

すれちがいフレームワークにおける標準データ生成・蓄積機構の検討

林 亜梨沙[†] 裕本 真佑[†] 佐伯 幸郎[†] 中村 匡秀[†]

[†] 神戸大学大学院システム情報学研究科 〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

E-mail: †arisa@ws.cs.kobe-u.ac.jp

あらまし 我々は先行研究において、モバイル端末同士の近接（すれちがい）を検知し活用するすれちがいシステムのためのフレームワークを提案した。提案フレームワークでは、すれちがいの検出技術とすれちがいデータの活用方法の疎結合化を図る。これにより、すれちがい検出技術に横断的なデータの再利用、及びすれちがいシステムの開発容易化を実現する。本稿ではすれちがいフレームワークの実現化を目指して、検出技術に依存しない形に抽象化された標準すれちがいデータの生成・蓄積部分に関する検討を行う。まず、コンセプトの提案にとどまっていた、フレームワーク内でのデータ変換・生成・蓄積部分に対する具体的な要件を整理する。次に、それぞれの要件に従って詳細なアーキテクチャを設計し各コンポーネントの責務を明確化する。さらに、すれちがいを検知するデバイス部分と、すれちがいデータを活用するアプリケーション部分双方の視点から必要となる WebAPI を整理する。

キーワード すれちがいフレームワーク、近接検知、モバイル端末、Bluetooth Low Energy、Wi-Fi

Designing Feature of Generating and Storing Common Pass-by Data in Pass-by Framework

Arisa HAYASHI[†], Shinsuke MATSUMOTO[†], Sachio SAIKI[†], and Masahide NAKAMURA[†]

[†] Graduate School of System Informatics, Kobe University, Rokkodai 1-1, Nada, Kobe, 657-8501, Japan

E-mail: †arisa@ws.cs.kobe-u.ac.jp

Abstract In our previous work, we have been proposed a pass-by framework in order to facilitate development of pass-by system which uses proximity information of mobile devices. The framework isolates pass-by detection technologies and applications of pass-by information. This isolation provides developers to reuse common pass-by data that retrieved by various proximity detection technologies. The goal of this paper is to realize and design the pass-by framework. To achieve the goal, we discuss how the framework generates and stores pass-by data. First, we organize some specific requirements for converting, generating and storing the data. Based on the requirements, we re-design detailed architecture and identify responsibilities of each component in the framework. Finally, we organize WebAPIs from the perspectives on pass-by detection and pass-by data application.

Key words Pass-by framework, neaby detection, mobile devices, Bluetooth Low Energy, Wi-Fi

1. はじめに

スマートフォンの普及やモバイル端末搭載のセンサ技術の進歩により、モバイル端末の近接（以降、すれちがいと呼ぶ）を検知し、活用する新たなサービスが登場しつつある。例えば、任天堂が提供する Nintendo3DS では、ゲーム端末同士のすれちがいを利用した様々なゲームが提供されている [1]。このすれちがい検出には Wi-Fi 信号が用いられている。また、東京国立博物館は館内の見学コースの紹介アプリケーション「トーハクナビ [2]」を提供している。このアプリでは、館内に設置された複数の BLE (Bluetooth Low Energy) モジュールを用いて、利

用者の持つモバイル端末のすれちがいを検知することにより、利用者の屋内位置に応じた案内が行われる。

学術の分野においても、BLE による屋内の混雑状況の推定システム [3] や、ドローンと BLE を用いた被災者の現在位置収集システム [4]、近接検知に基づく認証システム [5]、近接検知のデジタルゲームへの応用 [6] など提案されている。このようにすれちがいは端末同士の相対的な接近の検出技術や、GPS 信号の届かない屋内での位置の検出技術としての活用が可能である。なお、本稿ではこのすれちがいを活用したシステムのことを、すれちがいシステムと呼ぶ。

我々の先行研究 [7] [8] では、すれちがいシステムの開発容易化を目的とし、すれちがい検出技術に依らない汎用的なすれちがいフレームワークを提案した。提案フレームワークでは、すれちがいを検知するデバイス部分と、すれちがいデータの収集部分のそれぞれを独立したコンポーネントと見なし、その依存関係を切り離す。これにより、開発者はすれちがい検出技術を意識することなく、収集されたすれちがいデータの活用方法のみに集中することが可能となる。また、収集されたすれちがいデータは、その検出技術に依存しない形に抽象化し標準化されるため、BLE や Wi-Fi 等のすれちがい検出技術に横断的かつ効率的なデータ収集も実現できる。

