

# コンテキスト指向に基づく測位手段切り替え方法の提案

17SE009 藤田 龍 17SE059 小川 佑 17SE073 所澤 亮介

指導教員：沢田 篤史

## 1 はじめに

近年スマートフォンの普及により、スマートデバイスを用いたナビゲーションを日常的に行うようになった。その要因として、スマートデバイスには GPS(Global Positioning System) や Wi-Fi などのセンサが搭載されており、これらのセンサを利用してユーザは身近に位置情報の取得が可能となったことがあげられる。このことから、さまざまな状況に対応できるための GPS や Wi-Fi などの多様な測位技術を組み合わせた測位技術が盛んに研究されている。

いずれの屋内測位技術も一つの測位方法のみでは、特定の条件下でしか安定した現在位置測位を行えず、特定の条件以外では現在位置測位に支障をきたす可能性がある。また、物理的障害物や一過性の環境変化がある状況下において、同じ測位結果が得られる再現性の高いナビゲーションの実施を考えたときに利用できるような、十分な精度が得られる測位方法は確立されていない。

本研究の目的は、コンテキストを考慮した測位技術の動的再構成のためのソフトウェアアーキテクチャを設計し、それを基に測位方法の切り替えに柔軟に対応するためのソフトウェア基盤を構築することである。

測位を行う場所に応じて柔軟に測位方法を切り替える必要があり、柔軟な測位方法の切り替えをコンテキスト指向によって実現する。そのために、江坂ら [1] の PBR パターンを用いてソフトウェアアーキテクチャの設計を行う。さらに、設計したアーキテクチャを基にアプリケーションシステムを作成し、アーキテクチャの評価を行う。

実験結果から、BLE 測位と Wi-Fi 測位がコンテキストに応じて切り替わることが確認できた。また、単体測位と比べると幅広い範囲でより正確な測位結果が得られた。

## 2 屋内における測位技術に関する課題

現在、さまざまな屋内測位技術がある。いずれの技術も一つの測位方法のみでは、特定の条件以外では現在位置測位に支障をきたす可能性がある。また、複数の測位方法を組み合わせるハイブリッド測位が現在では研究されている。しかし、物理的障害物や一過性の環境変化がある状況下において再現性の高い AR ナビゲーションを行うために十分な精度が得られたソフトウェア基盤がまだ構築されていない。

### 2.1 各測位技術の概要

使用されている屋内測位技術として多くの技術が存在している。今回の研究ではソフトウェア基盤の構築を目的としているので、コストの高い専用機器を必要とせず、さまざまな状況下で利用できる測位技術を用いる。

#### 2.1.1 Wi-Fi 測位

Wi-Fi 測位 [2] は、無線 LAN のアクセスポイント (AP) から発信されるビーコン信号 (MAC アドレス, SSID, 電波強度) を受信して、電波強度により AP との距離を推定して測位を行う。

この測位方法の利点は、信号送信機が既設 AP も含め、多く使用されているので多くの場所で利用できる点である。一方、測位精度が数 m~数十 m と AP の設置環境に大きく左右される。

#### 2.1.2 BLE 測位

BLE(Bluetooth Low Energy) 測位 [3] は、BLE ビーコンタグから発信されるビーコン信号から発信されるビーコン信号 (UUID, Major, Minor, 電波強度) を受信して、電波強度に応じて測位をする。

この測位方法の利点は、デバイスの消費電力が抑えられる点である。一方、BLE ビーコンタグまでの距離が相対的な距離として把握できるだけであり、絶対的な距離の測定は基本的にはできない。

#### 2.1.3 画像処理を用いる測位

画像処理を用いる測位 [3] は、画像を撮影し実世界の風景画像から特徴点を抽出することで位置を計測する。その後、画像マッチング処理を行い、特徴点付きの画像から現在位置を計測する。

この測位方法の利点は、風景画像をカメラに写すだけで現在位置推定ができる点である。一方、特徴点を含む風景が障害物に邪魔されて見えなくなる。

#### 2.1.4 地磁気測位

地磁気測位は、あらかじめ屋内を歩行し地磁気センサのデータを蓄積する。その後、地磁気センサの出力値の時系列をパターンマッチすることで現在位置推定を行う。

この測位方法の利点は、磁気地図データは一度作成すればデータ更新の回数を抑えることができる点である。一方、絶対位置の推定が困難である。 [4].

