

契約概念に基づくストリーム型データ共有基盤の検討

生出 拓馬^{1,2,a)} 阿部 亨^{1,3,b)} 菅沼 拓夫^{1,3,c)}

概要：ユーザの持つスマートフォン等からセンサデータを獲得して利用する参加型センシングに関する研究が進められている。従来の参加型センシングのサービスモデルでは、ユーザから獲得したセンサデータをクラウド等に集約して蓄積することで、大規模なセンサデータの解析を可能としている。しかし、このサービスモデルでは、獲得したセンサデータは必ず外部に一度蓄積されてから利用されるため、ユーザそれぞれの持つプライバシーポリシーの反映や、パーソナルデータ提供に対する考慮が不十分である。そこで本研究では、センサデータの提供者と利用者との公平な情報流通性を確保しながら、センサデータを共有して活用するストリーム型のサービス構築基盤の実現を目的としている。本稿では、ユーザ間での契約関係に基づくセンサデータの流通基盤のプロトタイプを試作し、本提案の実現可能性について述べる。

1. はじめに

小型化・高機能化したセンサデバイスの普及にともなう、様々な用途でセンサデータの利活用が進められている。一例として、環境情報の収集による大気汚染マップの提供 [1]、音情報の収集によるノイズマップの提供 [2]、位置情報の収集によるホットスポットマップの提供 [3] 等が挙げられる。特に、低コストで大規模かつ詳細なセンサデータを収集することができることから、ユーザの持つスマートフォンが内蔵する複数のセンサの利活用が期待されている。しかし、スマートフォンから得られるセンサデータにはパーソナルデータ [4] を含むことがあり、今日の日本においてはパーソナルデータの提供にあたって社会的な問題となった [5]。そのため、データ所有者のプライバシーポリシーを考慮し、それらを反映させてセンサデータを流通させる情報流通基盤の実現が必要である。

このようなセンサ型アプリケーションの実現モデルとして、参加型センシング [6] がある。参加型センシングに基づくサービス構成モデルでは、ユーザの持つ携帯端末をセンサデバイスとして利用することで、低コストで大規模かつ詳細なセンサデータを収集することができる。参加型センシングには、あらかじめ設定した単一種類のセンサデー

タを、多数のユーザで大規模に収集・活用する静的なモデル [2, 3, 7, 8] や、ユーザが自由に自分が収集したいセンサデータの情報(タスク)を告知し、他のユーザにセンサデータを提供してもらおう動的なモデル [9-11] があるが、いずれのモデルでも獲得したセンサデータをまずサーバに蓄積し、集約・解析を経てユーザに還元する。そのため、これらのサービスモデルでは、公開範囲や利用用途を制限することや、利用されないデータはそもそも提供しないといった、提供者のポリシーに応じた柔軟なデータの流通には限界があるといえる。

そこで、本研究では、センサデータを共有するサービスを動的に構築できるソフトウェアプラットフォーム環境の実現を目的とし、上記の課題を解決するサービス構築基盤として、契約型センサプラットフォームを提案する。提案基盤上では、各ユーザの位置情報等のコンテキストや予め設定したプライバシーポリシーに応じて動的にマッチングを行い、締結されたユーザ間の契約関係に基づいて動的にセンサデータを流通させるストリーム型のデータ共有アプリケーションを実現する。契約関係締結後にセンサデータの流通を開始することで、不要なパーソナルデータの提供を抑制し、利用用途に応じて予めデータに加工を施すことによって柔軟なセンサデータの提供が可能となる。

我々はこれまで、提案基盤上で用いるサービス構成モデルと、構成要素間で用いられる情報流通プロトコルについて提案し、簡易的な設計を行ってきた [12]。本稿では、これまでの設計を元に機能を限定したセンサデータの流通基盤のプロトタイプを試作し、プライバシーポリシーを考慮したセンサデータ流通の実現可能性について述べる。

¹ 東北大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

² 日本学術振興会特別研究員 DC
JSPS Research Fellow

³ 東北大学サイバーサイエンスセンター
Cyberscience Center, Tohoku University

a) oide@ci.cc.tohoku.ac.jp

b) beto@cc.tohoku.ac.jp

c) suganuma@cc.tohoku.ac.jp

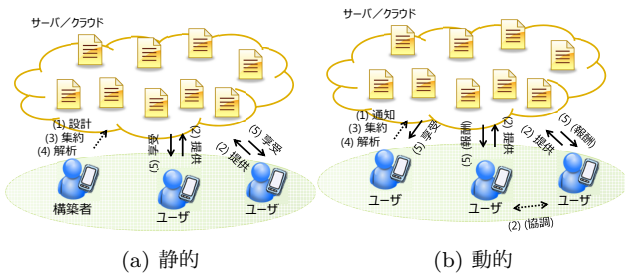


図 1: 参加型センシングのサービス構成モデル

2. 関連研究と課題

2.1 関連研究

ユーザの持つスマートフォンからセンサデータを獲得して活用する，参加型センシングに基づくサービス開発が研究・実用レベルで多く行われている．本研究では，それらのサービス構成モデルを静的なモデルと動的なモデルに分類する（図 1）．