先行研究では提案フレームワークにおける、検出技術と情報の疎結合化というコンセプトの提案、すれちがいの一般的な性質の整理、および全体的なアーキテクチャの提案にとどまっておらず、具体的にどのようにすれちがいデータを検知・収集するかについては検討されていなかった。特に、バッテリーを消費しがちなすれちがい通信においては、どの部分をモバイル端末側の機能として実現し、どの部分をサーバ側の機能としてオフロードするかといった、コンポーネントの責務割り当ての具体化が必須である。また、提案フレームワークは Web アプリケーションとして実現することを検討しているが、フレームワークの利用者の観点からは、すれちがいデータの投入と取得を行うための WebAPI の具体化も必須の課題である。

本稿ではすれちがいフレームワークの実現に向けて、標準すれちがいデータの生成・蓄積に着目し、その具体的な実現方法について検討する。まず、データをフレームワークへ投入する部分に着目して必要な機能を考察、要件を整理する。次に、整理した要件を満たすフレームワークの実現に向け、責務に対応するよう各コンポーネントを設計する。

2. 先行研究

本章では、先行研究 [7] で述べたすれちがいの定義と性質、すれちがいフレームワークの概要やすれちがいシステムとの関係について記述する。

2.1 すれちがいの定義とその性質

すれちがいとは、二つの対象が、ある時刻において一定の距離未満に接近することである。X をすれちがい対象となるエンティティの集合、D を任意の距離関数 $d: X \times X \rightarrow R$ の集合、T を任意の時刻の集合とすると、すれちがい χ は関数

$$\chi: X \times X \times D \times T \rightarrow \{0, 1\} \quad (1)$$

で定義される。ここで χ は二つのエンティティ $x_1, x_2 (\in X)$ がある時刻 $t (\in T)$ において、一定の距離 $l, \{l = d(x_1, x_2)\}$ で接近したとき、

$$\chi(x_1, x_2, l, t) = \begin{cases} 1 & \dots (l < L) \\ 0 & \dots (otherwise) \end{cases}$$

をとる関数である。ここで L は、事前に定義されたすれちがいの最大距離である。以降、簡単のため $\chi(x_1, x_2, l, t) = 1$ となる

任意の 4 要素の組を $\langle\langle x_1, x_2, l, t \rangle\rangle$ と記述する。

また、すれちがいは P1: 対称性, P2: 条件付き推移性, P3: 時空間情報の利用, P4: 時空間情報の推論の 4 つの性質を持つ。P1 と P2 はすれちがいの定義から導かれる性質であり、P3 と P4 は時空間情報^(注1)を利用した際に現れる性質である。下に詳細を示す。

性質 P1 (対称性)

二つのエンティティ x_1 と x_2 がすれ違う際には、2 者間に決まった順序関係が無いことから、次の対称性が成り立つ。

$$\langle\langle x_1, x_2, l, t \rangle\rangle \Rightarrow \langle\langle x_2, x_1, l, t \rangle\rangle \quad (2)$$

性質 P2 (条件付き推移性)

あるエンティティ x_2 が同時刻に二つの異なるエンティティ x_1, x_3 とすれ違った場合、一定の条件を満たせば、 x_1 と x_3 のすれ違いが次のように成立する。

$$\langle\langle x_1, x_2, l_1, t \rangle\rangle \wedge \langle\langle x_2, x_3, l_2, t \rangle\rangle \wedge (l_1 + l_2 < L) \Rightarrow \langle\langle x_1, x_3, l_3, t \rangle\rangle \quad (3)$$

性質 P3 (時空間情報の利用)

エンティティ x_1 と x_2 のすれ違いを検知する手段がなくても (すなわち、互いの距離 $d(x_1, x_2)$ が未知)、それぞれに時空間情報があれば、それをもとにすれ違いの事実を推論することが可能である。

