

Universal Location Platform : 汎用的位置情報基盤の設計と実装

原 史明[†], 沼田 雅美[†], 植原 啓介^{††}
砂原 秀樹^{†††} 寺岡 文男[†]

ユーザの位置情報に基づき、インターネットを利用した様々な位置情報サービスが実用化されている。しかし、より利便性の高い位置情報サービスを提供するためには、多様な位置測位デバイスに対応することに加えて、多様な位置の表現形式(空間参照系)に対応する必要がある。そこで本論文はインターネット上で汎用的に位置情報を取り扱う機構である Universal Location Platform (ULP) を設計・実装する。ULP は位置情報取得・管理機能, 空間参照系変換機能, 位置情報提供機能を持ち, それぞれの機能ごとに分散化することで規模拡張性を確保する。汎用的に位置情報を記述するため, XML を利用して位置情報を取り扱う。また, 多様な位置測位デバイスに対応し空間参照系変換機能によって指定した空間参照系により応答する。さらに, 位置測位デバイスを抽象化した位置情報提供インタフェースを実現し, プライバシールールを利用したプライバシー保護機構を持つ。評価として位置情報検索処理時間の測定, 位置情報基盤の必要要件に基づく考察を行い, ULP の実用性を検証した。

The Design and Implementation of Universal Location Platform

FUMIAKI HARA,[†] MASAMI NUMATA,[†] KEISUKE UEHARA,^{††}
HIDEKI SUNAHARA^{†††} and FUMIO TERAOKA[†]

In this paper, we present the design and implementation of Universal Location Platform (ULP). ULP is a location information platform, that has the location collection, location management, and location transform function. ULP separates each functions, and decentralizes on the Internet. ULP realizes the provision of locations that has variety location representations by location transform function, and privacy protection function by access control with privacy rules and the modification of location resolution. In evaluation, we did performance evaluation and verified the practicality of ULP.

1. はじめに

ユーザの位置情報に基づき、インターネットを利用した様々なサービスが実用化されている。現在位置の周辺にある店舗情報等を提供するサービスやナビゲーションサービス等がサービス例としてあげられ、本論文はこれを“位置情報サービス”と呼ぶ。

一方、位置取得技術の発展により多様な位置測位デバイスが登場しつつある。GPS (Global Positioning System) をはじめとして、RFID (Radio Frequency Identification) システム, 無線 LAN デバイスの接続先アクセスポイント情報を利用した位置情報取得等が例としてあげられる。これらの位置測位デバイスは各位置測位デバイスの性質により、位置測位に適した環境が異なる。たとえば GPS は屋外での位置測位に適しているが、GPS 信号の届かない屋内での位置測位に適さない。

以上にあげた位置取得技術の発展に対して、現在の位置情報サービスはある特定の位置測位デバイスを前提として構成されている。たとえば、多くの携帯電話事業者によって実用化されている位置情報サービスは各携帯電話事業者の携帯電話に搭載された GPS を利用して位置情報を測位する。そのため携帯電話による位置情報サービスは GPS 信号の届かない屋内や地下では基地局情報をもとにした位置情報となり、位置情

[†] 慶應義塾大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Keio University

^{††} 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

Graduate School of Media and Governance, Keio University

^{†††} 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科

Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

現在, 株式会社 NTT データ

Presently with NTT DATA CORPORATION

現在, 株式会社三菱総合研究所

Presently with Mitsubishi Research Institute, Inc.

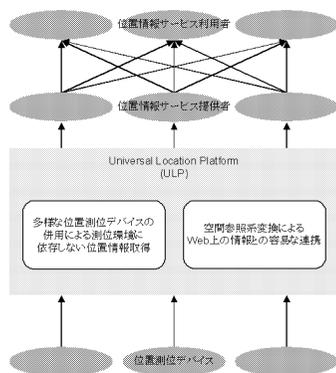


図 1 ULP に基づく位置情報サービスの構成

Fig. 1 Constructure of location services based on ULP.