#### 2.1.5 歩行者自律航法 (PDR: Pedestrian Dead Reckoning)

歩行者自律航法は、移動体に装着したセンサだけを用いて移動軌跡を推定する技術である。歩行者の歩行を認識するために加速度センサとジャイロスコープが用いられる。

この測位方法の利点は、スマートデバイスに内蔵されているセンサのみで位置推定を行うので、どんな状況でも位置推定ができる点である。一方、絶対位置の測位手法との組み合わせが前提となる [5].

## 2.2 ハイブリッド測位

### 2.2.1 Wi-Fi 測位と地磁気測位, PDR の組み合わせ

この組み合わせは, Wi-Fi 測位を中心に測位をし, Wi-Fi 測位ができない状況で地磁気測位を行うものである。

この組み合わせの利点は, Wi-Fi 測位による誤差を地磁気測位と PDR で修正することで精度を高められる点である。一方, 片方の精度が良くても, もう片方の精度が悪ければそれに大きく影響される [6]。

### 2.2.2 BLE 測位と PDR の組み合わせ

この組み合わせ [7] では, BLE 測位を主に利用する。位置測位に利用可能なビーコンが少ない場合は PDR に切り替えて現在位置を推定する。

この組み合わせの利点は, BLE 測位による誤差を PDR で修正することで精度を高めることが出来る点である。一方, PDR に切り替わった時に BLE 測位区間に入るまでの間は誤差の累積により, 徐々に精度が低下していく。

### 2.2.3 Wi-Fi 測位と PDR の組み合わせ

この組み合わせ [8] は, スマートデバイスが天井に設置した Wi-Fi ビーコンを検出した場合, 強制的に推定位置の座標をビーコンの設置場所にし, 各ビーコン間の軌跡を PDR で推定するものである。

この組み合わせの利点は, BLE 測位による誤差を PDR で修正することで精度を高めることが出来る点である。一方, PDR に切り替わった時に BLE 測位区間に入るまでの間は誤差の累積により, 徐々に精度が低下していく。

## 3 測位方法切り替えのためのソフトウェアアーキテクチャの設計

### 3.1 コンテキスト指向アーキテクチャの設計指針

我々は以下 2 つの設計指針を考慮して切り替えシステムをコンテキスト指向アーキテクチャとして設計する。

- 基準値からの誤差が小さいことを保証をする
- さまざまな屋内環境で機能する

物理的障害物や一過性の環境変化によってセンサの信号強度や磁場が変化することで精度の誤差が生じる。この要因をコンテキストとし, それに応じて測位方法を切り替えることで精度の誤差を小さくする。一つの測位方法だけ測位すると精度は一定ではなく, 測位を行う場所によって変化する。精度が変化する要因をコンテキストとすることで, 精度の低い測位方法から精度の高い測位方法に動的に切り替えることができる。

### 3.2 PBR パターン

江坂らは自己適応のためのアーキテクチャパターンとして, PBR(Policy-Based-Reconfiguration) パターンを定義している。PBR パターンの静的構造を図 1 に示す。

- context : プログラムの実行に影響を与える。コンテキストの値は動的に変化する

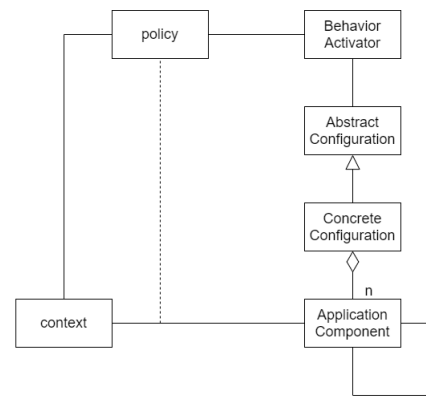


図 1 静的構造

- Policy : 再構成の振舞いを定義する。コンテキストの更新メッセージを横取りし Behavior Activator に再構成命令を送る。
- Behavior Activator : Policy に従って Concrete Configuration を再構成する。
- Concrete Configuration : Application Component の構成を表す。Behavior Activator によって作られる。

