

SMArch: スマートモビリティのためのソフトウェアアーキテクチャ

中西 恒夫[†] 荒川 豊^{††} 安藤 崇央^{††} 石田 繁巳^{††} 金子 邦彦^{†††}
田頭 茂明^{††††} 久住 憲嗣^{††} 峯 恒憲^{††} 福田 晃^{††}

[†] 福岡大学工学部

〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1

^{††} 九州大学大学院システム情報科学研究院

^{†††} 福山大学工学部

^{††††} 関西大学総合情報学部

E-mail: †tun@fukuoka-u.ac.jp

あらまし 本稿では、競争的な市場ゆえに個別に継続的な進化をしがちなスマートモビリティサービスのためのソフトウェアアーキテクチャ, SMArch を提案する。SMArch は ITS 関連 5 省庁によって 1999 年に定義された「高度道路交通システムに係るシステムアーキテクチャ」を拡張している。専ら道路交通を対象とする 5 省庁 ITS アーキテクチャにおいて他の交通を扱えるようにすべく、道路以外の移動路、車両以外の移動手段を新たに定義する。また、移動、ならびに宿泊、飲食等の移動以外をいずれもサービス、旅程を一連のサービス享受として捉えるサービスパスの概念を定義する。SMArch では、スマートモビリティサービスはサービスコーディネートエージェントによって提供し、エージェントへの依頼は上述のアーキテクチャに基づいて設計されるサービスパス問い合わせ言語によって行う。キーワード スマートモビリティ, アーキテクチャ, 高度道路交通システム, MaaS

SMArch: Software Architecture for Smart Mobility

Tsuneo NAKANISHI[†], Yutaka ARAKAWA^{††}, Takahiro ANDO^{††}, Shigemi ISHIDA^{††}, Kunihiko KANEKO^{†††}, Shigeaki TAGASHIRA^{††††}, Kenji HISAZUMI^{††}, Tsunenori MINE^{††}, and Akira FUKUDA^{††}

[†] Faculty of Engineering, Fukuoka University

8-19-1 Nanakuma, Johnan, Fukuoka 814-0180, Japan

^{††} Faculty of Engineering, Kyushu University

^{†††} Faculty of Engineering, Fukuyama University

^{††††} Faculty of Informatics, Kansai University

E-mail: †tun@fukuoka-u.ac.jp

Abstract In this article, the authors present SMArch, a software architecture for smart mobility services which tend to evolve continuously due to the highly competitive market. SMArch is defined by extending a system architecture for ITS released by five stakeholding ministries of Japan. Five ministries' architecture handles road traffic only; thus, SMArch defines links other than roads and vehicles other than cars additionally to handle various mobilities in a unified manner. Moreover, SMArch models both geographic movement and other services such as lodging and foods as services and introduces a concept of the service path that captures a travel as a set of services to be provided on the way. Smart mobility services are provided by service coordinating agents in the SMArch and requests to the agents are given by the service path query language which is designed based on the SMArch.

Key words smart mobility, architecture, ITS, MaaS

1. はじめに

「スマートモビリティ」という語に確たる定義は存在しないが、いわゆる MaaS (Mobility as a Service) の概念が一般化するにつれ、スマートモビリティとは情報通信技術の支援によりさまざまなステークホルダのために移動を最適化する一連の技術体系であるとの社会的な共通認識はできつつあるようである。本稿では、この認識に立ち、スマートモビリティを「異なる属性を持った旅行者のマルチモーダルなモビリティをコーディネートするための情報通信技術を用いたサービス群」と定義し議論を進める。

すでにスマートモビリティサービスに相当するものは、地図サービスや乗換案内サービスといったインターネット上のサービスとして、多くのサービス供給者によってエンドユーザに提供されている。また、これらのサービスにアクセスする API やサービスの実現に有用な種々の情報を提供する API も有償、無償で提供されている。事業分野、事業環境の異なるさまざまなサービス供給者が競業するスマートモビリティサービス市場は変化も速く、こうしたサービスは個別に継続的に進化していく傾向にある。一方、商材となるデータを持たないサービス開発者は、これらスマートモビリティに関係するサービスを組み合わせ、付加価値の高い新たなサービスを提供することが求められる。しかし、スマートモビリティのための業界標準、あるいは寡占的なアーキテクチャというものはなく、自社サービスを継続的に提供するためには、異なる他社サービスの間でデータ表現の変換を行うような「グルーロジック」を実装し、また他社依存しているサービスが廃廃されるときにはその対応をしなければならない。

