

# 屋内位置情報補正のための ソフトウェアアーキテクチャに関する研究

2015SE060 岡本峻佑 2015SE068 下村拓馬 2015SE094 山本一希

指導教員：野呂昌満

## 1 はじめに

近年，一般に普及したスマートデバイス上で，測位システムは GPS や Wi-Fi などの多様な測位技術を組み合わせて実現されている．屋外では GPS を用いた衛星による測位が主流であるが，屋内では Wi-Fi，Bluetooth，Near Field Communication(以下，NFC) などのセンサを利用して測位を行なっている．現在，高精度の位置情報の取得を目的として，複数のセンサの組み合わせや利用するセンサの切り替えを行なう屋内測位の方法が研究されている．

利用するセンサの数が増えるにつれ消費される電力が大きくなり，ソフトウェアの構造は複雑になる．複雑化の原因は複数の測位技術を組み合わせたさいのソフトウェアの構造やセンサの切り替えの方法が定義されておらず，ソフトウェア設計の規範が明確でないことである．

本研究の目的は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の構造を定義することである．測位技術のプロトコルや利用方法は既定のものであるので，それを変更することは一般的に可能ではない．さらに測位システムのソフトウェアの構造を簡便にするためには，それぞれ独立に定義された測位技術を統一的に取扱うアーキテクチャを定義する必要がある．

移動体上に実現された測位システムのソフトウェアはリアクティブな構造であり，外部環境の変化に応じて柔軟に対応する必要があるためコンテキスト指向によって実現する．本研究では江坂ら [1] が提案した PBR パターンを適用し，コンテキストに応じた各センサの切り替えを行なうコンテキスト指向アーキテクチャを設計する．設計したアーキテクチャに基づいたプログラムの試作によりコンテキストに応じて動的にセンサの切り替えを行なうことを示し，関連研究との比較を行ない，アーキテクチャの妥当性を確認する．

## 2 背景技術

既存の測位技術について説明し，アーキテクチャ設計のさいに用いるソフトウェアアーキテクチャパターンについて述べる．

### 2.1 GPS 測位 [5]

全地球測位システム (Global Positioning System ,GPS) 人口衛星からの信号を利用した測位である．誤差が数 m ~ 100m 以上であり，認識距離が人口衛星からの信号に依存するので，都市部や地下などの電波を遮る障害物がある場所では利用が難しく，信号強度が弱くなる．Wi-Fi，

Bluetooth，NFC，PDR などのセンサよりも電力消費が大きい．

### 2.2 屋内測位システム [3]

屋内測位システム (Indoor Positioning System，IPS) は，GPS などの電波が受信できない場所においても利用可能である．屋内や地下において，人やオブジェクトの位置を測位するためのシステムの総称である．

- Wi-Fi  
複数の無線 LAN アクセスポイントの信号強度利用した測位技術である．誤差が数 m ~ 数十 m であり，認識距離が最大 100m 程度である．アクセスポイントが密集している場所でない場合と信号強度が弱くなり精度が悪くなる．
- Bluetooth  
Bluetooth を使った発信装置からの信号を利用した測位技術である．誤差が 1m ~ 数 m であり，認識距離が最大 50m 程度である．精度が高く消費電力は少ないが，電波の干渉や反射の影響を受けて信号強度が弱くなる場合がある．
- NFC  
IC タグの情報利用した測位技術である．誤差が 1cm ~ 10cm であり，認識距離が最大 10cm 程度である．高精度な位置情報の取得が可能であるが，カードリーダーの設置場所しか測位ができないので連続的な測位が困難である．
- PDR  
歩行者自律航法 (Pedestrian Dead-Reckoning，PDR) 加速度，ジャイロ，地磁気などのセンサを利用した測位技術である．誤差が 1m ~ 数 m であり，認識距離が機器に搭載されている各センサの精度に依存する．PDR 単体では絶対位置を推定することはできず，他の測位技術と組み合わせて精度を高めている．

### 2.3 PBR パターン [1]

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と動的振舞いを図 1，図 2 に示す．

- Policy・・・再構成の振舞いを定義する．Policy の振舞いとして，コンポーネント間のメッセージを横取りし Configuration Builder に再構成命令を送る．再構