Application Component 間のメッセージを Policy が横取りし, context から情報を受け取る。その後, Behavior Activator を生成して Behavior Activator に再構成命令を送る。送られてきたメッセージを元に Concrete Configuration を再構成する。再構成したシステムを Application Component に実装する。最後に Application Component 間でやりとりをして, 最適な Application Component を決定する。

### 3.3 動的再構成のためのコンテキスト指向アーキテクチャ

PBR パターンの基本構造に基づき我々が提案する測位方法の切り替えを重ねあわせた静的構造と動的振舞いを図 2, 図 3 に示す。

測位方法切り替えポリシーが測位方法とナビゲーションシステムとユーザインタフェース間のメッセージを横取りし, 測位方法切り替え機に再構成命令を送る。再構成する条件を満たすか評価し, 測位方法切り替えシステムの構成を決定する。

次に各要素の振舞いを示す。

- コンテキスト : コンテキストの要素を周囲の磁場環境, Wi-Fi AP の電波強度と検知数, BLE ビーコンの電波強度と検知数, 周囲の風景画像とする。
- 測位方法切り替えポリシー : コンテキストによって測位方法の切り替えの振舞いを定義する。
- 測位方法切り替え機 : 測位方法の切り替えを行う。測位方法切り替え機の振舞いとして, 切り替えポリシーに応じて測位方法切り替えシステムを再構成する。
- 測位システム構成 : 測位方法の構成を表す。測位方法切り替え機によって作られる。

- ナビゲーションシステム：ナビゲーションを行うアプリケーション。
- ユーザインタフェース：使用者による動作。

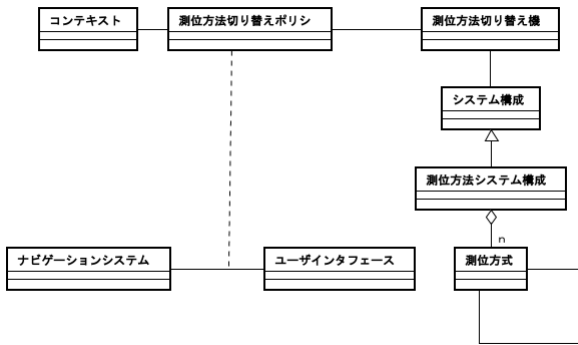


図 2 静的構造

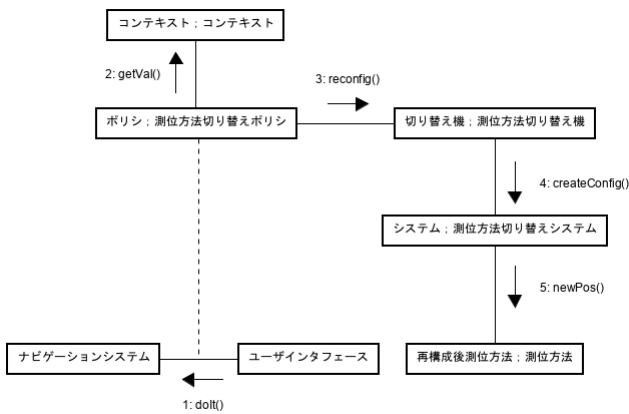


図 3 動的振舞い

また、再構成に利用するための測位方法の切り替えポリシーを表 1 に示す。表 1 の Wi-Fi 測位と PDR, BLE 測位と PDR のコンテキストに示している RSSI 値の値である -60dBm は、BUFFALO が示している経験則<sup>1</sup>に基づく値である。

表 1 測位方法の切り替えポリシー

コンテキスト	測位方法
RSSI 値が <sup>3</sup> -60dBm より大きいかつ Wi-Fi AP が 3 個以上あるとき	Wi-Fi 測位と PDR
RSSI 値が <sup>3</sup> -60dBm より大きいかつ BLE ビーコンが 3 個以上あるとき	BLE 測位と PDR
絶対位置が分かっている、絶対位置の分かる測位方法が使えない時	地磁気測位と PDR
認識できる風景画像があるとき	画像処理を用いた測位

<sup>1</sup>株式会社バッファロー，“無線環境が安定する RSSI 強度はどの程度ですか？”，<https://www.buffalo.jp/support/faq/detail/1838.html>，2020. (Accessed 2020. 09. 29)