静的な参加型センシングのサービス構成モデル（図 1a）では，あらかじめ設定した単一種類のセンサデータを，多数のユーザで収集・活用する．このモデルでは，まず (1) サービス開発者が収集データ等を設計した上でサービスを構築し，それに対して (2) ユーザがセンサデータを提供する．サーバ上に蓄積された提供データは必要に応じて (3) 集約や (4) 解析が行われ，(5) ユーザがその結果を取得することでサービスを享受する．一例として，Noise Tube [2] では音情報，City Sense [3] では位置情報，ウェザリポート Ch [7]，桜ナビ [8] では桜の動画情報をユーザから獲得し，サービスを提供している．

また，動的な参加型センシングのサービス構成モデル（図 1b）では，ユーザが自由に自分が収集したいセンサデータの情報（タスク）を他のユーザに告知し，センサデータを提供してもらう．このモデルでは，まず (1) あるユーザ（利用者）がタスクを全体に通知し，(2) 他のユーザ（提供者）が自身が貢献できるタスクに対してデータを提供する．サーバ上に蓄積された提供データは必要に応じて (3) 集約や (4) 解析が行われ，(5) 利用者はその解析結果を取得することでタスクが完了する．一例として，Sensr [9] では位置情報・文字情報・画像データを対象としたデータの流通システム，Help Me! [10] ではタスクの緊急度を考慮したデータの流通システム，DisCoPar [11] ではコンポーネント型のサービス構築フレームワークが提案されている．また，このモデルでは一般にデータの提供者が直接的に利益を享受することがないため，貢献度に応じた報酬の提供やゲーミフィケーションの概念の導入 [13] 等が必要となる．

2.2 課題

参加型センシングにおけるサービス構成モデルでは，単

一種類のデータを大規模に収集して活用する用途に向く静的なサービス構成モデルと，ユーザの要求を即時的に満たす用途に向く動的なサービス構成モデルがある．しかし，いずれのモデルでも，データをサーバ上に蓄積することが前提となっており，パーソナルデータのようなプライバシーレベルの高いセンサデータの流通には限界がある．また，静的なサービス構成モデルではサービス構築者，動的なサービス構成モデルではセンサデータの利用者がセンサデータの流通ポリシーを決定しており，センサデータの提供者のポリシーを反映させたセンサデータの流通が困難である．

そこで，本研究で対象とする課題を以下のように整理する．

(P1) 提供者のポリシーに応じたセンサデータの流通設定が困難：パブリックデータを含むセンサデータの流通では，提供者の提供ポリシーやプライバシー等を考慮したデータの流通が必要である．しかし既存研究におけるデータ共有のアプローチでは，センサデータをクラウド上に蓄積することを前提にしているため，公開範囲や利用用途を限定した上でデータを提供するという，提供者のポリシーに基いたセンサデータの流通設定が困難である．

(P2) 提供者のポリシーの変化に応じたセンサデータの動的制御が困難：提供者のポリシーに基いたセンサデータの流通によって実現されるサービスでは，提供者のポリシーの変化に応じて柔軟にセンサデータの流通を制御する必要がある．しかしデータの流通を変更することによって提供するサービス品質も変化するため，利用者要求との兼ね合いを考慮して制御する必要がある．しかし既存研究におけるサービス構築のアプローチでは，固定的・独占的に獲得したセンサデータを利用するため，サービスの制御のためにデータの提供者を考慮していない．そのため，既存技術では提供者のポリシーの変化に応じたサービスの動的制御が困難である．

3. 提案

3.1 提案の概要

提案するセンサプラットフォームの概要を図 2 に示す．本プラットフォームは，任意のセンサネットワークによって繋がれたユーザ所有のスマートフォン上で動作し，アプリケーション層に共通基盤を構築する．共通基盤上では，ユーザのポリシーを反映して動的に生成されたコンポーネント間で契約関係を結ぶことでデータの流通を実現し，センサ型アプリケーションを動的に構築する．ユーザは，センサデータの提供者として，スマートフォンに内蔵するセンサデバイスを共通基盤上に登録し，それらから生成されるセンサデータの提供ポリシーを設定する．また，アプリ