上述のスマートモビリティ市場の特質を鑑み、筆者らは文献 [1] において、業界標準の組織間アーキテクチャを定義・利用すること、自社内においては技術環境の変化に柔軟に対応できるマイクロサービスアーキテクチャスタイル [2] を導入した組織内アーキテクチャを構築、保守する戦略と、そのためのプロセスについて述べた。同文献では、組織間アーキテクチャについては、各国において ITS 分野で規定されている標準的なアーキテクチャ [3]~[5] をベースとすべきことを述べるに留まっていた。しかし、我が国の ITS 標準アーキテクチャである「高度道路交通システムに係るシステムアーキテクチャ」[5] は、策定後改定のないまま 20 年を経て、現行の技術トレンドとの乖離を認めない。本稿では、科研費プロジェクト (研究代表者: 福田晃, 課題番号: JP15H05708) の諸成果 [7]~[9] を踏まえ、同アーキテクチャを改修したスマートモビリティのためのアーキテクチャ「SMArch」を提案する。

2. 高度道路交通システムに係るシステムアーキテクチャ

本節では、SMArch の基礎となっている、「高度道路交通システムに係るシステムアーキテクチャ」[5] について簡単に紹介し、その問題点について述べる。

2.1 高度道路交通システムのためのアーキテクチャ動向

移動や交通に関するシステムやソフトウェアのアーキテクチャの重要性を早い時期から認識していたのは、行政や道路事業者、交通事業者、自動車や道路施設等の製造者などさまざまなステークホルダが存在する高度道路交通システム (ITS) 分野である。

海外においては、米国では Department of Transportation によって 1996 年より National ITS Reference Architecture (通称 ARC-IT) [3] が、欧州では European ITS Framework Architecture (通称 FRAME Architecture) [4] と呼ばれるアーキテクチャが 2000 年より定義されている。これらのアーキテクチャは基本的にリファレンスとして使用されるものであり、テラリングしたり、部分的に導入したりすることで特定のアプリケーションの要求を充たすことが容認されている。また、それを容易にすべく、これらのプロジェクトではアーキテクチャを参照、利用するためのツール群も提供されている。これらのアーキテクチャはその後の技術進化を踏まえて継続的に保守、改訂されており、ARC-IT の最新バージョンは 8.3、FRAME の最新バージョンは 4.1 となっている。

一方、我が国の場合、1999 年に「高度道路交通システムに係るシステムアーキテクチャ」(以下、「5 省庁 ITS アーキテクチャ」と呼ぶ) が、警察庁、通商産業省、運輸省、郵政省、建設省の関連 5 省庁^(注1)によって定義されている。このアーキテクチャは、その目的に謳われている通り、監督省庁をまたいで数多い ITS に関するステークホルダが ITS に関する共通認識を構築するうえで相当の意味があったものの、文献 [6] でも指摘されているように久しく改訂されないままになっており、この間に現れた新しいサービスや技術概念はまったくカバーできていないのが現状である。

2.2 5 省庁 ITS アーキテクチャの概要

5 省庁 ITS アーキテクチャには、利用者サービス、論理アーキテクチャ、物理アーキテクチャが定義されている。

利用者サービスの定義: 利用者サービスは、9 つの開発分野にわたって、21 の利用者サービスが定義されている。個々の利用者サービスの下に全体で 56 になる個別利用者サービスが、個別利用者サービスの下には全体で 172 になるサブサービスが階層的に定義されている。おおよそ、利用者サービスは目的のちがいで分けられ、個別利用者サービスは同じ目的のサービスが状況や対象のちがいで分けられ、サブサービスは個別利用者サービスを構成するより詳細なサービスに分けられている。21 番目の利用者サービス「高度情報通信社会関連情報の利用」は特殊であり、9 つのどの開発分野にも属さない、他と較べて抽象度の高いものとなっており、アーキテクチャ制定時には実現手段が定かになかった「未来性」の高いサービスが集められている感がある。図 1 に 9 つの開発分野と 21 の利用者サービスの全体像、図 2 に「ナビゲーションシステムの高度化分野」の個別利用者サービスとサブサービスの全体像を示す。