## 4 プロトタイプシステムの妥当性の評価

### 4.1 評価方法

本研究では、我々が提案する測位方法の切り替えを PBR パターンに組み合わせた静的構造と動的振舞いに基づき測位方法切り替えプログラムを作成し、設計したアーキテクチャの妥当性を確認する。実験は南山大学 S 棟 2 階 S201 研究室で行う。使用する二つの測位方法の電波強度と接続数を比較し、動的に切り替えられることを確認する。

次に実験環境を図 4 に示す。

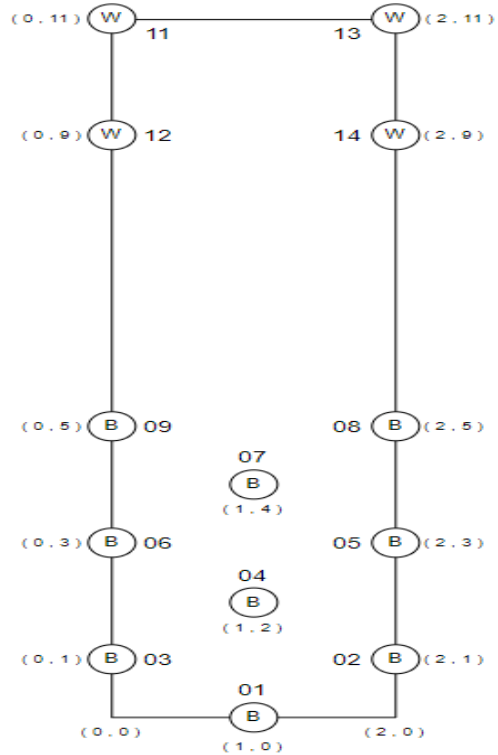


図 4 実験環境

### 4.2 評価結果

次に Wi-Fi 測位と BLE 測位を組み合わせた測位結果を表 2 に示す。

表 2 Wi-Fi 測位と BLE 測位を組み合わせた測位結果

計測時の座標	使用測位	算出した座標
( 1.00, 0.00 )	BLE	( 1.09, 1.16 )
( 1.00, 1.00 )	BLE	( 1.12, 1.99 )
( 1.00, 2.00 )	BLE	( 1.07, 2.35 )
( 1.00, 3.00 )	BLE	( 1.67, 2.62 )
( 1.00, 4.00 )	BLE	( 1.59, 2.58 )
( 1.00, 5.00 )	BLE/Wi-Fi	( 1.49, 3.75 )
( 1.00, 6.00 )	BLE/Wi-Fi	( 2.86, 5.29 )
( 1.00, 7.00 )	BLE/Wi-Fi	( -0.20, 3.18 )
( 1.00, 8.00 )	Wi-Fi	( 0.77, 8.46 )
( 1.00, 9.00 )	BLE/Wi-Fi	( 1.39, 5.48 )
( 1.00, 10.00 )	BLE/Wi-Fi	( -0.20, 6.94 )
( 1.00, 11.00 )	BLE/Wi-Fi	( 0.48, 8.31 )

本研究では、計測時の座標、使用測位、算出した座標を計測した。計測及び Wi-Fi 測位と BLE 測位を組み合わせた時の計測では、それぞれ 12ヶ所の計測地点で 10 回計測実験を行った。Wi-Fi 測位と BLE 測位の組み合わせでは、ある計測時の座標からコンテキストに応じて使用測位が BLE 測位と Wi-Fi 測位が動的に切り替わることが確認できた。

PBR パターンを用いた組み合わせの測位方法では全計測地点で計測することができた。また、X 座標の誤差は全ての計測時の座標において 2m 以下であり、1m 未満の誤差となった計測時の座標が 9ヶ所存在した。Y 座標の誤差は全て 4m 以下であり、1m 未満の誤差となった計測時の座標が 5ヶ所存在した。

## 5 考察

PBR パターンの動的な振舞いに応じて再構成をすることで、測位方法の切り替えを行った。これによって柔軟に対応するソフトウェア基盤の構築ができると考えた。他にも、GoF(Gang of Four)[9] の Strategy パターンと Mediator パターンが存在する。しかし、これらの手法では組み合わせの再構成ができないので PBR パターンを用いた。