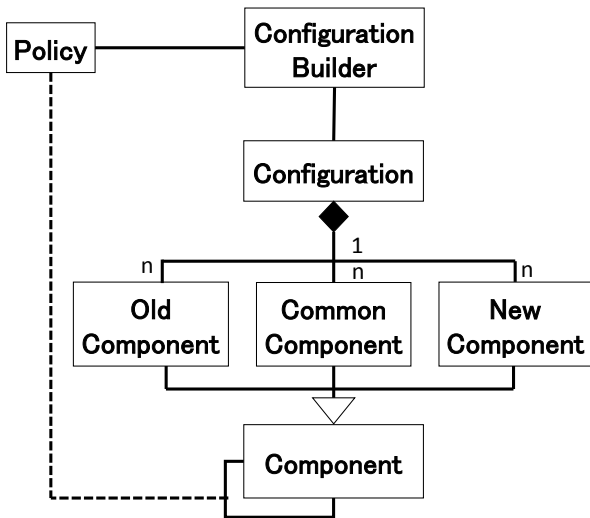


図 1 静的構造

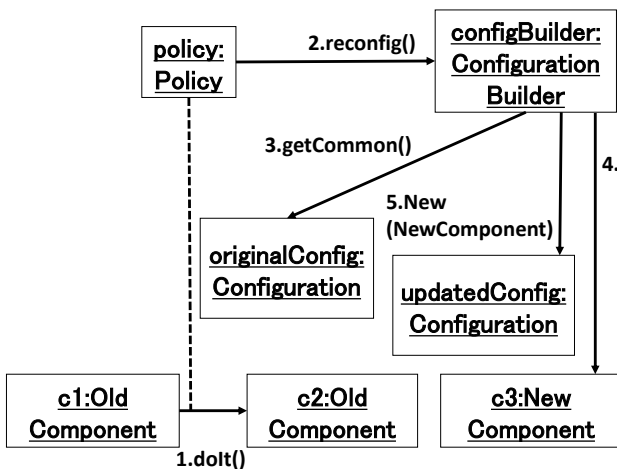


図 2 動的振舞い

成する条件を満たすか評価し、Configuration の構成を決定する。再構成のを独立して定義することで保守性を保証することができる。

- Configuration Builder・・・Component の生成を行なう。Configuration Builder の振舞いとして、New Component を生成し、Updated Configuration を構築する。Policy に従って Configuration を再構成する。

Component は次の 3 つからなる。

- Old Component・・・再構成前の Component。
- Common Component・・・再構成前と再構成後の共通の Component。
- New Component・・・再構成後の Component。Configuration Builder によって生成される。

- Original Configuration・・・再構成前の Configuration。Old Component と Common Component から構成される。
- Updated Configuration・・・再構成後の Configuration。Configuration Builder によって構築され、New Component と Common Component から構成される。

Policy がコンポーネント間のメッセージを横取りし、Configuration Builder を起動する。Configuration Builder は Policy に従い New Component を生成することで Configuration を再構成する。

### 3 アーキテクチャ設計

#### 3.1 設計指針

我々は以下 2 つを考慮してコンテキスト指向アーキテクチャとして設計する。

- 安定した精度の保証
- 省電力

精度が変化する要因をコンテキストとし、それに応じてセンサを切り替えることで測位の精度を保証する。測位を行なうにあたってセンサの精度は重要であるが、センサの精度は一定ではなく、測位を行なう場所によって変化する。我々は精度が変化する要因をコンテキストとすることで、精度の悪いセンサから精度の良いセンサに動的に切り替えることができると考える。

消費電力を抑えるために、測位に必要なないセンサを停止する。必要なセンサのみを利用することで、多数のセンサの同時利用を抑え、省電力を図る。

PBR パターンを適用することでセンサの切り替えに関する処理を独立して定義し、測位システムの保守性と拡張性を保証する。保守性としてセンサの切り替えに関する処理の変更を容易にする。拡張性として測位に利用するセンサの追加を容易にする。

コンテキストによって変化する差分を部品として定義する。測位に利用するセンサの数が増えると、その組み合わせの数は膨大になってしまう。我々はコンテキストによって変化する部品のみを再構成の対象にすることで、この問題を解決する。

測位に利用する各センサの再構成を統一的な構造で設計する。これにより屋内測位システムのソフトウェアの構造は簡便になる。

#### 3.2 センサの動的再構成のためのコンテキスト指向アーキテクチャ

センサの精度は信号強度によって変化するのので、コンテキストを各センサの信号強度とする。これにより、センサの信号強度に応じた特定の測位技術の動的な再構成が可能となる。

信号強度に応じたセンサの切り替えに関する振舞いを位置補正ポリシーとして定義する。信号強度を評価し、信号強度が強いセンサのみを測位に利用し、信号強度が弱いセンサを利用しないようにする。再構成の手順として、位置補正ポリシーは再構成命令を位置補正振舞い活性機に送る。位置補正振舞い活性機はポリシーに従って対応するセンサの活性化を行ない、位置情報サブシステムを再構成する。

位置情報サブシステムはセンサの制御を行なう位置と1つ以上のセンサの組み合わせから構成される。構成方法、測位方法、センサ機器の制御方法をそれぞれ部品として定義することで多様な組み合わせの再構成の記述を容易にする。再構成の対象は信号強度の弱いセンサのみであり、これを切り替えることで位置と測位に利用するセンサの組み合わせを変更する。