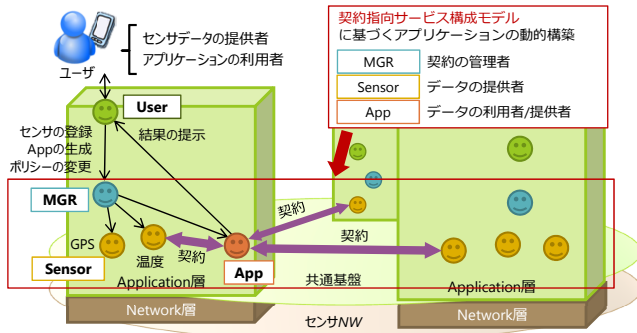


図 2: 提案プラットフォームの概要

ケーションの利用者として、自身の要求を反映したタスクを共通基盤上に登録し、動的にセンサ型アプリケーションを構築する。

本プラットフォームはコンポーネント型のセンサ型アプリケーションの構築プラットフォームであり、契約指向サービス構成モデルに基づくコンポーネント間の協調によってアプリケーションが構築される。これらの協調はあらかじめコンポーネントに設定されたユーザのポリシーをもとに、情報流通プロトコルによってコンポーネント間で自律的に行われる。これにより、ユーザによる特別な知識を必要とせず柔軟なサービス構築を実現する。特徴として、既存研究 [9-11] ではユーザが手動で行っていたタスクとのマッチングを、本プラットフォームではコンポーネント同士の自律的な交渉により自動で行う。また、直接的な交渉後にセンサデータの流通を開始することから、オークション理論等を応用したデータ提供者へのインセンティブの決定機構との親和性が高いことも特徴としてあげられる。

本プラットフォーム上におけるアプリケーションの構成要素（コンポーネント）には以下の4種類がある。

User : 利用者からの要求を、他のコンポーネントが理解できる形式に変換するインターフェースの役割を持つ。

MGR : 利用者からの要求によって動的に生成される Sensor や App コンポーネントの管理と、それらのコンポーネントが他の利用者のコンポーネントと結ぶ契約の管理を行う。

Sensor : 利用者によって登録されたセンサデバイスとして機能する。利用者によって設定された提供ポリシーに基づいて他の利用者のコンポーネントと契約を結び、契約内容に基づいてセンサデータの提供を行う。

App : 利用者によって構築されたアプリケーションとして機能する。利用者要求に基づいて他の利用者のコンポーネントと契約を結び、契約内容に基づいて流通されたセンサデータの獲得・処理・提示を行う。

なお、関連研究 [14, 15] においてストリーム型のデータ共有プラットフォームに関する提言がなされているが、本研究では、その交渉・データ流通における具体的な実現モデルを提案する。

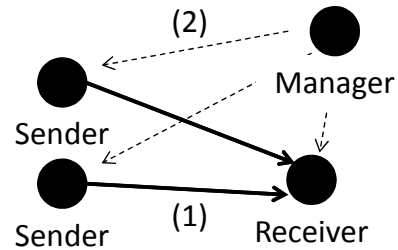


図 3: 契約指向サービス構成モデルの概要

3.2 契約指向サービス構成モデル

本プラットフォームでは、センサデバイス・センサネットワーク・アプリケーション等のコンポーネントが、柔軟かつ高度に協調するモデルが必要となる。そこで、コンポーネント間の相互作用を契約概念に基づく関係として捉えて組織化し、センサデータの流通を制御することでアプリケーションを実現する契約指向サービス構成モデルを提案する。これにより、公平な情報流通性と、利用者要求やセンサネットワーク環境への動的な適用性を実現する。

提案モデルの概要を図3に示す。本モデルにおけるアプリケーションは、データの提供者である **Sender**、データの利用者である **Receiver**、そしてそれらを監視する **Manager** の3つの構成要素から成る。1つのアプリケーションにつき Receiver は1つだが、Sender や Manager は複数存在してもよいものとする。データの流通は Sender から Receiver に向けて行われ、その際の頻度や利用用途は構成要素間で事前に締結された契約に基づいて決定される。

構成要素間での契約管理のための情報流通プロトコルとして、以下のプロトコルを提案する。

契約締結プロトコル : センサデータの提供ポリシーや利用者との関係に基いてデータの流通を制御する、Sender-Receiver 間の契約締結のための基本プロトコル (図3(1))。契約交渉時には、Sender, Receiver 双方のポリシーの他、両者の関係性に基いて成立の是非が決定される。このプロトコルの適用により、提供ポリシーに応じた柔軟なセンサデータの流通を実現し、課題 (P1) を解決する。

契約内容変更プロトコル : 提供ポリシーや利用者の要求、ネットワーク環境の変化などを Manager が監視し、契約内容の変更を行うためのプロトコル (図3(2))。契約内容の変更には、同一の相手と契約内容の変更を行う修正、異なる相手と新たに契約を結び直す再契約、そして契約を破棄してセンサデータの流通を停止する解消の種類がある。このプロトコルの適用により、提供ポリシーや利用者要求の変化に応じたサービスの機能・品質の動的制御を実現し、課題 (P2) を解決する。

3.3 応用例

本プラットフォーム上で構成される具体的なセンサ型ア

アプリケーション例として、以下の様なアプリケーションを想定している。

天候モニタリングシステム : 目的地周辺の気温・照度・湿度・雨量センサ等の環境センサを動的に発見してセンサデータを収集し、リアルタイムで表示する。従来の天候モニタリングシステムと比較して、利用者の要求に則った地点の詳細な天候データが得られるという効果が期待できる。

健康管理システム : 被観察者の健康状態に応じて心拍・血圧センサ等の生体センサから収集するセンサデータの頻度や項目を変更し、リアルタイムで表示する。従来の健康管理システムと比較して、不必要なセンサデータの流通を制御できるため生体センサの消費電力を抑えられるという効果が期待できる。

