

状況に応じて測位方法の切り換えを行う ソフトウェアアーキテクチャの提案

M2021SE010 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サービスといった測位技術を用いるサービスが容易に利用できるようになった。屋外では、GPS を利用した衛星測位がナビゲーションに必要な精度を得られている。屋内では衛星測位が有効に機能しないので Wi-Fi や Bluetooth などの無線技術を用いた屋内測位方法が研究されている。

現在、さまざまな屋内測位技術があるが、いずれの技術も一種類の測位技術では測位技術を用いるサービスに要求される精度を得られない。複数の測位技術を組み合わせた融合型測位方法があるが、状況に応じて一種類の測位技術よりも低精度になる場合がある。

本研究の目的は、測位方法を柔軟に切り換えることのできるアプリケーション基盤の提供である。これにより、屋内測位を行う際に、様々な測位方法の中からより高精度の測位方法を利用することができるようになる。

この目的を達成するために、本研究では、センサフュージョンのアーキテクチャにコンテキスト指向を適用したアーキテクチャを提案する。複数の測位方法を組み合わせることは、異なる測位方法で得られる情報を組み合わせることを意味するのでセンサフュージョンと同等である。上述した理由より、本研究で提案するアーキテクチャにはセンサフュージョンのアーキテクチャを改変して用いることとする。一方で、測位技術は測位するときの状況に応じて精度が変化するので状況に応じた測位方法の切り換えが求められる。このことから測位を行う時の状況をコンテキストとしたコンテキスト指向を適用する。

本研究では、一般的なアーキテクチャ設計のプロセスとして OASIS のアーキテクチャ定義 [1] に基づいて設計を行う。センサフュージョンの参照アーキテクチャとしてデータ融合モデルの一つである JDL モデル [2] を用いる。コンテキストに応じた動的な再構成を実現可能とするために、JDL モデルに自己適応のアーキテクチャパターンである PBR パターン [3] を適用する。

アーキテクチャの妥当性を確認するために、本研究では提案するアーキテクチャに従って作成した Wi-Fi と BLE を利用した測位方法を柔軟に切り換えるプロトタイプシステムを用いた評価実験を行う。評価実験は、Wi-Fi が検知しやすい区域と BLE が検知しやすい区域、Wi-Fi と BLE が検知しやすい区域を設定して、プロトタイプシステムがそれぞれの区域で有利な測位方法に切り換え可能かを確認する。評価実験より、プロトタイプシステムは各単体の測位方法より正確で精密な測位となり、提案アーキテクチャの妥当性の確認ができた。

2 屋内測位技術とその課題

現在、様々な種類の屋内測位技術がある。屋外では GPS を代表とした測位技術が存在し、測位技術を用いるサービスに要求される十分な精度を得ることができる。一方で、屋内では GPS の利用が困難なので、代わりとなる Wi-Fi や Bluetooth といった無線技術を用いる測位技術がある。屋内での測位方法は複雑な電磁環境や屋内環境の変化によりどの測位方法を用いても安定した測位を行うことが困難である。

一種類での測位方法の課題を解決するために、複数の測位方法を組み合わせた融合型測位方法の研究がされている。複数の測位方法を組み合わせたことにより、対応できる状況が増え、一種類の測位方法が低精度の場合でも他の測位方法で補うことが可能になる。一方で、複数の測位方法を組み合わせることで測位を行うのに複雑さが増すので、設計や実装が困難となる。

既存の融合型測位方法はソース、アルゴリズム、重み計算の3つの機能に分けることができる [4]。ソースでは測位方法に利用する融合する情報を示し、アルゴリズムは測位結果を得るものであり、重み計算は全ての測位結果より推計測位結果を算出する。

3 本研究の目的と技術課題

本研究では2章で述べた屋内測位を行う時の課題を解決するために、測位方法を柔軟に切り換えることが可能なソフトウェアアーキテクチャの構築を目的とする。この目的を達成することで、多くの場面で安定した測位を可能とするアプリケーション基盤を提供することが可能になる。これにより、状況に応じてより高精度な測位方法へ切り換えて利用するアプリケーションを容易に構築することが可能となる。結果として、より多くの場面に対応可能なアプリケーションの構築が可能になる。また、個々の場面において処理が過度に複雑にならないような組み合わせの測位方法の利用が可能になる。