エンティティ x が時刻 t に地点 p に存在するという事実を、 $\langle x, p, t \rangle$ と書く。また、二地点 p_1, p_2 の距離を $d'(p_1, p_2)$ と書く。この時、 x_1 と x_2 のすれ違いは次の性質で導かれる

$$\langle x_1, p_1, t \rangle \wedge \langle x_2, p_2, t \rangle \wedge (d'(p_1, p_2) < D) \Rightarrow \langle\langle x_1, x_2, l', t \rangle\rangle \quad (ただし l' = d'(p_1, p_2)) \quad (4)$$

性質 P4 (時空間情報の推論)

x_1, x_2 のすれちがいが成立し、 x_1 の位置情報 p_1 が既知であれば、 x_2 の時空間情報を推論できる。

$$\langle\langle x_1, x_2, l, t \rangle\rangle \wedge \langle x_1, p_1, t \rangle \Rightarrow \langle x_2, p_2, t \rangle \quad (5) \quad (ただし p_2 は d'(p_1, p_2) = l)$$

2.2 すれちがいフレームワーク

先行研究では、すれちがいシステムの開発容易化とすれちがいデータの再利用性向上を目的としたすれちがいフレームワークを提案した。提案フレームワークにおけるキーアイデアは「どのような技術を用いてすれちがいを検知するか」という手段 (How) の観点と、「検知されたすれちがいデータをどのように活用するか」という目的 (What) の観点の疎結合化にある。この疎結合化により、すれちがいシステムの開発者はどのよう

(注1): ある利用者のある時点での空間的な位置情報のこと。GPS による緯度経度情報だけでなく、SNS 等で記述された現在位置の情報を含む。

表 1 標準すれちがいデータの構造

Date-time*	Subject ID*	Object ID*	Detected-by	Distance	Accuracy	Location	Misc
2015/12/17 8:00	arisa	shinsuke	BLE	3	0.5		
2015/12/17 8:00	arisa	sachio	BLE	10	0.4		{msg:hello}
2015/12/17 8:00	shinsuke	sachio	inferred by P2	—	—		
2015/12/18 9:00	masa-n	arisa	Wi-Fi	12	0.7	{lat:139.4..., lon:35.8...}	

* means a required field.

にすれちがいを検知するかを意識することなく、収集されたすれちがいデータの活用方法のみに集中することが可能となる。同様に、すれちがい検出技術はどのように活用されるかを意識せず、近接検知の実現手段のみ専念することができる。さらに、様々なすれちがい検出技術が収集した情報を一元管理するため、複数の検出技術に横断的かつ効率的なすれちがいデータの収集も可能となる。

すれちがいフレームワークの全体アーキテクチャを図 1 に示す。各利用者のモバイル端末にはすれちがい検出アプリがインストールされており、このアプリが BLE や Wi-Fi 等の技術を用いて端末同士のすれちがいを検知する。検知された生のすれちがいデータは、利用する検知技術によってデータの表現方法や構造が異なる（図中の●と■）。BLE アダプタや WiFi アダプタはこれらデータの差異を吸収するコンポーネントであり、一般化された標準すれちがいデータ（図中▲）への変換を行う。標準すれちがいデータは WebAPI を経由して標準すれちがい DB に保持され、アプリ向けの API を経由して様々なすれちがいアプリに利用される。

2.3 標準すれちがいデータ

提案フレームワーク内で扱われる標準すれちがいデータについて説明する。標準すれちがいデータの一例を表 1 に示す。表中の*は必須フィールドであることを意味する。一行目のデータの場合、2015 年 12 月 17 日の午前 8 時に、ユーザ arisa とユーザ shinsuke がすれちがったことを意味する。この時のすれちがいの検出技術は BLE であり、二者の間の距離は 3m、このデータの確からしさは 50%であったことを表す。また、二行目の場合も同様であるが、Misc フィールドに {msg:hello} が含まれている。この Misc フィールドはユーザが自由に記述できる属性であり、すれちがい時にデータを交換したい場合等に利用できる。三行目は 2. 節で述べた性質 P2 に基づいて、一行目と二行目のすれちがいデータから推論されたものである。4 行目は Wi-Fi によって検知された場合の例であり、BLE のケースと同様に記述される。