報の解像度が著しく低下する．このように、現状の位置情報サービスは高解像度の位置情報が測位できる環境が制限されることにより、位置情報サービスの適用範囲が制限されることが多い．そこで、位置測位に適した環境が異なる位置測位デバイスを併用することで環境に依存しない位置測位が可能となり、より利便性の高い位置情報サービスを提供できる．位置測位デバイスの併用例として、屋外では GPS、屋内では無線 LAN アクセスポイントを利用するといった例があげられる．

また、多様な位置測位デバイスの出現によりその位置測位デバイスが出力する位置の表現形式は多様化している．位置の表現形式には位置測位デバイスが使用する表現形式に加えて、部屋番号や場所の略称、フロアマップ等、人が日常使用する表現形式が存在する．そして、Web 上に多数存在する位置に関する情報の多くは人が日常使用する位置の表現形式で記述されたものである．現在の位置情報サービスが利用する表現形式は緯度・経度や住所が大部分を占めるが、人が日常使用する位置の表現により位置情報を取得することによって Web 上の情報との連携が容易となり、より利便性の高い位置情報サービスを提供できる．本論文では上記の位置の表現形式を“空間参照系”と呼ぶ．また、ある空間参照系における位置情報を他の空間参照系における位置情報へ変更する操作を“空間参照系変換”と呼ぶ．

以上にあげた位置測位デバイスの併用と多種多様な空間参照系変換を実現するため、本論文はインターネット上の分散システムとして汎用的に位置情報を取り扱う基盤である、Universal Location Platform (ULP) を設計・実装する．ULP は図 1 に示すように位置情報サービス提供者と位置測位デバイスの中間に位置し、いかなる位置測位デバイスや空間参照系変

換にも依存せず、それらを容易に取り込むことが可能である．ULP により、多様な位置測位デバイスの併用による測位環境に依存しない位置情報取得と空間参照系変換による Web 上の情報との容易な連携が可能となり、より利便性の高い位置情報サービスを提供するための基盤が実現する．

2. 必要要件

ULP は位置情報サービスを提供するための位置情報基盤である．そのため、ULP の必要要件は ULP の特徴である多様な位置測位デバイスへの対応、空間参照系変換に加えて、位置情報基盤の利用者である位置情報検索者の利便性や位置情報登録者のプライバシー保護、システムの規模拡張性を考慮する必要がある．ULP の必要要件の詳細を以下に述べる．

2.1 多様な位置測位デバイスへの対応

ULP は多様な位置測位デバイスを併用した、測位環境に依存しない位置測位を目的とする．よって、ULP は特定の位置測位デバイスに依存しない汎用的な方式での位置情報取得を可能とする必要がある．また、多様な位置測位デバイスによりその位置情報の出力形式は異なるため、ULP は多様な位置測位デバイスの位置情報の出力形式に対応する必要がある．

2.2 空間参照系変換

位置測位デバイスが利用する空間参照系や位置情報検索者が要求する位置情報の空間参照系は多岐にわたる．また、空間参照系にはラベル表記、座標系表記等の多様な表記の形式が存在する．空間参照系変換はこのような多様な空間参照系について変換可能である必要がある．また、部屋番号やフロアマップ等の特定の領域を表現する空間参照系に対応するため、ULP の利用者が自由に空間参照系を定義できる必要がある．さらに、ULP が多様な空間参照系による位置情報を汎用的に利用するため、位置情報の汎用的な記述形式が必要となる．

2.3 位置情報提供インタフェース

位置情報検索者の利便性を考慮し、位置測位デバイスの併用を前提とする ULP は位置情報検索者に対して位置情報登録者が所有する位置測位デバイスについて意識することのない位置情報検索インタフェースを提供する必要がある．