上述の目的を達成するために、本研究では次の2つの技術課題を設定する。

1. 複数の測位方法を組み合わせ、状況に応じた測位方法の切り換えが可能なアーキテクチャの定義。
2. 定義したアーキテクチャの妥当性の確認。

現在位置測位を行う際、単体での測位方法より複数の測位方法を組み合わせた測位方法の方が精度は安定する傾向にある。複数の測位方法を組み合わせた測位方法は単体の測位方法での固有の欠点を他の測位方法で補っているからである。一方で、現在の状況にとって適切でない組み合わせ方をすることで、精度が安定しない測位方法に影響されて、単体の測位方法より低精度になってし

まう場合がある。

本研究では、多くの場面で安定して高精度な測位結果を得られる、すなわち柔軟性を持つアプリケーションを容易に構築することのできるアーキテクチャを定義する。つまり、1つ目の技術課題では、柔軟性という非機能特性を担保するという問題をソフトウェアの構造定義の問題と捉えている。

2つ目の技術課題では、定義した提案アーキテクチャに基づいて、測位方法に関する柔軟性を持ったアプリケーションを容易に構築できることを確認する。これにより、提案手法が屋内測位を用いるアプリケーションの構築基盤として妥当であることを示す。

4 測位方法の切り換えを行うアーキテクチャの設計

4.1 アーキテクチャ設計の方針

本研究では、アーキテクチャを OASIS[1] のプロセスに基づいて設計する。これは、アーキテクチャの定義に一般的に用いられており、実用的にも実績のある方法であるからである。

第3章で述べたように、本研究では、複数の測位方法やその組み合わせを状況に応じて柔軟に切り換えることのできるアーキテクチャを定義することを1つ目の技術課題としている。さらに、定義したアーキテクチャの妥当性を確認することを2つ目の技術課題としている。これらを解決するために、センサフュージョンのアーキテクチャにコンテキスト指向を適用させるアプローチを採用する。

複数の測位方法を組み合わせることは、各測位方法において利用するセンサから取得した測定値を融合させることである。これによって種類の測位方法で算出する測位結果より高精度な測位結果を得ることができる。このことは、異なるセンサからの情報を組み合わせることによって、より正確な情報を得ることを目的とするセンサフュージョンと本質的には同等である。したがって、抽象度の最も高い参照アーキテクチャの定義では、センサフュージョンのための参照アーキテクチャを参照することで行う。本研究では、よく利用されている情報融合モデルの一つである JDL モデルを参考に、参照アーキテクチャを設計する。JDL モデルは情報融合の処理である5つのデータ処理レベルとデータベースで構成されたものである。

屋内測位では、測定値や測定者の現在位置によって精度が変動する。したがって、測位を行う時の状況によって測位方法を切り換えることが可能であることが望ましい。測位方法が利用している測定値や測定者の現在位置といった測位を行う時の状況をコンテキストとし、コンテキスト指向の概念を導入することで、この要望に応える。

4.2 屋内測位方法切り換えのための参照アーキテクチャ

図1に測位技術のための参照アーキテクチャを示す。これは JDL モデルのデータ融合プロセスである各レベルとデータベースをそれぞれクラスとして再構成したものに自己適応のためのアーキテクチャパターンである PBR

パターンを適用して定義した。JDL モデルのレベル4ではデータ融合を行った後に各レベルの保持しているデータを取得し、そのデータから次のデータ融合の時に利用する組み合わせを決定し、レベル3から各レベルの変更を行っている。このことから、状況に応じた測位方法の切り換えは、レベル4において行うことがふさわしいと考え、ここに PBR パターンを適用した。具体的には、レベル4に、コンテキストと融合方法切り換えポリシー、融合方法切り換え機を導入し、コンテキストとそれぞれに対応するポリシーに基づく切り換えを可能としている。以下、アーキテクチャに定義した各コンポーネントの役割について説明する。

センサ/アクチュエータ評価機は、測定対象に対応するオブジェクトがデバイスから取得したのデータを適切な形式や単位に変換を行う。

オブジェクト評価機は、測定対象に対するオブジェクトが取得した複数のデータを基準座標系や単位への変換や相関手法を使用してデータを関連付け、オブジェクトの位置を追跡、オブジェクトの識別を行う。