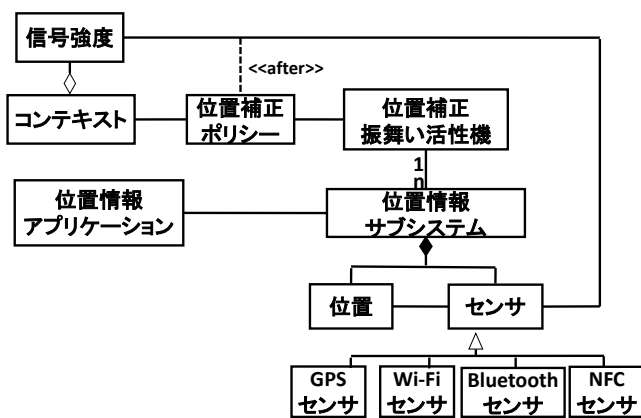


図3 静的構造

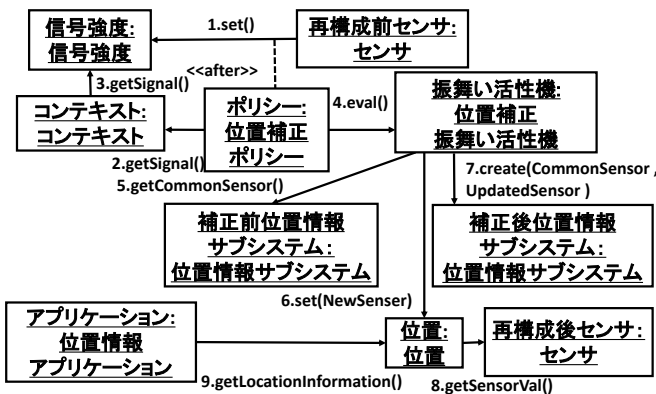


図4 動的振舞い

- コンテキスト・・・センサの信号強度。コンテキストは信号強度として信号値を保持する。
- 位置補正ポリシー・・・信号強度に基づいたセンサの切り替えに関する振舞いを定義する。コンテキストの変更メッセージを横取りし位置補正振舞い活性機に再構成命令を送る。信号値を評価し、位置情報サブシステムの構成を決定する。

- 位置補正振舞い活性機・・・センサの活性化を行なう。位置補正ポリシーに応じて位置情報サブシステムを再構成する。
- センサ・・・位置情報や信号強度を取得する。サブクラスとしてGPSセンサ, Wi-Fiセンサ, Bluetoothセンサ, NFCセンサなどがある。
- 位置・・・センサの制御を行ない、センサから位置情報を取得する。
- 位置情報サブシステム・・・位置とセンサから成る構造(Configuration)。利用するセンサの組み合わせによって構造が定義される。
- 位置情報アプリケーション・・・位置情報を利用するアプリケーション。

振舞いとして、利用しているセンサの信号強度が変化したさいに、位置補正ポリシーが信号強度更新メッセージを横取りする。位置補正ポリシーはセンサの信号強度が弱い場合に位置補正振舞い活性機に再構成メッセージを送る。位置補正振舞い活性機は位置補正ポリシーに従ってセンサを活性化し、位置情報サブシステムを再構成する。位置は再構成後のセンサからセンサ値を取得し、位置情報を得る。

## 4 考察

### 4.1 アーキテクチャに基づく実現

設計したアーキテクチャに基づいて試作を行なった。本研究の目的である動的なセンサの切り替えと保守性・拡張性の保証の確認を行なうために、以下の観点から考察する。

- コンテキストに応じたセンサの切り替え
- 利用するセンサの追加
- ポリシーの変更

我々は構成要素の生成手続きを局所化するべきと考え、Configurationの構築とその構成要素の生成を分離化するBuilderパターンを適用した。提案した測位システムでは、位置情報サブシステムと位置とセンサからなる構成は変化せず、測位に用いられるセンサのみが再構成される。再構成において、位置情報サブシステムを構築する手順は共通であり、その構成要素である位置とセンサの組み合わせを変更するだけで実現できた。

各センサを多相型で実現することでそれぞれのセンサを統一的に扱い、利用するセンサの追加が容易である。各センサの抽象クラスを定義し、それを継承することでセンサを容易に追加することができた。

Policyクラスを定義し、ポリシーを独立して記述したことで、ポリシーの変更が容易である。再構成の振舞いの変更は、Policyクラスの変更のみで可能である。

コンテキストによって変化するコンポーネントを部品化したことで、再構成の記述は容易になる。測位に利用するセンサの組み合わせ方を全て定義すると、その数は膨大に

なる．位置情報サブシステムを定義することで，少ない部品から多様なセンサの組み合わせ方に対応することができる．

## 4.2 関連研究との比較

消費電力に関して，武田ら [2] は測位に利用しないセンサを常時利用している．武田らは屋内での GPS による測位の再開が多発し，消費電力が大きくなる問題がある．