検証実験より、コンテキストに応じて BLE 測位と Wi-Fi 測位が動的に切り替わることが確認できた。しかし、ビーコンやアクセスポイントの数や配置のバランスが悪いと三点測位が行うことが難しくなり、誤差が大きくなった。このことからより多くのビーコンやアクセスポイントをバランスよく配置することで三点測位が行いやすい区域が広がり、算出した座標の値が正確になると考える。

本研究の拡張性としてより多くの測位方法を組み合わせることでさまざまな状況に対応した測位を行うことができると考えられる。また、ただ測位方法を組み合わせるのではなく、切り替えポリシ内のコンテキストを細分化する必要がある。細分化することでより細かな状況変化に対応でき、どの測位方法が状況に適しているか動的に切り替えることができるためである。

また、保守性として本研究では測位方法を切り替える上で切り替え後の測位が切り替え前の測位より正確である保証についてまで研究できていない。しかし、今後の課題として測位方法を切り替える上で切り替え後の測位が切り替え前の測位より正確である保証をするために、切り替える測位方法に応じて共通の比較対象となるものを確立する必要があると考えている。

## 6 おわりに

現在の屋内測位方式の課題点は、物理的障害物や一過性の環境変化がある状況下において再現性の高いナビゲーションを行うために十分な精度が得られたソフトウェア基盤が構築されていない点である。

本研究では多くの条件下で誤差を小さくする屋内測位システムを開発するためのソフトウェア基盤の構築を目的として研究を行った。PBR パターンを用いて動的な振舞いに応じて再構成をすることで、測位方法の切り替えを行った。検証実験をすることにより設計したアーキテ

クチャの妥当性の確認を行った。

実験結果より、使用測位は BLE 測位から使用測位が Wi-Fi 測位に切り替わることが確認できた。また、単体測位と比べると幅広い範囲でより正確な測位結果が得られた。それぞれの検知数が 3 個以上の場合、最も距離が近い各 3 つの検知しているビーコンやアクセスポイントと受信端末の距離の合計値が低い方を優先する。このことからコンテキストに応じて BLE 測位と Wi-Fi 測位の切り替えを行うことができた。

今後の課題は、より柔軟で高い精度を実現するために、測位方法の切り替えポリシ内のコンテキスト情報をより細分化する必要があると考える。また、より多くのビーコンやアクセスポイントをバランスよく配置することで三点測位が行いやすい区域が広がり、算出した座標の値が正確になるので、検証実験をする際はビーコンやアクセスポイントの数と配置のバランスを考慮する必要があると考える。

## 参考文献

- [1] 江坂篤侍, 野呂昌満, 沢田篤史, “インタラクティブシステムのための共通アーキテクチャの設計”, コンピュータソフトウェア, Vol. 35, No. 4, pp. 3-15, 2018.
- [2] 西尾信彦, “図解よくわかる 屋内測位と位置情報”, 日刊工業新聞社, 2018.
- [3] 中尾浩一, “屋内測位技術の動向について”, OGI Technical Reports, Vol. 22, pp. 47-52, 2014.
- [4] 波多野健太, “地磁気による屋内測位システム”, 中央大学大学院研究年報編集委員会, 2015.
- [5] 遠藤巖, 藤田悟, “複数のセンサを組み合わせた屋内歩行者位置推定”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム, pp. 188-195, 2013.
- [6] 東和樹, 新井イスマイル, “相互補完型 Wi-Fi・地磁気フィンガープリント手法の開発”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2016-DPS-166, 2016-CSES-72, No. 27, 2016.
- [7] 堀川三好, 古舘達也, 工藤大希, 岡本東, “BLE 位置測位および PDR を用いたハイブリッド型屋内位置測位手法の提案”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-MBL-76, 2015-CDS-14, No. 13, 2015.
- [8] 沢田健介, 花田雄一, 森信一郎, “Wi-Fi ビーコンと歩行者自立航法を使用する屋内歩行者測位技術”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2014-MBL-73, 2014-ITS-59, No. 27, 2014.
- [9] Eric Gamma, Richard Helm, Ralph E. Johnson, John Vlissides, “Design Patterns. Elements of Reusable Object-Oriented Software”, Addison-Welley, 1994.