2.4 すれちがいを利用した災害支援アプリケーション

現在、すれちがいを利用した様々なアプリケーションが市場に登場しつつある [1] [2] [9]。これら既存のアプリケーションに加え、先行研究ではすれちがいを利用した災害時の安否確認システムを提案した。このシステムは、災害時における安否情報や避難情報等を共有する伝言板の代替手段であり、より効率的な情報共有を実現するものである。災害時には、ネットワークインフラが使用不可能という特殊な状況が発生する。提案システ

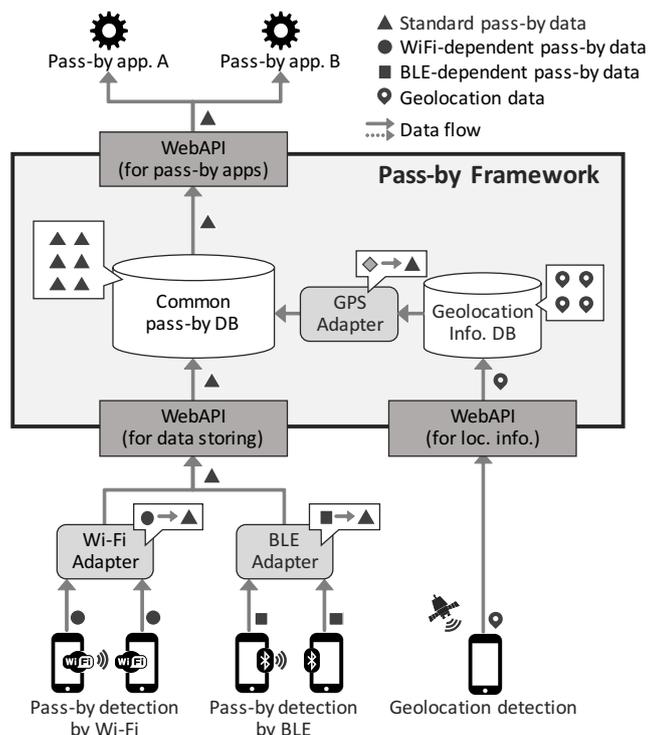


図 1 先行研究で提案したすれちがいフレームワークのアーキテクチャ

ムでは、携帯端末等を用いて不特定多数の被災者とのすれちがいデータを自動的に収集・蓄積する。収集されたすれちがいデータは、ユーザが避難所にたどり着いたタイミングで、避難所に設置された共有サーバ上にアップロードされる。被災者は共有サーバに検索をかけることで、自身が探している相手が見つかる、どこにいたかを効率的に見つけることが可能となる。さらに、提案フレームワークは様々なすれちがい通信技術を横断的に利用できるため、バッテリーの残量や屋内屋外などの周辺環境に応じて、近接検知方法を使い分けるといったことも可能となる。

3. 標準すれちがいデータ生成・蓄積に対する要件

先行研究では提案フレームワークにおける、検出技術とデータ活用の疎結合化というコンセプトの提案、すれちがいという現象の一般的な性質の整理、および全体的なアーキテクチャの提案にとどまっており、現実的にどのようにすれちがいデータを標準形式に変換し、収集・蓄積・活用するかについては今後の検討課題となっていた。本節では、標準すれちがいデータの生成と蓄積の実現に向けた 4 個の要件を整理する。

3.1 責務割り当ての明確化

どのコンポーネントがどのような処理や機能を提供するか、という責務割り当ての明確化はフレームワークの実現に必須の要件である。特に、モバイル端末のバッテリーを消費しがちなすれちがい通信においては、どの部分をモバイル端末側の機能として実現し、どの部分をサーバ側のアダプタの機能としてオフロードするかを明確に切り分ける必要がある。また、図1ではBLEとWi-Fiの2つのすれちがい技術を例示したが、他にも様々なすれちがい検出技術が存在する。NFC (Near Field Radio Communication) のような近距離無線や超音波を用いる方法のほか、接触型センサによる入室管理も一種のすれちがい検出技術であるといえる。このような様々なすれちがい検出技術をフレームワークの一つの機能として取り込むためには、アダプタで行うべき責務を明確に定義し、第三者開発者によるアダプタの開発と提供を受容できるように設計する必要がある。