本プラットフォーム上で用いるサービス構成モデルでは、クラウド等にセンサデータを蓄積せずにリアルタイムで利用者に対して生データの提供を行う。そのため、過去に遡って大量のデータを解析する必要があるアプリケーション等の構築には不向きであり、センサデータのリアルタイムモニタリングシステム等の構築に適している。

4. プロトタイプシステム

4.1 想定する環境

3章に基づくソフトウェアプラットフォーム実現の前段階として、機能を限定した簡易的なプロトコルを実装したプロトタイプシステムを構築し、センサデータ流通の実現可能性を検討する。具体的には、プロトタイプシステムの実現にあたって以下の利用者環境を想定する。

- ユーザはセンサデータの提供者として、自身の所有するスマートフォンの内蔵センサのうちの任意のものを善意で登録する
- 登録されたセンサには、提供者のプライバシーポリシーや許容する電力消費の観点から、公開範囲や公開対象の制限、転送の許可、提供頻度の3項目を提供ポリシーとして設定する
- ユーザはアプリケーションの利用者として、任意の空間、頻度でセンサデータをリアルタイムで収集するセンサ型アプリケーションを動的に構築する
- アプリケーション内ではセンサデータは生データのままで流通し、加工データの流通は行わない
- センサデータの提供者に対してタスクの通知や報酬の授与は行わない

4.2 設計

4.2.1 契約指向サービス構成モデルの設計

想定環境における利用者のポリシー (Policy) を、流通形態 (SCOPE)、流通頻度 (Frequency)、流通範囲 (Area) の持つ属性を持つものとして定義する (表1)。また、Sender-

表 1: ポリシーの属性の定義

Policy	: ポリシー
Scope	: 許可するデータの流通形態. 許可する程度により, PUBLIC, PROTECTED, PRIVATE の3段階から選択する
Frequency	: データの流通を行う頻度. 高頻度 (HIGH), 中頻度 (MIDDLE), 低頻度 (LOW) の3段階から選択する
Area	: データの流通を許可する地理的な範囲. 中心座標 (Center) と中心からの距離 (Range) の円形で表現する

表 2: 契約の属性の定義

Contract	: 契約
ID	: 契約毎に与えられる一意の数値
DataType	: 流通データの種類
Receiver	: データの利用者
Sender	: データの提供者
SourceSender	: (多段契約の場合) データの1次提供者
Condition	: 流通条件

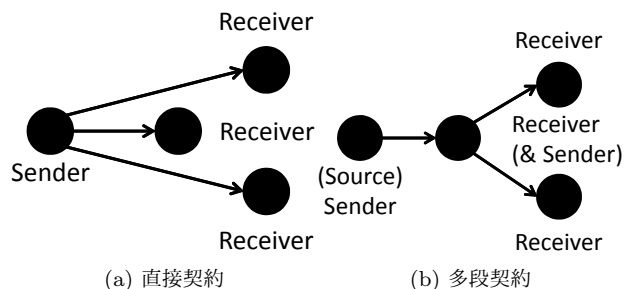


図 4: センサデータの流通形態

Receiver 間で締結される契約 (Contract) の持つ属性を表2に定義する。なお、ポリシーの持つそれぞれの属性の各要素の意味合いは、提供者・利用者・契約のどの構成要素が持つポリシーなのかで変化する (表3)。また、Frequencyの各要素の具体的な頻度は実装によって決定される。

流通形態 (SCOPE) は、コンポーネント間の契約形態によって直接契約と多段契約を定義する (図4)。直接契約 (図4a) は、Sender と Receiver が直接的に交渉して結ばれる契約であり、少ない遅延で確実にセンサデータを獲得できる一方で、Sender に負荷が集中してしまう恐れがある。一方、多段契約 (図4b) は、直接契約を結んでいる Receiver が、その契約で獲得するデータの中継者として他の Receiver と交渉して結ばれる契約である。この形態では、センサデータの伝送負荷をコンポーネント間で分散できる一方で、中継コンポーネントの離脱やポリシー変更等によりセンサデータの獲得が中断してしまう恐れがある。

表 3: 各構成要素のポリシーの意味合い

(a) 提供者のポリシー

Sender.Policy	: 提供ポリシー
Scope.PUBLIC	: 自由に転送を許可
Scope.PROTECTED	: 認証後に転送を許可
Scope.PRIVATE	: 転送を禁止
Frequency	: データを送信できる頻度
Area	: データを提供する利用者の存在範囲

(b) 利用者のポリシー

Receiver.Policy	: 利用者要求
Scope.PUBLIC	: 自由に転送を実行
Scope.PROTECTED	: ポリシーを継承して転送を実行
Scope.PRIVATE	: 転送を実行しない
Frequency	: データを受信したい頻度
Area	: 利用したいデータの生成範囲

(c) 契約の流通条件

Contract.Condition	: 流通条件
Scope.PUBLIC	: 自由に多段契約を許可
Scope.PROTECTED	: SourceSender の認証後に多段契約を許可
Scope.PRIVATE	: 多段契約を禁止
Frequency	: データを流通する頻度
Area	: データを流通する利用者の存在範囲