論理アーキテクチャの定義: 論理アーキテクチャには情報モ

(注1): 省庁の名称は当時のもの。

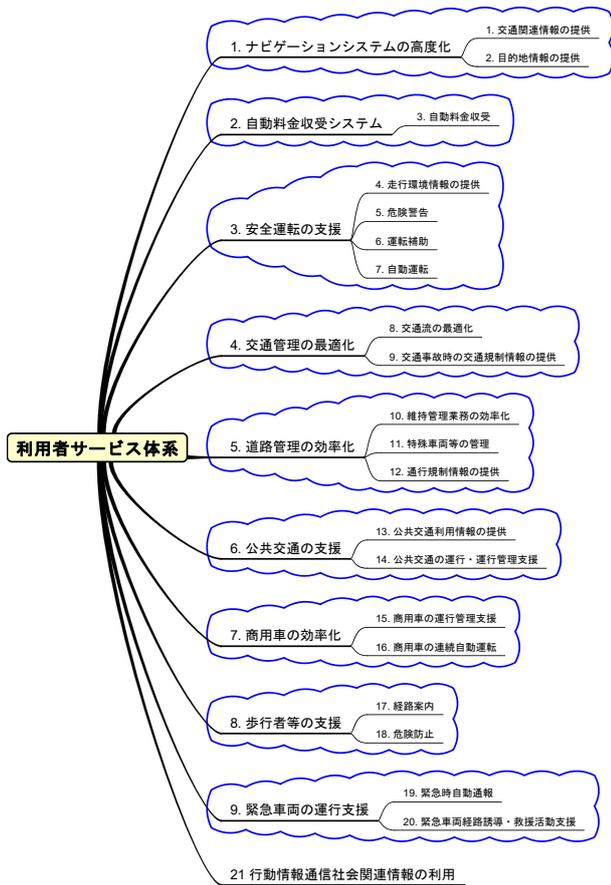


図 1 5 省庁 ITS アーキテクチャの利用者サービス体系の概要

デルと制御モデルが定義されている。情報モデルには、利用者サービスを実現するうえで取り扱われる情報がクラス図を用いて定義されている。一方、制御モデルには、利用者サービスの実現に必要な情報モデルに定義された情報の流れとそれら情報の処理（「機能」と呼ばれている。情報の検知収集、情報の提供、通知警告、指示制御、確認のいずれか）が、構造化分析で用いられるデータフロー図に相当する図式で記述されている。記述されているのはどのような情報がどのような処理の間でやりとりされるかであり、処理の目的は処理の名前として述べられているが、その詳細については述べられない。

物理アーキテクチャ： 論理アーキテクチャには、論理アーキテクチャで定義された処理を物理的にどこに配置するかを、技術の実現性や応答性、安全性といった非機能要求を考慮のうえで定めている。5 省庁 ITS アーキテクチャでは、システムは大きく人、車、路、センタに分けられ、さらにこれら各々について、論理アーキテクチャの制御モデル中の処理を担うサブシステムに分けられる。物理アーキテクチャも、特定の装置やシステムに依存しない、抽象的なかたちで定義されている。

2.3 5 省庁 ITS アーキテクチャの問題点

5 省庁 ITS アーキテクチャはそもそも抽象的なかたちで定義されており、古くはなっているもののすべてが陳腐化しているわけではない。むしろ相当の部分は現在でも利用に耐えるものと思われる。以下、5 省庁 ITS アーキテクチャの問題点について述べる。

- マルチモーダルな移動に対応し得ない点： 5 省庁 ITS アーキテクチャは道路交通、特に人と自動車と道路の間の連携を専らのスコープとしており、利用者サービスも論理アーキテクチャも、一般的に自動車での移動が主、道路交通以外の移動手段は従という位置づけとなっている。サービス定義については、ドライバへの他交通機関情報の提供といったサービスは定義されているものの情報提供どまりであり、マルチモーダルな移動をカバーするものではない。鉄道、航空、船舶等の公共交通機関からタクシー、レンタカー／サイクル、カーシェアサービスといった私的な移動手段まで、さまざまな移動手段を包括的に扱うサービス定義とはなっていない。論理アーキテクチャについても、扱われている乗り物は車両のみ、人間はドライバと歩行者のみで旅客はなく、移動路も車道と歩行者道（限定的なかたちで鉄道）に限られ航空や船舶の路線は含まれない。