3.2 名前解決の仕組み

どのデバイスと近接したかというデバイスの識別方法は、すれちがい検出技術によって様々である。BLEであれば電波送信側が送信した major と minor の値の組み合わせが、Wi-Fiであればデバイスに割り当てられた MAC アドレス等が識別情報として用いられる。すれちがい検出技術に依存しない標準すれちがいデータを提供するためには、デバイス固有の識別情報から、提案フレームワーク内での一意な固有 ID への名前解決方法の提供が必要となる。

3.3 すれちがいの性質を利用したデータベースの完全性確保の仕組み

収集されたすれちがいデータは、様々な理由によって完全性の欠如（欠損や不整合）が発生する。例えば、BLEによるすれちがい検出はビーコン信号のような単方向通信である。そのため、ユーザ X がユーザ Y とのすれちがい ($X \rightarrow Y$) を検出したとしても、逆方向、すなわち Y が X のすれちがい ($Y \rightarrow X$) を検出できるとは限らない。Y がネットワークに接続されていない場合も同様の現象が起きる。2.1 節で述べた性質 P1 に従えば、全てのすれちがいデータは対称性を持つため、DB には $X \rightarrow Y$ と $Y \rightarrow X$ の両方が投入されるべきである。このような、P1 から P4 の性質を利用した DB の完全性確保の仕組みが必要である。

3.4 WebAPI の設計

これまで述べてきた3つの要件は、フレームワーク内でどのようにデータを変換・生成するかという内部の視点からの要件であった。開発者のためのフレームワークの実現には、どのようにフレームワークを利用させるかという外部の観点からの API の設計が必須である。

4. 各要件に対する具体的解決策

本節では前節で述べた4個それぞれの要件について、どのように具体化・実現するかについて検討する。

4.1 責務割り当ての明確化

責務割り当ての検討結果として、詳細化されたフレームワー

クのアーキテクチャを図2に示す。すれちがいデータの生成から変換、利用の流れに従って、各コンポーネントの責務を以下で説明する。

4.1.1 すれちがい検出デバイス

すれちがい検出デバイス（図2の最下部）の主たる責務は、BLE や Wi-Fi 等の技術を用いて実際にすれちがいを検知し、指定されたアダプタへ送信することである。標準データへの変換や名前解決等の処理といった共通処理は、全てネットワーク上に配置されたアダプタにオフロードする。これによりモバイル端末側の機能の軽量化、およびバッテリーの節約を実現する。さらに、ネットワークに接続できない地下や災害時における利用のための、すれちがいデータのオフライン収集も重要な責務である。端末自体にすれちがいデータを蓄積しておき、ネットワークに接続されたタイミングで一括でデータをアップロードする。なお、図中ではスマートフォン同士、すなわちモバイル端末同士のすれちがいを例として挙げているが、片方が設置型の固定端末というアーキテクチャも取り得る。

4.1.2 すれちがいアダプタ

検出デバイス固有のデータの表現や構造を、標準すれちがいデータの形式（図2中の▲[#]）に変換する責務を持つ。例えば、BLE で検出された生の近接情報には、近接相手のデバイスを識別するための major と minor という値のほか、検出した信号の強さを表す RSSI (Received Signal Strength Indicator) の値が含まれる。BLE アダプタは、まず major と minor の値に基づいて後述する名前解決 DB に問い合わせ、ユーザの固有 ID を取得する。RSSI は BLE だけでなく Wi-Fi の信号強度にも利用されるが、全てのすれちがい検出技術に共通のデータ項目ではない。アダプタは利用される信号の性質に基づいて、この値をすれちがいの距離とその確からしさという形式に変換する。また、各アダプタはクラウド上のオンラインサービスとして提供されることで、処理の一元化とデバイスで行う処理の軽量化に貢献する。

4.1.3 名前解決 DB

アダプタからのリクエストに応じて、すれちがい検出技術固有の識別情報をフレームワーク内での一意な ID に変換するコンポーネントである。具体的な名前解決の手順は、4.2 節で後述する。