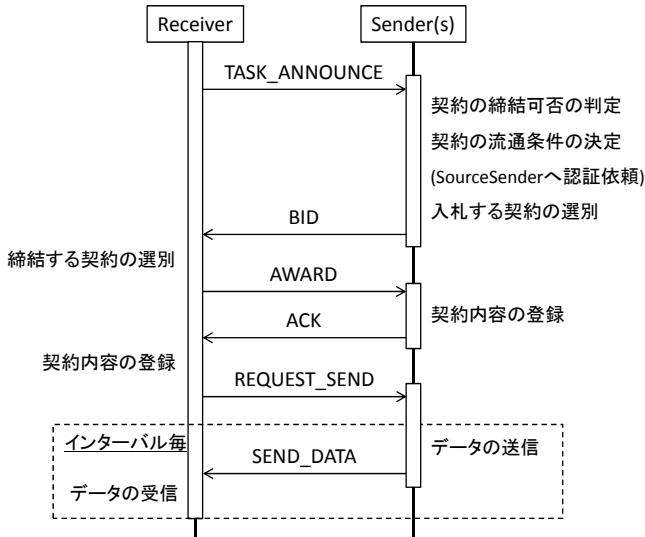
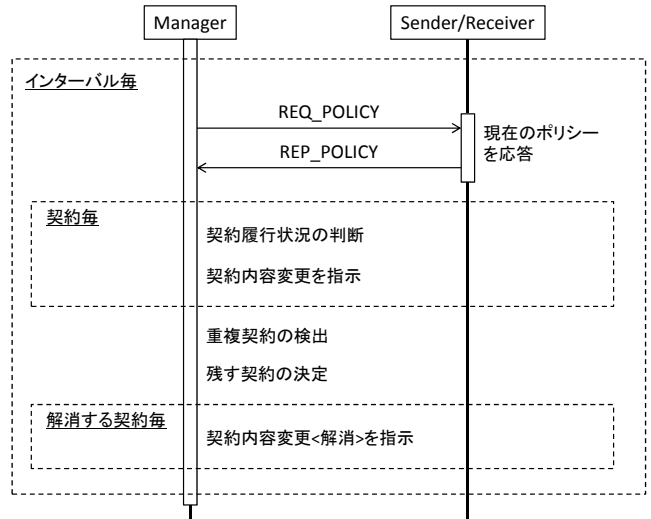


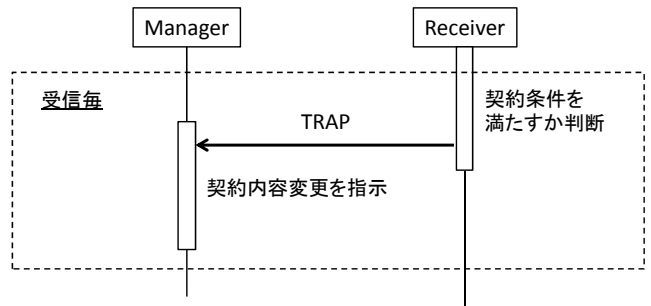
図 5: 契約締結プロトコルのシーケンスチャート

4.2.2 情報流通プロトコルの設計

図 5 に契約締結プロトコルのシーケンスチャートを示す。契約締結プロトコルでは、Sender と Receiver 間での契約締結の流れを定義する。まず、Receiver はユーザの意向を反映した自身の Policy を周囲の Sender(s) に提示し、契約締結



(a) Manager による監視



(b) Receiver による監視

図 6: 契約内容変更プロトコルのシーケンスチャート

の可否を問う (TASK_ANNOUNCE)。提示する Sender(s) は、既知であればその Sender のみ、そうでなければ Receiver.Policy.Area 内の全ての Sender とする。Sender(s) は、提示された Receiver.Policy と、自身の Sender.Policy について比較し、契約の締結可否の判定を行う。この時、入札を行う契約について、Scope.PROTECTED の際は、SourceSender へ通知を行い認証を受ける。この認証によって、特定のユーザのみにデータの流通を許可するといった、ユーザ間の関係に基いてセンサデータの流通を可能とする。その後、複数の入札候補が存在する場合、最も良い流通条件を持つ契約以外を入札候補から除外する。最終的に、残った入札候補を BID として Receiver に対して通知する (BID)。BID を受け取った Receiver は、複数の Sender から収集した BID を集約し、最も良い流通条件を持つ契約以外を契約候補から除外する。最終的に残った契約候補について契約関係が締結され、その旨が Sender に対して通知される (AWARD)。その後、契約内容の登録を Manager に対して行い、データ送信のリクエストを通知する (REQUEST_SEND)。リクエストを受け取った Sender は登録した契約内容に基いた周期で Receiver に対してセンサデータの提供を開始する (SEND_DATA)。