- MaaS に対応できない点： 5 省庁 ITS アーキテクチャでは、人と自動車の交通や道路利用の円滑化のためのサービス連携により多くの関心が払われており、人の移動に関するビジネスのためのサービス連携についてはほとんど意識されていない。

- 硬いアーキテクチャである点： 5 省庁 ITS アーキテクチャは、制定当時の技術環境で予想し得たサービスを網羅的に定義し、それに基づいて論理アーキテクチャ、物理アーキテクチャを硬く定義している。しかしながら、硬いモノリシックなアーキテクチャはコンポーネント間の結合が密になり、技術環境の変化にあわせてアーキテクチャを迅速に更新していくことが困難になる。さらに、アーキテクチャの保守を担う事業体も欠いた状態ではアーキテクチャの更新の機会すら望めない。

3. SMArch：スマートモビリティのためのアーキテクチャ

3.1 アーキテクチャ構築の方針

前節に述べた 5 省庁 ITS アーキテクチャの問題点を踏まえ、5 省庁 ITS アーキテクチャを発展させ、スマートモビリティのためのアーキテクチャ SMArch の構築を図る。

すでに数多くのサービス提供者によってスマートモビリティサービスと見なせるサービスが立ち上げられている現状を考えれば、5 省庁 ITS アーキテクチャの論理アーキテクチャのうち、論理アーキテクチャの制御モデルや物理アーキテクチャを再定義する意義は薄い。これら既存のサービスの実現は外部から隠蔽され、個別、進化を続けているためである。また、サービス利用者の関心は提供されるサービスの機能と品質であり、多くの場合、実現には関心がない。既存のサービスを連携させるうえで重要なのは、サービス間で交換するデータのモデリング、すなわち論理アーキテクチャの情報モデルに相当する部分である。そこで SMArch の定義では、5 省庁 ITS アーキテクチャの論理アーキテクチャの情報モデルに必要な最小限の改修を施す方針を採ることとする。