状況評価機は、測定対象に対する各オブジェクトが観測した情報を組み合わせることで状況を推定する。

行動/影響評価機は、現在の状況や将来の状況を予測することで、測定対象の行動や行動によってもたらす影響を推定する。

システムインタフェースは、アプリケーションがシステムを利用するときに情報の受け渡しを行う。

融合方法切り換えポリシーは、行動/影響評価機とシステムインタフェース間のメッセージを横取りし、コンテキストに応じて融合方法切り換え機に切り換えメッセージを送る。

融合方法切り換え機は、融合方法切り換えポリシーから送られてきた情報を基に行動/影響評価機と状況評価機、オブジェクト評価機、センサ/アクチュエータ評価機の切り換えを実行する。

コンテキストは、行動/影響評価機と状況評価機、オブジェクト評価機、センサ/アクチュエータ評価機、融合支援データベースから切り換えの決定を決めるデータとどのように切り換えるかを決定するデータを保持する。

融合支援データベースは、融合プロセスで使用される情報をモニタリングや評価、情報提供を行う。

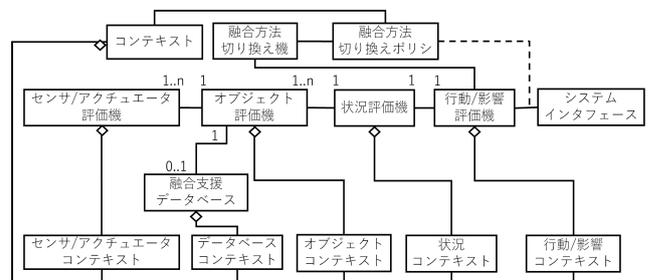


図1 屋内測位方法切り換えのための参照アーキテクチャ

4.3 屋内測位方法切り換えのための抽象アーキテクチャ

融合型測位方法は、ソースとアルゴリズム、重み計算の3つの機能に分けることができる。本研究は、3つの機能を状況に応じて切り換えることで精度の向上を実現させる。機能であるソース、アルゴリズム、重み計算は図1のセンサ/アクチュエータ、オブジェクト、行動/影響に相当する。

これらのことから、図1の参照アーキテクチャを屋内測位のドメインに特化した抽象アーキテクチャを定義すると図2のようになる。利用者コンテキストには、システムから取得できない利用者や端末の情報を保持する。

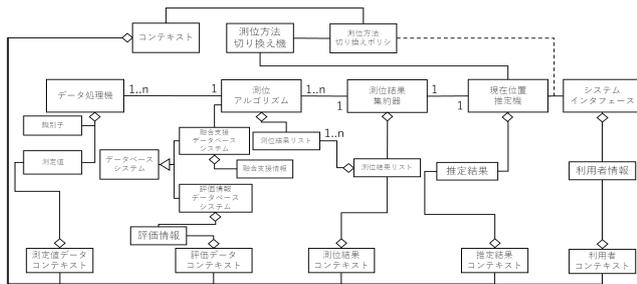


図2 屋内測位方法切り換えのための抽象アーキテクチャ

4.4 屋内測位方法切り換えのための具象アーキテクチャ

抽象アーキテクチャから、アプリケーションで実際に利用しようとしている測位方法の組み合わせに特化することで具象アーキテクチャを定義する。スマートデバイス上のアプリケーションを構築することを想定した場合の具象アーキテクチャは、図3のようになる。

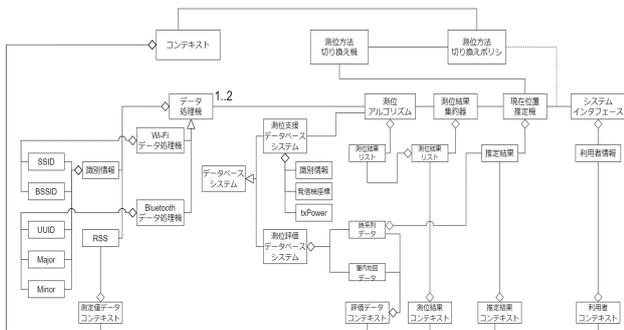


図3 プロトタイプシステムに利用するアーキテクチャ

5 プロトタイプシステムによる妥当性の評価

5.1 評価方法

提案するアーキテクチャの妥当性を確認するために、図3の具象アーキテクチャに従って作成したプロトタイプシステムを作成して、評価実験を行う。評価実験は、実験場所をWi-Fiが検知しやすい区域とBLEが検知しやすい区域、Wi-FiとBLEが検知しやすい区域に分けて行った。各区域において、各測位方法がポリシーに基づいて切り換わることを確認する。