4.1.4 P1 ~ P4 Analyzer

2. 節で述べたすれちがいの性質 (P1 ~ P4) に基づいて、共通すれちがい DB の完全性を保つ責務を負う。各アナライザの具体的な処理方法については、4.3 節で後述する。

4.1.5 時空間情報 DB

この DB の責務は、緯度経度情報をはじめとする時空間情報を一元管理し、その利用者（ユーザやシステム）に提供することである。図1に示した先行研究でのアーキテクチャでは、この時空間情報 DB を、提案フレームワークの一つのコンポーネントとして検討していた。しかしながら、現在ではこのような位置情報を収集する外部サービス [10] も数多く登場しており、また Twitter や Facebook 等の SNS での投稿にも位置情報は

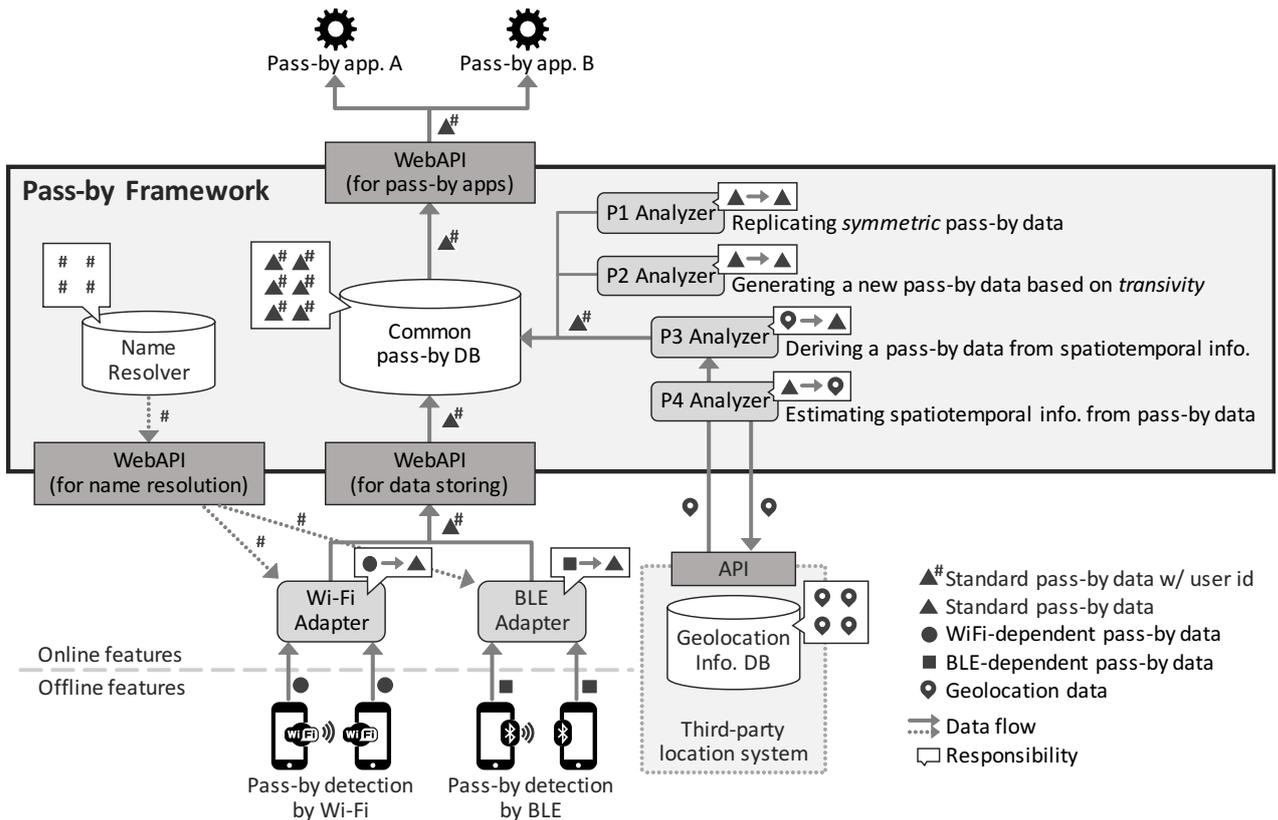


図 2 具体化されたフレームワークのアーキテクチャ、および標準データ生成・変換・利用の流れ

表 2 名前解決テーブル

User ID	Device-dependent User Identifier		...
	BLE	Wi-Fi	
arisa	{major:1, minor:4}	{mac:00-01-00-B2..}	...
shinsuke	{major:1, minor:5}	{mac:00-01-00-80..}	...
sachio	{major:1, minor:6}	—	...
masa-n	{major:1, minor:8}	{mac:00-01-00-93..}, {mac:00-01-00-12..}	...