3.2 移動手段と移動路のマルチモーダル化

5 省庁 ITS アーキテクチャにおける移動路は道路、移動手段はおおよそ車両や歩行者による道路上の移動に限られていたが、

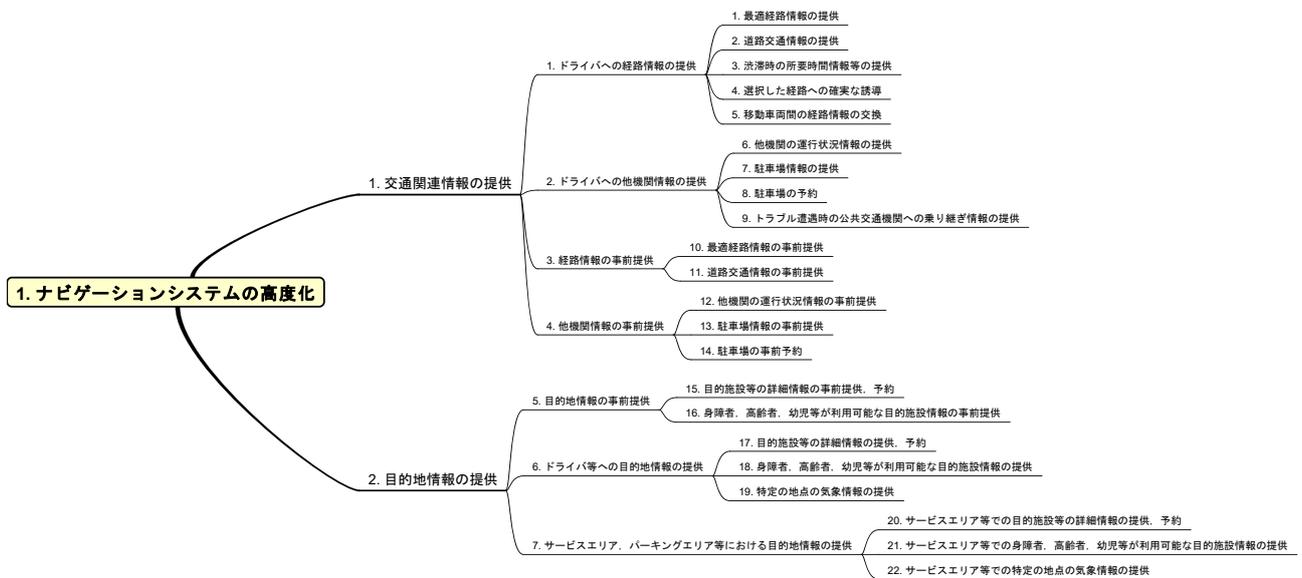


図2 ナビゲーションシステムの高度化分野の利用者サービス詳細

SMArch ではマルチモーダルモビリティに対応すべく、鉄道、航空、船舶等の道路以外の移動路とそれら移動路上の移動手段も包括し、それぞれ道路ならびに道路上の移動の同格の位置付けとする。

5省庁 ITS アーキテクチャでは、移動路は「移動路」クラスとその下位クラス、移動手段は「移動体」クラスとその下位クラスによって定義されているが、それぞれを図3、図4に示すように拡張する。拡張の内容は以下の通りである。

- 道路を表す従来の「移動路」クラスは「道路」と改名し、「道路」と同格の移動路として「鉄道路」「航空路」「航路」を加え、それらの汎化された移動路のクラスとして「移動路」を設けた。

- 移動手段として新たに「軽車両」「鉄道」「航空機」「船舶」を加え、それらの汎化された移動手段のクラスとして「ビークル」を設けた。ビークル直下のクラスは、基本的に移動手段が利用できる移動路（道路、鉄道路、航空路、海路）のちがいの観点で定義している。

- 5省庁 ITS アーキテクチャでは「自転車利用者」は「歩行者」、ひいては「人間」の一種として扱われていたが、SMArchでは「軽車両」として「ビークル」の一種として扱う定義としている。これはスマートフォンを用いた乗り捨て可能なレンタサイクルのサービスがすでにあるほか、今後、法改正があれば電動キックボード等の免許不要のモビリティの商用化が予想されるためである。

- 「車両」の下位クラスとして「私的交通車両」を加えた。私的交通車両は、タクシーやカーシェア、レンタカーなど、公共交通車両のように定期運行はされないもの、第三者と共同利用され、かつサービス授受の契約が成立すれば私的な移動に使える性格を有した車両を意味する。

- 5省庁 ITS アーキテクチャの「一般車両」と「商用車」を汎化したクラスとして「私有車両」を加えた。私有車両は個人や法人によって所有され、いつでも私的な移動に利用できる

車両を意味する。

「移動路」は「移動体」が通行できる路そのものであり、その上を通行する鉄道やバス、飛行機、フェリー等の公共交通機関の便を表す概念ではないことに注意されたい。公共交通機関の便は後述する「サービス」として捉える。鉄道やバスの場合は物理的な路、つまり線路や道路があるが、飛行機やフェリーの場合は定期便、臨時便を問わず便があれば路があるものと考えられる。