2.4 プライバシー保護

位置情報は個人情報の一部となる場合が多く、多様な位置情報サービスに対応したプライバシー保護機能が必要である．

位置情報登録者のプライバシーの脅威として 3 点あ

げられる。まず、不特定多数の位置情報検索者による位置情報取得に対抗するため、アクセスコントロール機構が必要となる。アクセスコントロールに利用する位置情報の公開条件は、公開対象や位置情報の測位時刻、位置、位置情報登録者のコンテキスト情報等の多様な条件によって指定可能とする必要がある。次に、詳細な位置情報による位置情報登録者の状態推定を防止するため、位置情報の解像度を変更することにより要求以上に詳細な位置情報を公開しない機構が必要となる。変更する解像度についてもアクセスコントロールと同様に位置情報登録者の多様な条件によって指定可能とする必要がある。最後に、悪意のある者による盗聴・改竄等に対抗するため、通信路の暗号化等のセキュリティ対策が必要である。

2.5 システムの規模拡張性の確保

ULP は多くの位置情報登録者および位置情報検索者が利用する。そのため、ULP は位置情報登録数および位置情報検索数について規模拡張性を確保する必要がある。

3. 関連研究

移動体の位置情報を取り扱う位置情報基盤として、Architecture of a Large-scale Location Service¹⁾ や GLI (Geographical Location Information) システム^{2),3)}、Location Stack⁴⁾ がある。また、IETF (Internet Engineering Task Force) の Geopriv WG⁵⁾ はインターネット上での位置情報管理機構とプライバシー保護規定についての標準化活動を進めている^{6),7)}。さらに、3GPP は携帯電話システムにおける位置情報基盤についての標準化活動^{8),9)}を進めている。

Architecture of a Large-scale Location Service は緯度・経度からなる空間参照系のみを取り扱い、多様な空間参照系による位置情報には対応していない。また、プライバシー保護に関しては精度を変更する方法のみを考慮しており、機能が不十分である。

GLI システムは、インターネット上で移動体の地理位置を地球規模で大規模管理することを目的としたミドルウェアである。位置情報を識別子および緯度経度の度・分・秒による階層構造によって階層化した複数のサーバ群によって位置情報を管理する。GLI システムは HID (Hashed ID) と呼ばれる疑似 ID を利用したアクセスコントロール機構を持ち、盗聴・改竄・なりすまし等のセキュリティの脅威に対応する。GLI システムは空間参照系として緯度・経度・高度のみに対応し、多様な空間参照系による位置情報に対応しない。また、GLI システムのアクセスコントロール機構は位

置情報検索者と位置情報登録者間の信頼関係の有無による画一的なコントロールであり、時刻や位置等を利用した同一の位置情報検索者に対する柔軟な公開制限ができない。

Location Stack は、位置情報の抽象的な取扱いを目的とし、ユビキタスコンピューティングに必要な機能を 7 階層に階層化したモデルである。層間のインタフェースのみ整備することで、各層の開発を独立に行うことが可能である。また、複数の位置測位デバイス等のセンサを利用することを考慮した設計となっている。しかし、プライバシー保護やセキュリティに関する具体的検討は行われていない。

Geopriv WG における位置情報管理機構は、位置情報を緯度・経度による空間参照系 (geospatial location) と住所を拡張した空間参照系 (civic location) によって表現する。また、Geopriv は XML を利用して記述したプライバシールールによるアクセスコントロール機能を持つ。プライバシールールは位置情報の公開条件を柔軟に記述できる。Geopriv は 2 種の空間参照系のみに対応し、多様な空間参照系による位置情報に対応しない。また Geopriv は提案段階であるため機構の具体的な実現手法については検討されておらず、実装が存在しない。