含まれている。このように、時空間情報は様々な形で蓄積・収集が可能であるため、この責務は提案フレームワークの外に切り出すこととする。

4.2 名前解決の仕組み

すれちがい検出技術固有の識別 ID 情報から、提案フレームワーク内での一意な ID への名前解決を行う。表 2 に具体的な名前解決テーブルの例を示す。ここでの名前解決の仕組みは、基本的には key と value の対応、すなわち連想配列と同様の振る舞いで実現される。例えば、ある端末が BLE を用いて別の端末 X とのすれちがいを検知した時に、 X の BLE 識別情報が {major:1, minor:5} であった場合、この名前解決テーブルにより X の利用者が arisa であると解決される。単一のユーザは複数のすれちがい技術を利用する可能性があるため、単一の名前解決レコードには複数のデバイス固有 ID が記述される。また、複数の Wi-Fi 端末を持つユーザ masa-n の場合、複数の Wi-Fi の MAC アドレスが登録される。Wi-Fi 端末によるすれちがい検出を許可しない、あるいは Wi-Fi 端末を所有しないユーザ

sachio の場合、当該フィールドは空となる。

4.3 データベースの完全性確保の仕組み

すれちがいの性質 (P1~P4) に基づいて、共通すれちがい DB の欠損や不整合の訂正を行うコンポーネントである。例えば、性質 P1 はすれちがいの 2 者の対称性に関するものであり、P1 アナライザはこの性質に基づいて $\langle\langle x_1, x_2, l, t \rangle\rangle$ というすれちがいデータから、対称なすれちがいデータ $\langle\langle x_2, x_1, l, t \rangle\rangle$ の有無を確認する。もしこのデータが欠損していた場合は新たにデータを生成し格納することで、データベースの完全性を確保する。P2 アナライザも同様に、2 つのすれちがいデータ $\langle\langle x_1, x_2, l_1, t \rangle\rangle$ と $\langle\langle x_2, x_3, l_2, t \rangle\rangle$ から新たなすれちがいデータ $\langle\langle x_1, x_3, l_3, t \rangle\rangle$ を推論・生成する。P3 は 2 人のユーザ x_1 と x_2 の絶対的な時空間情報に基づいて、2 者間の相対的なすれちがいを推論するという性質である。P3 アナライザは Swarm [10] 等の外部サービスを用いて利用者の位置情報を取得し、新たなすれちがいデータを生成する。P4 アナライザは P3 アナライザとは逆の処理を行うコンポーネントであり、すれちがいフレームワークで蓄積されたすれちがいデータから、新たな時空間情報を生成するものである。これら 4 つの性質を利用したアナライザを独立したコンポーネントとして設けることで、すれちがいデータの完全性を保障する。

4.4 WebAPI の設計

提案フレームワークが提供する WebAPI は、標準すれちがいデータへのアクセス API と、名前解決テーブルへのアクセス API の 2 種類に分けられる。各 API の一覧を表 3 に示す。

表 3 すれちがいフレームワークの WebAPI 一覧

HTTP Method	Resource URI	Parameters	Description
POST	/passby/insert	oid*, sid*, datetime*, detectedby, ...	Insert a new pass-by data.
GET	/passby/list	—	Retrieve a list of pass-by data.
GET	/passby/search	oid, sid, datetime, detectedby, ...	Search for pass-by data.
GET	/pns/resolve	type*, identifier*	Resolve a user ID from a device identifier.
POST	/pns/create	userid*	Create a new user ID.
POST	/pns/update	userid*, type*, identifier*	Update a device identifier of a specific user.

The “pns” means “pass-by name system”. * is a required field.