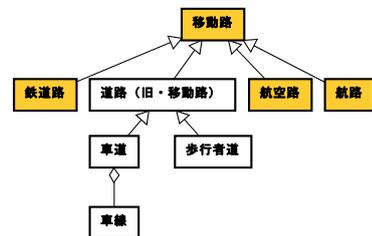


図3 移動路の情報モデル

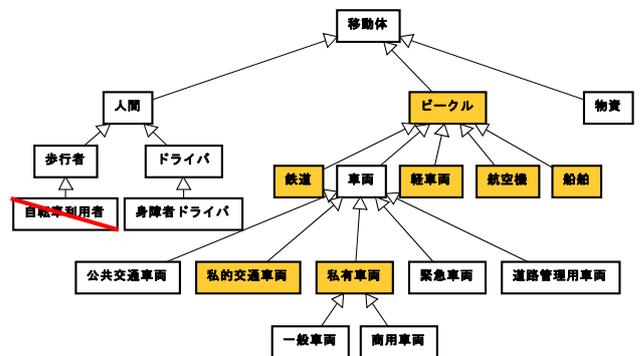


図4 移動手段の情報モデル

3.3 Travel as a Service Path

5省庁 ITS アーキテクチャでは、経路とは、地点を結ぶ道路上での車両、または歩行者の移動としてモデリングされてい

た。SMArch では、移動の概念を時間軸上にも一般化し、ある空間・時間上の一点（地時点）から別の時間・空間上の一点への移動と定義する。そして、空間上の移動は「移動サービス」の授受、空間上の移動を伴わない時間のみの移動（すなわち滞在）は「非移動サービス」の授受と捉える。公共交通機関による地点の移動は移動サービスの授受、宿泊や飲食などは非移動サービスの授受にあたる。移動者自身による自動車や自転車による移動は、実際にはサービスの授受はないが、サービスの提供者と享受者が等しい移動サービス（つまりセルフサービス）と見做す。このようにモデリングすることで、ある時点に開始される時点で完了する移動と滞在、すなわち旅程は一連のサービス授受、「サービスパス」として捉えられる。

サービスパスの概念により、MaaS への対応、さらにはモビリティのみならず他のサービスも同じフレームワークで扱うことが可能となる。なお、ここでいうサービスとは、情報サービスではなく、実社会で提供されるサービスを意味することに注意されたい。

図 5 にサービスに関する情報モデル、図 6 にサービスパスの概念図を示す。5 省庁 ITS アーキテクチャの論理アーキテクチャの情報モデルに、「地時点」、「サービス」、「移動サービス」、「非移動サービス」、「サービスパス」のクラスが追加されている。鉄道、バス、航空、船舶等の公共交通機関、タクシー、カーシェア、レンタカー等の私的交通機関、自家用車や自転車等、バイクごとに、そのバイクによる「移動サービス」の下位クラスが定義される。公共交通機関のひとつひとつの便、私的交通機関のひとつひとつの移動や契約がこれらクラスのインスタンスとなる。また、「非移動サービス」には、宿泊、飲食、駐車、給油、観光など目的のちがいごとに下位クラスが定義される。

サービスには授受条件が付与され得る。サービス授受条件により、たとえば予約の取消が出来れば提供される移動サービス（いわゆるキャンセル待ち）、乗り場への車両の配置ができた場合に利用できるワンウェイカーシェアサービス [9] のモデリングが可能となる。