最後に、3GPP において標準化活動が進められている位置情報基盤は、位置情報の測位機能、測位を操作する機能、プライバシー保護、インターネットとのインタフェースが階層構造によって構成されている。しかし位置情報の測位機能は、携帯電話の送受信電波を利用した測位と搭載された GPS を利用した測位のみに対応しており、多様な位置測位デバイスに対応しない。また位置情報は座標と速度によって表現し、住所等の多様な空間参照系による位置表現に対応しない。プライバシー保護については位置情報サービスを分類して定義し、それぞれの分類ごとに様々な条件を指定してプライバシー設定が可能である。なお、3GPP は携帯電話を位置測位デバイスとしてシステム全体が制御可能であることを前提としたモデルだが、ULP は位置測位デバイス等が独立に分散して存在する環境を想定したモデルである。

このように、ULP の必要要件を満たす位置情報基盤は存在しない。

4. ULP アーキテクチャ

ULP アーキテクチャを図 2 に示す。

4.1 機能の分散化

ULP は位置情報取得・管理機能を持つ LMS (Lo-

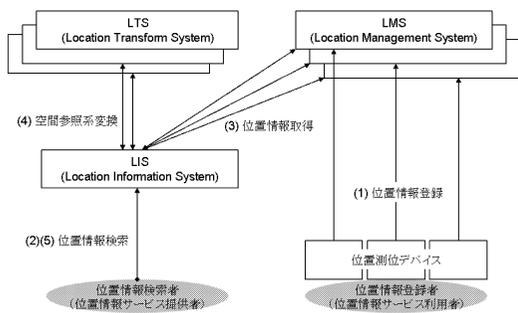


図 2 ULP アーキテクチャ
Fig. 2 ULP architecture.

ation Management System), 空間参照系変換機能を持つ LTS (Location Transform System), これらの機能を利用した位置情報提供機能を持つ LIS (Location Information System) を独立したエンティティとしてインターネット上に分散配置する。そして, 各エンティティを連携して利用することにより ULP の機能を実現する。各エンティティは複数配置可能で, 個別のエンティティについてその内部構成は自由に構成できるものとする。各エンティティが複数配置可能であることと, 個別のエンティティの管理主体が内部構成を分散化することにより, システムの規模拡張性を確保する。

位置情報登録者は所有する複数の位置測位デバイスそれぞれについて, 対応する LMS に対して位置情報登録を行う (図 2-(1))。位置情報検索者は位置情報登録者の識別子, 位置情報の空間参照系・時刻・解像度を指定して LIS サーバに対して位置情報検索要求を行う (図 2-(2))。LIS サーバは LMS サーバから位置情報登録者の位置情報を取得 (図 2-(3)), LTS サーバを利用して空間参照系変換を行い (図 2-(4)), 位置情報検索結果として位置情報検索者に応答する (図 2-(5))。

また, 多様な空間参照系の位置情報に対応する汎用的な位置情報の記述形式とするため, 位置情報の構造を自由に記述できる XML (eXtensible Markup Language) によって位置情報を記述する。そして, エンティティ間の通信では SOAP (Simple Object Access Protocol)/SSL (Secure Socket Layer) プロトコルを利用する。

4.2 位置情報取得・管理機能 (LMS)

位置情報取得・管理機能を持つエンティティが LMS である。位置情報登録者が複数の位置測位デバイスを所有する環境において, 位置情報取得・管理機能は位置測位デバイスによってその処理内容が異なり, 位置測位デバイス単位で処理される機能である。よって, LMS は位置測位デバイスごとに定義する。

LMS は位置情報取得機能として, 位置情報登録者から位置情報登録要求を受信して位置情報を取得するか, LIS に対する位置情報提供時に位置測位デバイスに対してリアルタイムに位置情報取得要求を行って位置情報を取得する。ここで, 位置測位デバイスはその性質により位置情報の出力形式が異なる。多様な位置測位デバイスに対応するため, LMS と位置測位デバイス間の位置情報取得インターフェースは位置測位デバイスの性質に応じたプロトコルを自由に利用できるものとする。

LMS は位置情報管理機能として, 位置測位デバイスが利用する空間参照系によって出力した位置情報と測位された時刻, 位置測位デバイスが持つ識別子 (デバイス ID) の対応付けを管理する。デバイス ID は LMS 内で一意な識別子であればよく, 位置測位デバイスのシリアル番号等を利用すればよい。