図4に示すように、区間ごとに各無線発信機が発信する無線の種類を変えることで、Wi-Fiが検知しやすい区域とBLEが検知しやすい区域、Wi-FiとBLEが検知しやすい区域を設定する。図中の()内の数字は、図の左下にある原点(0.00, 0.00)からの相対座標(単位m)を表し、WとBはそれぞれ、Wi-FiかBLEを発信する無線発信機の設置した位置を示す。各無線を受信する端末を持った測定者が1mごとに移動し、各測定場所で10回計測を行い、算出した測位座標、誤差(距離)、使用測位方法を確認することで柔軟な切り換えが可能かを確認する。

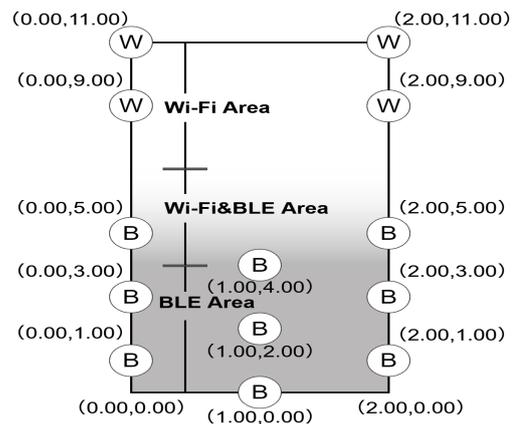


図4 実験環境

5.2 評価結果

図5は、図4の実験環境においてWi-Fi測位とBLE測位を組み合わせた測位結果を示したものである。図5は、各区域で算出した測位結果の測位成功率と計測座標からの平均誤差、平均誤差の標準偏差の値を表している。

Wi-Fi測位とBLE測位の組み合わせの測位結果はWi-Fiが検知しやすい区域とBLEが検知しやすい区域ではそれぞれ有利となる測位方法の切り換えを確認できた。Wi-FiとBLEが検知しやすい区域では、Wi-Fi測位の測位結果の平均誤差と計測地点からの誤差の標準偏差は5.55m, 6.07であった。BLE測位の測位結果の平均誤差と計測地点からの誤差の標準偏差は3.18m, 0.88であった。Wi-Fi測位とBLE測位の組み合わせの測位結果の測位結果の平均誤差と計測地点からの誤差の標準偏差は2.77m, 1.22であった。これより、提案アーキテクチャで設計された測位方法は各単体の測位方法より正確さと精密さの向上が確認できた。

6 考察

本研究では、アーキテクチャ設計にデータ融合モデルの一つであるJDLモデル[2]を採用した。測位方法のアーキテクチャ設計に利用できるものとしてIoTの階層アーキテクチャがある。JDLモデルは各レベルのプロセスが上位のプロセスから入力され、出力を返すと解釈をするとIoTの階層アーキテクチャと類似する。提案アーキテクチャも同様に解釈するとIoTの階層アーキテクチャと類似する。よって、JDLモデルと提案アーキテクチャ