我々は測位に必要なセンサを切り替え，測位に必要なセンサのみを利用することで省電力において優れていると考える．利用しているセンサの信号強度が強い場合，その他のセンサの利用を制限することで複数のセンサを同時に利用しない方法を提案した．これにより，屋内での GPS センサの信号強度が短時間強くなる場合でも，GPS センサの利用を防ぐことが可能であると考えた．

精度に関して，屋内では武田らは加速度センサを利用している．一方，加速度センサでは絶対位置の取得が不可能である．

我々はつねに信号強度が強いセンサを利用し，絶対位置を取得することで武田らよりも高い精度を確保できると考える．加速度センサは相対位置の取得を行なうが，相対位置のみでは精度が不十分であるので，絶対位置の取得が必要である．信号強度が高いセンサを利用することで，つねに高精度な絶対位置の取得が可能であると考えた．

我々の今回の例では，複数の信号が受信できる状況を想定しており，外部環境に依存して消費電力は大きくなり，精度が低下する問題がある．GPS センサや Wi-Fi センサなどの信号強度が弱い場合すべてのセンサを利用して位置情報補正を行なっている．信号強度が弱いセンサを複数利用したとしても精度を確保することは困難であるので，外部環境に依存しないセンサの追加を行なう必要がある．

米田ら [4] は気圧センサを利用して，GPS と屋内測位システムを切り替える方法を提案している．気圧センサをつねに利用し，その他のセンサと同時利用している．一方で，気圧センサの利用を考慮した測位システムのアーキテクチャを定義していない．

我々が提案したアーキテクチャを用いれば，ポリシーの変更とセンサの追加が容易なので，関連研究の方式を実現することが可能である．我々はポリシーを利用しているセンサの信号強度に応じてセンサの切り替えを行なうと定義した．ポリシーを加速度センサと GPS センサの信号強度に応じて GPS による測位の間隔を切り替えると定義することで，武田らの方式を実現できる．一方，ポリシーを気圧センサによる階層推定に応じてセンサの切り替えを行なうと定義することで，米田らの方式を実現できる．前述のようにポリシーを書き換え，利用するセンサを追加することで，関連研究の方式を実現することが可能である．したがって，測位システムのアーキテクチャの一般形として位置づけられる．

## 5 おわりに

本研究では，多様な測位技術を組み合わせたさいのソフトウェア構造の複雑化と消費電力を課題とし，独立に定義された測位技術を統一的に取扱うためのアーキテクチャを定義した．設計したアーキテクチャをもとにプログラムコードを試作し，アーキテクチャの妥当性の確認を行なった．本研究で提案された方法によって省電力化を行ない，関連研究と遜色ない精度を確保できる．省電力化の方法として，利用しているセンサの信号強度が強い場合にその他のセンサを切ることで，複数のセンサの同時利用を制限する．精度に関して，つねに信号強度が強いセンサを利用することで，高精度な測位が可能となる．本研究では測位システムにおいて，ポリシーの変更とセンサの追加が容易なアーキテクチャを定義した．これにより，前述したように関連研究の方式を実現することが可能であり，測位システムの一般形として扱うことができる．今後の課題として，ユーザの状況やハードウェアの状態に対応するために，非機能特性を考慮する必要があると考える．非機能特性として耐故障性と実時間性について考慮する．耐故障性としてハードウェアの故障状態に応じて利用するセンサを制限し，実時間性としてタイマーの計測時間に応じて利用するセンサを制限する．非機能特性を考慮することで測位システムのアーキテクチャの洗練を行なう．さらに，我々はポリシーの詳細な内容の設計を行なっていない．複数のセンサと振舞いの組み合わせを考慮すると切り替えに関する条件の記述は膨大で複雑になる．ポリシーの保守性を保証するためには，ポリシーを多相型で定義し，切り替えの条件を独立に記述する必要がある．これによりポリシー記述を分割して整理することができる．

## 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(2018), pp. 3-15.
- [2] 武田恭典, 安積卓也, 西尾信彦: 端末ローカル情報のみで実現する GPS センシング省電力機構, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム, 2010, pp. 1467-1475.
- [3] 中尾浩一: 屋内測位技術の動向について, *OGI Technical Reports*, Vol. 22, 2014, pp. 47-52.
- [4] 米田圭佑, 望月裕洋, 西尾信彦: 気圧センシング技術を用いた行動認識手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 56, No. 1(2015), pp. 260-272.
- [5] 暦本純一, 塩野崎敦, 末吉隆彦, 味八木崇: PlaceEngine: 実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤, インターネットコンファレンス, 2006, pp. 95-104.