) デリバリエンジン

デリバリエンジンの目的は、情報提供の適切なタイミングを効率良く判定することにあります。デリバリエンジンはAWCDベース法を実行し、マジックスティックの位置の流れを順次評価することによって提供タイミングを検出します。提供タイミングになると、デリバリエンジンは情報サーバからロケーションベース情報を検索するためのクエリを送信し、その情報をパブリックディスプレイに送出します。

(4) 情報サーバ

情報サーバは、各小ゾーンと関連した各種情報を保管しているロケーションベース情報データベースを内蔵しています。

このシステムアーキテクチャに基づいたPosPushの作業フローは次のようになります。

- 1) ユーザの持ち運ぶマジックスティックが測距信号をPODに送信する。
- 2) PODはマジックスティックの正確な位置を算出し、ロケーションサーバに送信する。
- 3) ロケーションサーバはマジックスティックの属する小ゾーンを識別し、デリバリエンジンに対応するゾーンのインデックスを送信する。
- 4) デリバリエンジンは位置の流れに沿って適切な提供タイミングを判定し、その判定結果をロケーションベース情報検索のためのクエリとして情報サーバに送信する。
- 5) ロケーションベース情報が、タイムリーな表示を行うた

めにパブリックディスプレイに配信される。

4. 試作システムの製作-ミュージックビデオディスクの情報提供

筆者らは、PosPushに基づいたショッピングモールにおける商品状況提供シナリオの試作アプリケーションを製作しました。ミュージックビデオ（MV）は多くの人々に人気があることを考慮し、試作システムの商品にはMVディスクを選択しました。このシステムでは、顧客があるMVディスクに関心を抱き、それにマジックスティックを近づけると、パブリックディスプレイにはすぐにそのMVディスクのビデオクリップが表示されます。図2にこの試作システムを示します。

試作システムは基本的に下記を含んでいます。

(1) 商品棚とMVディスク

試作システムではグリッドが8個ある商品棚を使用しました。各グリッドには1枚のMVディスクがあり、棚には合計8枚のディスクが置かれています。ここで使用したMVディスクは、客の注意を引くため、現在の人気のある歌手のものにしたことに注意が必要です。棚のグリッドは近距離で隣接しており、各グリッドの幅と高さは35cmです。超音波信号はグリッドのボードによって妨害されることがあるので、MVとして定義しました。

(2) PODとマジックスティック

商品棚の最上部には、1台のPODを8枚のMVディスクのゾーンをすべてカバーするように固定しました。PODは六角形をしており、周囲には6個の超音波受信機が内蔵されています。ユーザの保持するマジックスティックには、棒状の超音波タグを使用しています。ユーザがマジックスティック



図2 PosPush試作システム

を関心対象のMVディスクに向けて動かすと、PODはマジックスティックの正確な3D位置を算出し、サーバコンピュータに位置データを送信します。ここで注目すべき点は、マジックスティックの位置のアップデート周波数は5Hzであり、つまりマジックスティックの送信周期は200msです。

(3) サーバコンピュータ

サーバコンピュータの情報データベースにはすべてのMVディスクのビデオクリップが保存されており、JavaベースのPosPushソフトウェアが精密なゾーン較正/識別及び情報提供タイミング（IDT）判定の両方を実行しています。PosPushソフトウェアは操作を簡単にするためのユーザフレンドリなGUIも提供しています。オフラインフェーズでは、PosPushはMVディスクの隣接範囲の位置データを集約し、主要な位置ポイントの集合をゾーンモデルとして抽出します。その後、位置モデルはMVディスクに対応するビデオクリップと関連付けられます。オフラインフェーズでは、PosPushはマジックスティックの位置の流れから適切なIDTを取得します。IDTになると情報データベースからビデオクリップが検索され、パブリックディスプレイで再生されます。

5. 性能評価

試作システムに基づいて複数回の実験を行い、PosPushの性能を評価しました。

(1) ゾーン較正/識別の評価

PosPushでは、長さLのランダムに収集した位置シーケンスに対してK平均クラスタ化を適用し、n個の位置ポイントをゾーンモデルとして抽出することで、ゾーンモデルのオフライン較正を行います。ゾーン較正の複雑さとゾーン識別の精度は、パラメータLとnの選択に影響されます。Lとnの値が大きければゾーンモデルはより精密になりますが、他方ではLの値が大きいと位置収集処理に掛かる時間は長くなります。したがって筆者らは、較正のための労力はできる限り低減しながら精密な位置モデルを得るため、最適なパラメータLとnの組合せを発見しようと思いました。

筆者らの実験では、オフライン較正フェーズ中に収集される位置シーケンスの長さLは30、60、90に変化します。マジックスティックのアップデート周期は5Hzであることから、対応する収集時間はそれぞれ6秒、12秒または18秒になりま

す。主要な位置ポイントの数 (n) は1~20までの範囲です。試作システムの8個のゾーンのすべてに対し、パラメータLとnの個々の組合せについてのゾーンモデルを構築してみました。オンラインフェーズではリアルタイム位置データの集合をテストデータとして収集しました。試験データのほとんどは各ゾーンの境界近辺で収集されたものです。ゾーンインデックスの流れのグラントゥールスには手動でラベリングが行われています。筆者らは、ゾーン識別のエラー率を性能評価に利用しました。この結果は 図3 に示すとおりです。この図で第1に分かることは、収集する位置シーケンスの長さはゾーン識別精度にほとんど影響しない、ということです。特にn>10の場合には、位置シーケンスの長さが異なっても識別の精度はほとんど同一です。第2は、主要な位置ポイントの数が増大すると識別精度は改善しますが、n>10の場合にはこの精度はわずかな増大しかないことです。