図 6 に契約内容変更プロトコルのシーケンスチャートを示



図 7: プロトタイプシステム

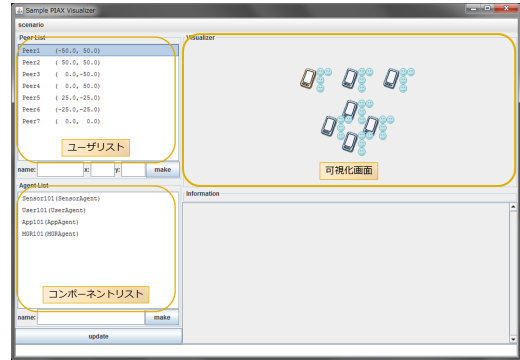


図 8: 評価実験用アプリケーション

す。契約内容変更プロトコルでは、締結された契約内容の変更の必要性を検知し、変更を施す流れを定義する。図 6a の Manager による契約履行の監視では、一定周期ごとに Manager が契約の履行状況を監視する。まず、Manager は自身に登録された Contract を締結している Sender (または Receiver) に現在のポリシーを問い合わせる (REQ_POLICY)。Manager は、その応答 (REP_POILICY) による Policy と、登録されている Contract.Condition について比較を行い、契約内容変更の必要性を判断する。このとき、契約内容の変更が必要だと判断する際には、違反した項目に応じて、契約内容・相手の変更か、契約解消の指示を該当コンポーネントに対して行う。また、Manager は同時に、同じセンサーデータが異なる経路で流通しているかを監視し、そういった重複契約が検出された際に最も良い流通条件以外の契約の解消を指示する。一方、図 6b の Receiver による契約履行の監視では、契約に基づくセンサーデータを受信することを受信データと契約内容を比較し、契約内容変更の必要性を判断する。

4.3 実装

前節までの設計をもとに、提案プラットフォームの機能の一部を実現するプロトタイプシステムを Android 環境上で実装した (図 7)。実装した端末は AQUOS PHONE SH-07E, Android 4.2.2, Sensor コンポーネントとして実現するスマートフォン内蔵センサは GPS と照度センサとした。

5. 動作確認実験

5.1 実験の概要

情報流通プロトコルの動作確認では、PC 環境上に実装したシミュレーション実験のための評価実験用アプリケーションを用いた (図 8)。なお、実装にあたり、センサネットワークの構築には PIAX2.2 [16, 17] を用いた。

本動作確認実験では、本提案プラットフォームの有効性を確認するため、様々なポリシーを持つユーザ間でデータを流通させ、それらが環境の変動 (利用者の追加・削除、

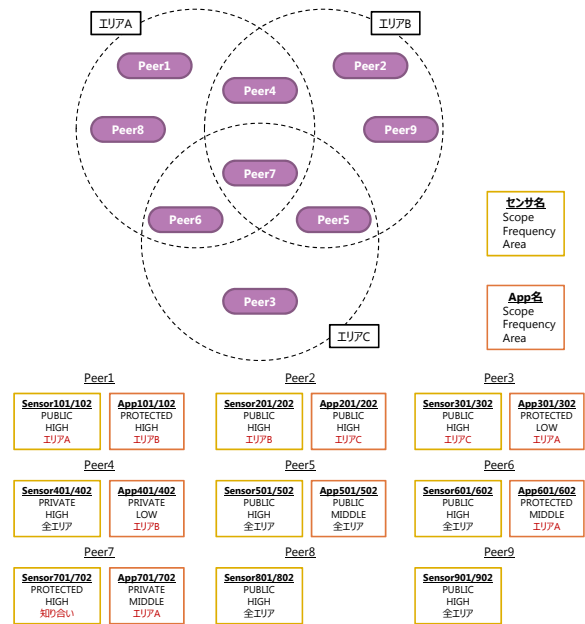


図 9: 動作確認実験の想定環境

ポリシーの変更) によって正しく制御されるか確認する。

図 9 に想定環境を示す。想定環境では、ユーザは 9 人存在し (Peer1~Peer9), エリア A・エリア B・エリア C の 3 つに区分されたそれぞれのエリアに駐在している。それぞれの Peer は 2 種類のセンサデバイスを内蔵するスマートフォンを保持しており (Sensor101, Sensor102, ..., Sensor902), ユーザ毎に異なるポリシーを設定する。このとき、一部のユーザ (Peer1~Peer3) は自身のセンサの消費電力を抑えるために、提供範囲を自分のいるエリアに限定する。また、Peer7 はプライバシーの保護のため、知人のユーザ (Peer1, Peer2, Peer3, Peer6) へのセンサデータの提供に限定する。

用いたシナリオは以下の通り。

- (1) Peer1~Peer7 がそれぞれ 2 種類のセンサデバイスを登録する (Sensor101~Sensor702)
- (2) Peer1~Peer7 がセンサデータ流通アプリケーションを構築する (App101~App702)
- (3) 構築したアプリケーションを用いてセンサデータを 30 秒間流通させる (環境 1)

表 4: 実験結果 (環境 1)