1 行目から 3 行目がすれちがいデータを利用する API であり、4 行目～6 行目が名前解決テーブルの API である。API 利用例の一つとして、2 行目の /passby/list について説明する。この API は標準すれちがいデータのリストを取得するための API である。HTTP の GET を行う cURL コマンドを利用した場合、

```
$ curl -i http://pbfw/passby/list
```

上記コマンドを実行することで、複数のすれちがいデータを含んだ以下の JSON 構造のデータが取得できる。

```

1 [
2   {
3     datetime: "2015/12/17 08:00:00",
4     sid: "arisa",
5     oid: "shinsuke",
6     detectedby: "BLE",
7     distance: 3,
8     accuracy: 0.5,
9     location: null,
10    misc: null
11  }, {
12    datetime: "2015/12/17 09:00:00",
13    sid: "arisa",
14    ...
15  }, ...
16 ]

```

/passby/search はすれちがいデータを検索するための API である。検索のクエリとして、すれちがいデータの各属性を自由に指定することが可能である。

また、名前解決を行う際はデバイス固有の識別情報をパラメータとして、/pns/resolve を呼び出す。具体的な API の呼び出し方法は以下の通りである。

```
$ curl -i http://pbfw/pns/resolve?type=BLE&identifier="{major:1,minor:4}"
```

また、デバイスの所有者が変わった場合や、新規デバイスを購入した際には、/pns/update を利用して名前解決テーブルを更新することができる。

5. おわりに

本稿では、すれちがいフレームワークにおける、標準すれち

がいデータの生成・蓄積に必要な要件とその具体的解決策を提案した。今後の検討課題として、責務割り当てにより整理された各コンポーネントの実装が挙げられる。また、提案フレームワークを利用した場合としていない場合のアプリの開発コストの比較や、デバイス非依存の標準データ生成に関する妥当性の評価は必須の課題である。さらに、提案フレームワークは利用者数が多ければ多いほど効率的に情報を収集できる。この特性を活かした災害時の安否確認システムへの適用も取り組んでいきたいと考えている。

謝辞 この研究の一部は、科学技術研究費（基盤研究 B 26280115, 15H02701, 若手研究 B 26730155, 萌芽研究 15K12020）の研究助成を受けて行われている。

文 献

- [1] 任天堂株式会社, “すれちがい通信と通信の間に通信,” <http://www.nintendo.co.jp/3ds/hardware/features/network.html>.
- [2] “東京国立博物館ガイド 『トーハクナビ』,” http://www.tnm.jp/modules/r_free_page/index.php?id=1467.
- [3] G. Conte, M. De Marchi, A.A. Nacci, V. Rana, and D. Sciuto, “BlueSentinel: a first approach using ibeacon for an energy efficient occupancy detection system,” International Conference on Embedded Systems For Energy-Efficient Buildings (BuildSys), pp.11–19, 2014.
- [4] A. Miyamoto, D.J. Dubois, Y. Bando, K. Watanabe, and V.M. Bove, “Demo abstract: A proximity-based aerial survivor locator based on connectionless broadcast,” International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom), pp.184–186, 2015.
- [5] A. Kalamandeen, A. Scannell, E. deLara, A. Sheth, and A. LaMarca, “Ensemble: Cooperative proximity-based authentication,” International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys), pp.331–344, 2010.
- [6] F. Mueller, S. Stellmach, S. Greenberg, A. Dippon, S. Boll, J. Garner, R. Khot, A. Naseem, and D. Altimira, “Proxemics play: Understanding proxemics for designing digital play experiences,” Conference on Designing Interactive Systems (DIS), pp.533–542, 2014.
- [7] 林亜梨沙, 徳永清輝, 粕本真佑, 佐伯幸郎, 中村匡秀, “すれちがいシステムのためのアプリケーションフレームワークの一提案,” 電子情報通信学会技術研究報告, 第 114 巻, pp.049–054, Jan. 2015.
- [8] A. Hayashi, S. Saiki, S. Tokunaga, S. Matsumoto, and M. Nakamura, “Formulating device-independent pass-by rendezvous,” Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT), 2015.
- [9] 株式会社 NTT ドコモ, “シヨツぱらっと,” <http://shoplat.net/>.
- [10] “Swarm,” <https://ja.swarmapp.com/>.