したがって、実験の結果から、筆者らはL=30、n=11の組合せを最適のパラメータとして選択しました。このパラメータ設定を行えば、特定のゾーン内でマジックスティックを約6秒間移動するだけでオンライン識別のための精密なゾーンモデルが構築可能です。

(2) AWCDの評価

提案するAWCD法の性能を評価するには、AWCDによって判定されるIDTと、ユーザの真の関心対象が一致しているかを確認するための測定基準が必要です。筆者らは、ユーザの真の関心対象と、実際に提供される情報との一致率を評価基準とすることを提案します。各時点におけるユーザの

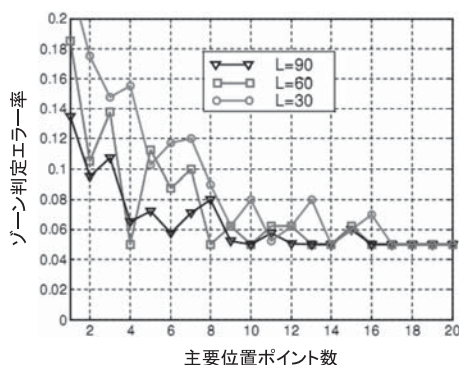


図3 Lとnのゾーン判定制度に対する効果

真の関心対象に手動でラベリングを行い、提供された情報がユーザの真の関心対象と同じ場合には「一致」とし、その他の場合を「不一致」としました。ユーザが一定期間PosPushシステムを使用した後、「一致」と「不一致」のシーケンスを記録します。一致率は、全シーケンスで「一致」の数によって占められる百分率割合として定義されます。評価の便宜のため、筆者らはすべてのゾーンにインデックス付けをしました。左列の4つのゾーンには上から順にゾーン1~4までのインデックスを与え、右列の4つのゾーンには上から順にゾーン5~8までのインデックスを与えました。

図4に、ある試験の実験結果を示します。Y軸はゾーンのインデックス、X軸は時間を表します。ユーザがマジックスティックを柵領域で移動します。そのユーザの真の関心対象はゾーン1、6、3及び8に置かれた商品です。グレーの点線はゾーン判定の結果を示します。最初はゾーン1に少しの間とどまった後、ゾーン5を通過してゾーン6に少しの間とどまり、次にゾーン7を高速で通過してゾーン3に少しの間とどまり、最後にゾーン4を高速で通過してゾーン8にたどり着いたことが、トレースから分かります。真の関心対象はユーザ自身がラベリングしたもので、黒い点線の曲線で示されています。ゾーン判定結果によると、ゾーンの高速通過結果やエラー判定結果があることから、マジックス

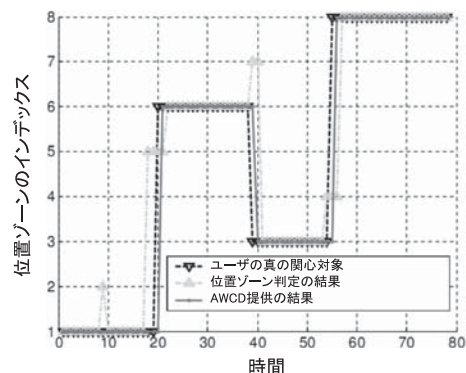


図4 AWCDベース実験

表 一致率の比較

項目	瞬間位置ベース法	AWCDベース法
一致率	86.1%	96.7%

ティックは全ゾーンを移動したことが分かります。従来のLIDSのように提供タイミングはその瞬間の位置によるのみ定まるならば、ユーザにはすべてのゾーンに関する情報が送られてしまい、ユーザにとっては快適でない情報提示になってしまいます。比較のため、筆者らの提案するAWCDによる提供の結果を実線で示します。それによると、AWCDの提供する情報はユーザの真の関心対象に一致し、AWCDはゾーン識別エラーやゾーンの高速通過にも耐性が見られました。AWCDベース法の一致率は96.5%という高さでした。

筆者らは上記の試験を50回行い、AWCDと従来の瞬間位置ベース法の一致率を比較しました。表には平均一致率を示します。ここでは、AWCDベース法は従来の方法と比較して一致率を10%以上改善できることが分かります。

6. おわりに

本稿では、超音波測位装置によって得られた高分解能3D位置情報を利用して、ユーザにロケーションベースの情報を効率的に提供する高精度ロケーションベース情報提供システム、PosPushを提案しました。筆者らは、実用的な応用の要件を満たすため、1)精密なゾーンのモデル化と識別用、2)AWCDベースの情報提供タイミング判定用、の2種類の主要メカニズムを提案しました。筆者らは、PosPushに基づき、ショッピングモールにおける商品情報提供シナリオの試作アプリケーションを製作し、提案システムの実現可能性と実効性を検証しました。将来におけるPosPushの更なる改善のためには、3D位置検出精度を数cm以内に向上させる予定です。高精度な3D位置検出技術に基づくロケーションベース情報提供技術の実現により、ビル管理システムや倉庫管理システムに適用して、省エネやオフィス効率化を加速していくつもりです。

*Javaは、米国Oracle Corporation及びその子会社、関連会社の米国及びその他の国における商標または登録商標です。

*その他本稿に記載されている会社名、製品名は、各社の商標または登録商標です。

参考文献

- 1) J. Zhao and Y. Wang, Autonomous Ultrasonic Indoor Tracking System, IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications, pp.532-539, Sydney, Australia, 2008.
- 2) Y. Wang and J. Zhao and T. Fukushima, LOCK: A Highly Accurate, Easy-to-Use Location-based Access Control System, 4th International Symposium on Location and Context Awareness (LO-CA' 09), Tokyo, Japan, 2009.

執筆者プロフィール

杉山 高弘
NEC (中国)
中国研究院
副院長