Sensor101-App601	Sensor102-App602
Sensor101-App701	Sensor102-App702
Sensor201-App401	Sensor202-App402
Sensor201-App501	Sensor202-App502
Sensor301-App501	Sensor302-App502
Sensor401-App401	Sensor402-App402
Sensor401-App701	Sensor402-App702
Sensor501-App201-App101	Sensor502-App202-App102
Sensor501-App201-App401	Sensor502-App202-App402
Sensor501-App501	Sensor502-App502
Sensor601-App201	Sensor602-App202-App502
Sensor601-App301	Sensor602-App302
Sensor601-App501	Sensor602-App602
Sensor601-App601	Sensor602-App702
Sensor601-App701	Sensor702-App102-App302
Sensor701-App101-App301	Sensor702-App102-App602
Sensor701-App101-App601	

表 5: 実験結果 (環境 2)

Sensor101-App601	Sensor102-App602
Sensor101-App701	Sensor102-App702
Sensor201-App401	Sensor202-App402
Sensor201-App501	Sensor202-App502
Sensor401-App101	Sensor302-App502
Sensor401-App301	Sensor402-App402
Sensor401-App401	Sensor402-App702
Sensor401-App501	Sensor502-App202-App102
Sensor401-App601	Sensor502-App202-App402
Sensor401-App701	Sensor502-App502
Sensor501-App401	Sensor602-App202-App502
Sensor501-App501	Sensor602-App302
Sensor601-App301	Sensor602-App602
Sensor601-App501	Sensor602-App702
Sensor601-App601	Sensor802-App302
Sensor601-App701	Sensor802-App502
Sensor801-App301	Sensor802-App602
Sensor801-App501	Sensor802-App702
Sensor801-App601	Sensor902-App102
Sensor801-App701	Sensor902-App402
Sensor901-App101	Sensor902-App502
Sensor901-App401	
Sensor901-App501	

(4) 以下の環境変更を実行する

- Sensor301 の流通形態を PRIVATE に変更する
- Sensor401 の流通形態を PUBLIC に変更する
- Sensor501 の提供頻度を MIDDLE に引下げ
- Sensor601 の提供頻度を MIDDLE に引下げ
- Peer7 が 2 台のセンサの登録を解除する (Sensor701, Sensor702)
- 新たに Peer8 が 2 台のセンサをエリア A に登録する (Sensor801, Sensor802)
- 新たに Peer9 が 2 台のセンサをエリア B に登録する (Sensor901, 9ensor902)

(5) 各々のアプリケーションを 30 秒間利用する (環境 2)

また、実験にあたって設定したパラメータは以下の通り.

- Frequency.HIGH = 1000 ms
- Frequency.MIDDLE = 2000 ms
- Frequency.LOW = 4000 ms
- $\alpha = 0.5$

ここで、パラメータ α は、基本契約プロトコルにおいて、収集した BID から最も良い流通条件の契約を選ぶ際、流通条件が同じ直接契約と多段契約が存在した際に多段契約を選択する割合である。すなわち、 $\alpha = 0.0$ であればすべての契約が直接契約となり、 $\alpha = 1.0$ であれば可能なだけ多段契約を締結しようとする。

なお、Sensor, App の名称について、各コンポーネントの数値の 1 桁目が 1 のものが GPS と、2 のものが照度センサとそれぞれ紐付いているものとする。

5.2 実験結果

表 4 と表 5 に、それぞれの環境において締結された契約を表す。契約の表記の仕方としては、ハイフンを挟んだ

両方で契約関係が結ばれており、左側が Sender, 右側が Receiver とした。

表より、環境 1 においては 38 契約、環境 2 においては 46 契約が締結された。また、それぞれの契約は、下一桁が一致する (紐付いているセンサの種類が等しい) コンポーネント間で締結された。

環境 1 における結果から、Sensor101 はエリア A に存在し (Sensor101.Policy.Area=エリア A) かつエリア A のデータを欲する App601 と App701 (App601.Policy.Area=エリア A, App701.Policy.Area=エリア A) と正しく契約が結ばれた。また、多段契約においても、Sensor601 と App201 との契約においては App201 の要求頻度である 1 秒ごとにデータの流通が行われ (App201.Policy.Frequency=HIGH), その下位契約である App201 と App501 との契約においては App501 の要求頻度である 2 秒ごとにデータの流通が行われた (App501.Policy.Frequency=MIDDLE)。その他全ての契約においても同様に両者のポリシーに則ってマッチングがなされて契約関係が締結され、ポリシーに基いたデータの流通が開始されたことを確認した。以上のことから、契約締結プロトコルの適用によって利用者要求を満たしつつ提供者のポリシーに応じたセンサデータの流通を実現した。

次に、環境 2 における結果から、Scope を PRIVATE に変更した Sensor301 が、Scope が PUBLIC である App501 との契約を解消したことを確認した。また、Frequency

を MIDDLE に引下げた Sensor501 と Sensor602 が, Frequency の HIGH を要求していた App101 と App201 との契約を解消したことを確認した. その他の契約に関しても, ポリシーの変更に応じて正しく契約内容の変更がなされた. 以上のことから, 提供者のポリシーや環境の変化に応じて柔軟にセンサデータの流通を制御できた.