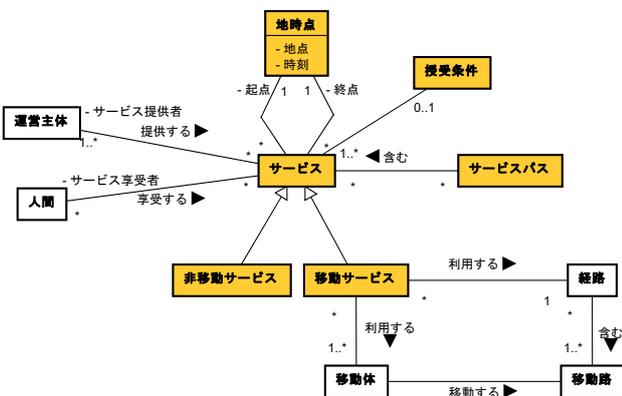


図 5 サービスに関する情報モデル

3.4 サービスパスの fork と join

以下の例のように移動中に複数のサービスを並列に授受することが考えられる。

- パーク&ライド時には鉄道による移動サービスと（鉄道

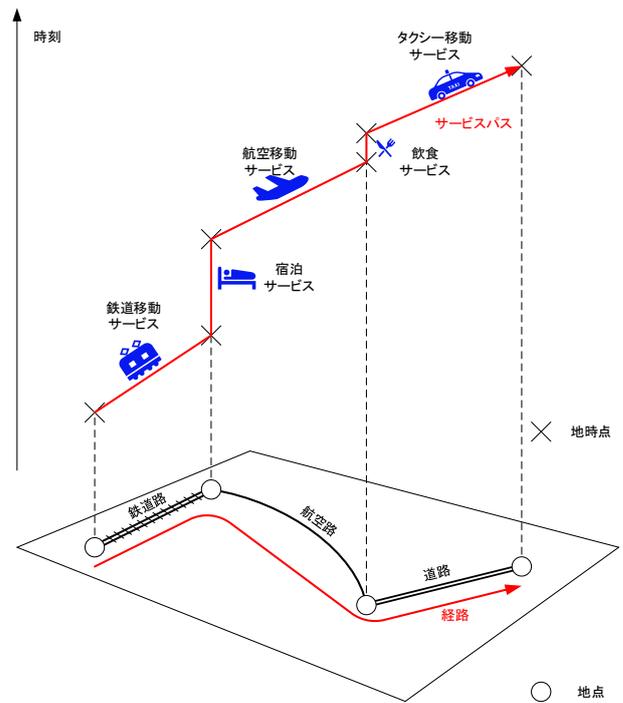


図 6 サービスパスの概念

移動中の) 駐車サービスを並列に享受する。

- 自動車での旅行時に宿泊サービスと（宿泊中の）駐車サービスを並列に享受する。
- レンタカーで移動する時はカーレンタルサービスと借りた車を自分で運転するセルフ移動サービスを並列に享受する。

このような並列に授受されるサービスを表現するべく、サービスパスに fork, join の概念を設ける。fork はある地時点におけるサービスの並列授受の開始に相当し、join は並列授受されるサービスのある地時点における同期終了に相当する。図 7 はパーク&ライドサービスを fork, join 概念を用いてサービスパスとして表現している例である。

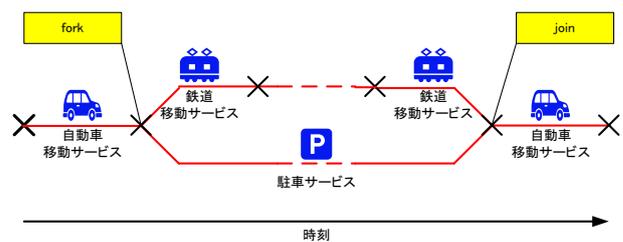


図 7 サービスパスの fork と join

3.5 サービスコーディネータエージェント

本稿におけるスマートモビリティ、すなわちマルチモーダルなモビリティをコーディネートするサービス群は、旅行者から入力される要求を満たすサービスパスの候補を出力する「サービスコーディネータエージェント」として実現される。

5 省庁 ITS アーキテクチャでは、図 2 に示したナビゲーションシステムの高度化分野の利用者サービスのように、利用者サービスを網羅的に定義していたが、その硬い定義はアーキテクチャの更新を困難なものにしているように思われる。誰に

どのような既存のサービスを使ってどのようなサービスパスを提供するかは、サービス供給者の競争領域であり、技術環境の変化にあわせて迅速にサービスを展開できるようにすべく、SMArch では敢えてサービスを定義することはしない。

代わりに SMArch では、これまでに述べた情報モデルとサービスパス概念を、サービスコーディネートエージェント、ならびに移動／非移動サービス提供者がサービス販売のために提供する情報サービスとの間でのデータ交換を担保する「共通言語」として用いることのみを要求する。サービスコーディネートエージェントの実装には一切踏み込まないことで、サービスコーディネートエージェントを独立的に、かつ迅速に成長させられるようにする。

サービスコーディネートエージェントに入力するサービスパスに対する要求は、SMArch の情報モデル、スマートパス概念に基づいて定義される「サービスパス問い合わせ言語」で記述される。サービスパス問い合わせ言語は下記の例のように、サービスパスの始点、経由点、終点となる地時点（つまり場所と時刻）、サービスパス中のサービスが満足すべき制約を記述する。

```
select from 七隈@2020/02/13/10:00
via 福岡空港
    composed-by {地下鉄移動サービス, セルフ移動サービス}
via 羽田空港@2020/02/13/15:00
    composed-by {航空移動サービス}
to 東京都千代田区 1-1@2020/02/13/16:00
    composed-by {鉄道移動サービス};
```

サービスコーディネートエージェントは入力されたサービスパス問い合わせ言語の記述に、必要に応じて自身の提供するサービスに即した制約を加え、条件を満足するサービスパスを検索し、条件を満足するサービスパスの候補を出力する。検索にあたり、サービスコーディネートエージェントは、サービスパス上の公共交通機関の提供するサービス等の外部サービスに対してサービスパス問い合わせ言語を投げ、元の条件を満足し得る部分的なサービスパスの候補を取得することも行う。