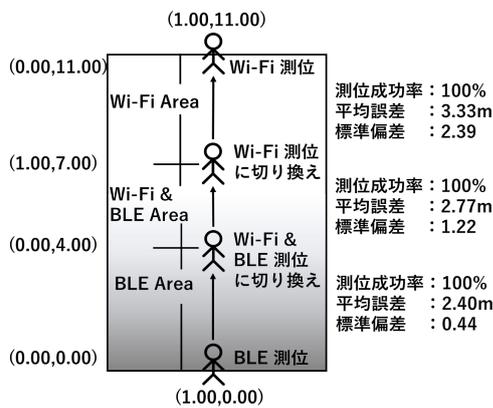


図 5 Wi-Fi 測位と BLE 測位を組み合わせた測位結果

は現在利用されている IoT アーキテクチャと同様の構造であるとみなすことができ、IoT アプリケーションの基盤としても有効と考えることができる。

本研究では、コンテキスト指向を適用するために自己適応のためのアーキテクチャパターンである PBR パターン [3] を採用することで動的な振る舞いに応じた再構成を行える構造を定義した。PBR パターンの代替手段として、GoF (Fang of Four)[5] のデザインパターンである Strategy パターンと Mediator パターンが存在する。Strategy パターンと Mediator パターンを組み合わせた方法では切り換え対象となる測位方法は多相型として、切り換えるポリシーはメディエータの論理としてそれぞれ固定的に記述されることになる。本研究の提案アーキテクチャは PBR パターンを適用しているのでポリシーと再構成の論理をそれぞれ独立して変更可能であり、特に複数の測位方法を組み合わせた場合はその要素となる単体の測位方法も動的再構成の対象とできる。この点でより柔軟性を重視した設計であるといえる。

評価実験より、提案アーキテクチャより作成されたプロトタイプシステムはそれぞれの区域で有利な測位方法となる切り換え可能であることを確認した。このことより、測位方法を追加しても、提案アーキテクチャは状況に応じた機能の切り換えが可能であると考えられる。一方で、Wi-Fi が検知しやすい区域のときに Wi-Fi と BLE を組み合わせた測位で測位することで Wi-Fi 単体の測位方法での測位より測位の正確さと精密さがともに低下し、妥当な結果ではない時があった。その原因は、取得した Wi-Fi の RSS がポリシー内容の -60dbm より大きい無線発信機が 4 つ以上ではなかったからであると考えている。この問題については、測位結果の時系列データを参照し、その時々でどの測位方法が適しているかを評価する記述をポリシーに追加することで解決が見込める。この対策案からも分かるように、多くの場合で安定した測位を行うにはポリシー内容の詳細化が必要である。

提案アーキテクチャはコンテキストとして選択するデータや組み合わせる測位方法に応じて、柔軟性だけでなく、様々な品質を保証することができるようになる。例えば、利用者情報として、利用者の受信端末のバッテリー残量

をコンテキストとして加えた場合、すでに選んだコンテキストと矛盾なく資源効率性を保証した再構成をすることができる。他に、新たにコンテキストを加えることでアクセシビリティや機能適合性、耐故障性、機密性などが保証できるようになる。

7 おわりに

屋内測位技術は一種類の測位方法では安定した精度を得ることが困難である。本研究では複数の測位方法を組み合わせることが可能で、利用している測位方法をその時の状況に応じて切り換えが可能なソフトウェアアーキテクチャの構築とそれを利用するためのアプリケーション基盤の提供を目的に研究を行った。

本研究の目的を達成するために、本研究では、センサフュージョンのアーキテクチャにコンテキスト指向を適用したアーキテクチャを提案した。アーキテクチャ設計には OASIS のプロセスに基づいて設計した。センサフュージョンのアーキテクチャとしてデータ融合モデルの一つである JDL モデルに自己適応のためのアーキテクチャパターンである PBR パターンを適用した。

評価実験より、プロトタイプシステムは Wi-Fi 測位と BLE 測位を組み合わせた測位方法とその単体測位方法が状況に応じて切り替え可能であることを確認した。これより提案アーキテクチャの妥当性を確認した。

今後の課題は、より多くの場面で安定した測位を行うためにポリシー内のコンテキスト情報をより細分化することである。また、より多くの測位方法を組み合わせた評価実験を行うことで、さらなる精度の向上が可能であるかどうかについて確かめ、提案手法の実用性について示すことも今後の重要な課題である。

参考文献

- [1] C. Matthew MacKenzie, Ken Laskey, Francis McCabe, Peter F Brown, Rebekah Metz, "Reference model for service oriented architecture1.0", <http://docs.oasis-open.org/soa-rm/v1.0/soa-rm.html>, 2006.
- [2] Alan N. Steinberg, Christopher L. Bowman, Franklin E. White, "Revisions to the JDL data fusion model.", SPIE, Vol. 3719, pp. 430-441, 1999.
- [3] 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.
- [4] Xiansheng Guo, Nirwan Ansari, Fangzi Hu, Yuan Shao, Nkrow Raphael Elikplim, Lin L, "A survey on fusion-based indoor positioning", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 22, No. 1, pp. 566-594, 2019.
- [5] Eric Gamma, Richard Helm, Ralph E. Johnson, John Vlissides: "Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software", Addison-Welsey, 1994.