6. おわりに

本研究では, センサデータを共有するサービスを動的に構築できるソフトウェアプラットフォーム環境の実現を目的とし, 契約型センサプラットフォームを提案した. 提案基盤上では, その構成要素にサーバを含まないストリーム型のデータ共有アプリケーションを実現することで, 利用者のポリシーに応じたセンサデータの利活用が可能となる. 本稿では, 想定環境に基づく情報流通プロトコルを設計し, センサデータ流通基盤のプロトタイプを試作した. 今後の予定として, 本稿において行った動作確認実験を実環境上でも実施し, 実行時間や消費資源との関係を明らかにする. その後, それらの情報をモデル化した上でコンポーネント間の交渉時に反映させることで, 端末の状況も考慮したセンサデータの流通制御の実現を目指す. また, ポリシー項目の拡張や交渉メカニズムの柔軟化等のプロトコルの拡張を進め, 実用性に関するシステム評価を行う.

謝辞 本研究は JSPS 科研費 15J09912 の助成を受けたものである.

参考文献

- [1] Dutta, P., Aoki, P. M., Kumar, N., Mainwaring, A., Myers, C., Willett, W. and Woodruff, A.: Common Sense: Participatory Urban Sensing Using a Network of Handheld Air Quality Monitors, *Proc. the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '09)*, ACM, pp. 349–350 (2009).
- [2] NoiseTube (online), available from <http://noisetube.net/> (accessed 2015-06-08).
- [3] CitySense (online), available from <http://www.sensenetworks.com/products/macrosense-technology-platform/citysense/> (accessed 2015-06-08).
- [4] 総務省:「パーソナルデータの利用・流通に関する研究会」報告書, 総務省 (オンライン), 入手先 http://www.soumu.go.jp/main_content/000231357.pdf (参照 2015-06-08).
- [5] JR 東日本:Suica に関するデータの社外への提供について, JR 東日本 (オンライン), 入手先 http://www.jreast.co.jp/pdf/20140320_suica.pdf (参照 2015-06-08).
- [6] Burke, J. A., Estrin, D., Hansen, M., Parker, A., Ramanathan, N., Reddy, S. and Srivastava, M. B.: Participatory Sensing, *Proc. World Sensor Web Workshop (SenSys '06)* (2006).
- [7] ウェザーニュース (オンライン), 入手先 <http://weathernews.jp/> (参照 2015-06-08).
- [8] 永田大地, 前中省吾, 森下慈也, 玉井森彦, 安本慶一, 福倉寿信, 佐藤啓太:桜ナビ:参加型桜動画収集・共有とルート案内システム, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, Vol. 2014, No. 5, pp. 55–57 (2014).
- [9] Sunyoung, K., Jennifer, M. and Eric, P.: Sensr: Evaluating a Flexible Framework for Authoring Mobile Data-collection Tools for Citizen Science, *Proc. the 2013 Conference on Computer Supported Cooperative Work*, pp. 1453–1462 (2013).
- [10] 坂村美奈, 米澤拓郎, 中澤仁, 高汐一紀, 徳田英幸: Help Me!:参加型センシングにおける参加機会創出のための情報の価値付けと可視化システム, 技術報告 35, 慶應義塾大学環境情報学部, 慶應義塾大学政策・メディア研究科, 慶應義塾大学環境情報学部, 慶應義塾大学環境情報学部, 慶應義塾大学環境情報学部 (2014).
- [11] Zaman, J. and Meuter, W. D.: DisCoPar: Distributed Components for Participatory Campaigning, *Proc. the Sixth IEEE Workshop on Pervasive Collaboration and Social Networking*, pp. 160–165 (2015).
- [12] Oide, T., Abe, T. and Suganuma, T.: A Design of Contract-oriented Sensor Application Platform, *Proc. the Sixth IEEE Workshop on Pervasive Collaboration and Social Networking*, pp. 172–177 (2015).
- [13] 上山芳隆, 玉井森彦, 安本慶一: ユーザ参加型センシングにおけるゲーミフィケーションに基づくインセンティブ機構の提案, 技術報告 12, 奈良先端科学技術大学院大学, 奈良先端科学技術大学院大学, 奈良先端科学技術大学院大学 (2013).
- [14] 安本慶一, 山口弘純: モバイル時代のサービスを支える技術: 5. 多数のデータストリームを実時間で融合・編纂し利活用するための次世代「情報流」技術-情報流キュレーション基盤実現に向けた課題抽出と取り組み-, 情報処理, Vol. 55, No. 11, pp. 1281–1287 (2014).
- [15] InfoFlow-情報流プロジェクト- (オンライン), 入手先 <http://www.infoflow.org/> (参照 2015-06-10).
- [16] Teranishi, Y.: PIAX: Toward A Framework for Sensor Overlay Network, *Proc. 6th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, pp. 1212–1216 (2009).
- [17] PIAX (オンライン), 入手先 <http://www.piax.org/> (参照 2015-06-10).