紙面の都合、サービスパス問い合わせ言語の仕様については記述を割愛する。続報を待たれたい。

4. ま と め

本稿では、スマートモビリティのためのソフトウェアアーキテクチャ、SMArch を提案した。SMArch を定義するにあたって、アーキテクチャをスクラッチから作ることはせず、ITS 関連 5 省庁によって 1999 年に定義された「高度道路交通システムに係るシステムアーキテクチャ」を拡張することにした。

5 省庁 ITS アーキテクチャは、サービス定義、論理アーキテクチャ、物理アーキテクチャからなるが、そのうち論理アーキテクチャの情報モデルを再利用することとした。5 省庁 ITS アーキテクチャは専ら道路交通を対象としているため、他の交通を

扱えるようにすべく、移動路クラスの下位クラスとして道路以外の鉄道路、航空路、航路等を加えるようにし、また車両以外の乗り物を扱えるよう乗り物を抽象化したビークルクラスを定義し、その下位クラスとして自動車以外の乗り物を定義した。

SMArch では、移動も、移動の過程で享受する宿泊や飲食、駐車、給油等のサービスも、すべてをサービスとして捉え、旅程を一連のサービス授受、サービスパスとして捉える。スマートモビリティサービスは旅行者の求める条件を充たすサービスパスを探索するサービスである。SMArch では、サービスコーディネートエージェントが、他の情報サービスとの協調のもとにスマートモビリティサービスを提供する。エージェントへの依頼は SMArch の情報モデルに基づいて設計されたサービスパス問い合わせ言語で行う。SMArch はエージェントやサービスの間でのデータ交換、すなわちサービスパス問い合わせ言語での問い合わせのみを標準化し、各エージェントやサービス実現を隠蔽できるようにすることで、エージェントやサービスが互いに影響を与えることなく成長できるようにした。

謝辞

本研究は科研費 JP15H05708 の助成を受けています。

文 献

- [1] 中西 恒夫, 久住 憲嗣, 安藤 崇央, 峯 恒憲, 福田 晃, 「オープンなスマートモビリティ市場におけるサービスの開発と運用: アーキテクチャ戦略とサービスのサプライチェーンマネジメント」, 信学技報, Vol. 118, No. 137, 6 pages, 2018 年 7 月.
- [2] J. Lewis and M. Fowler, "Microservices: A Definition of This New Architectural Term," <https://martinfowler.com/articles/microservices.html>, 最終アクセス日: 2019 年 2 月 12 日.
- [3] U. S. Department of Transportation, *The National ITS Reference Architecture*, Version 8.3, <http://local.iteris.com/arc-it/>, 最終アクセス日: 2019 年 2 月 8 日.
- [4] FRAME Forum, *The FRAME Architecture*, Version 4.1, <http://frame-online.eu/>, 最終アクセス日: 2019 年 2 月 8 日.
- [5] 警察庁, 通商産業省, 運輸省, 郵政省, 建設省, 「高度道路交通システム (ITS) に係るシステムアーキテクチャ」, 1999 年 11 月.
- [6] 金澤 文彦, 鈴木 彰一, 中村 悟, 「ITS のアーキテクチャに関する国際比較からみた今後の方向性」, 土木技術資料, Vol. 33, No. 3, pp. 14-17, 2013 年 3 月.
- [7] T. Mine, S. Mise, H. Nakamura, T. Hiraoki, S. Koga, T. Ando, K. Hisazumi, T. Nakanishi, and A. Fukuda, "Ito-CamLife: A Platform of Sharing and Recommending Information Considering User Contexts to Facilitate Smart Mobility," *Proc. 7th Int. Congress on Advanced Applied Informatics (AAI 2018)*, pp. 109-114, Jul. 2018.
- [8] 藤木 智, 古庄 裕貴, 中西 恒夫, 「Android によるマルチモーダルナビゲーションシステムの開発」, 火の国情報シンポジウム 2019, 7 pages, 2019 年 3 月.
- [9] 千住 琴音, 諏訪 博彦, 水本 旭洋, 荒川 豊, 安本 慶一, 「ワンウェイカーシェアリング実現に向けた潜在的利用者による車両偏在問題の解決」, 情処論, Vol. 60, No. 10, pp. 1828-1828, 2019 年 10 月.