LMS の位置情報提供インターフェースは, デバイス ID と時刻を引数として入力すると, そのデバイス ID を持つ位置測位デバイスによる指定した時刻の位置情報を出力する。

4.3 空間参照系変換機能 (LTS)

空間参照系変換機能を持つエンティティが LTS である。空間参照系変換機能は空間参照系単位でその処理内容が異なり, 空間参照系単位で処理される機能である。よって, LTS は空間参照系変換の変換元と変換先の空間参照系を対として, その対ごとに 1 つの LTS として定義する。たとえば, WGS84 空間参照系から住所空間参照系へ変換する LTS が 1 つの LTS として定義される。

単一の LTS により多様な空間参照系間の変換に対応するためには, すべての空間参照系の対について LTS を構築する必要があり, 非効率である。そのため, ULP は複数の LTS を連結して利用することによって多様な空間参照系間の変換を可能とする。そして, 適切な LTS を探索するために空間参照系定義文書を導入する。詳細は 6 章で述べる。

LTS は空間参照系変換インターフェースとして, 位置情報と目的の空間参照系を引数として入力すると目的の空間参照系における位置情報, 空間参照系変換によって発生した変換誤差を出力する。

4.4 位置情報提供機能 (LIS)

位置情報提供機能を持つエンティティが LIS である。LIS は LMS, LTS を利用して位置情報検索処理を行う。位置情報検索者に統一的な位置情報提供インターフェースを提供するため, 位置情報提供インターフェースとして SOAP または REST (REpresenta-

tional State Transfer)¹⁰⁾ を利用する．また位置測位デバイスに依存しない位置情報検索インタフェースを提供する．詳細は 5 章で述べる．

さらに位置情報登録者のプライバシー保護を実現するため、プライバシールールを利用したプライバシ保護機能を位置情報提供機能の一部として LIS に付加する．詳細は 7 章で述べる．

LIS のインタフェースとして、LIS が管理する位置情報登録者の識別子、位置情報検索者の識別子、目的の時刻、空間参照系、解像度を検索の鍵として入力すると、指定時刻における位置情報登録者の位置情報を指定した空間参照系、解像度で出力する．位置情報検索者の識別子は不特定多数のユーザが位置情報検索を行うことが想定されるため、NAI (Network Access Identifier)¹¹⁾ 等のインターネット上で一意な識別子とする．

5. 多様な位置測位デバイスへの対応

ULP は位置情報検索者に対して位置情報登録者が所有する位置測位デバイスについて意識することのない位置情報検索インタフェースとするため、位置情報検索では位置情報登録者の識別子を指定する．位置情報登録者の識別子による位置情報検索を可能とするためには、LMS で管理される位置情報を取得するためのデバイス ID と位置情報登録者の識別子を対応付ける必要がある．そこで、デバイス ID と位置情報検索者の識別子を対応付けるデバイスリストを導入する．デバイスリストは位置情報登録者が所有する位置測位デバイスのデバイス ID 情報に加えて、各測位デバイスによる位置情報が管理された LMS の所在等を記述する．デバイスリストは位置情報登録者とあらかじめ契約関係を持つ LIS が管理する．

デバイスリストは位置情報登録者の識別子と位置情報登録者の位置情報が管理される LMS の一覧から構成される．位置情報登録者の識別子は位置情報登録者と契約関係を持つ LIS の名称とその LIS 内で一意な識別子から構成される．また LMS の情報は、LMS を示す URL、LMS に位置情報検索要求を行う際の SOAP による通信に必要な WSDL 文書名やメソッド名、LMS が使用する空間参照系、LMS によって管理されている位置測位デバイスのデバイス ID から構成される．WSDL 文書とは、SOAP を使用して通信を行う際に必要なデータ型等の情報を記述した文書である．デバイスリストの例を図 3 に示す．図 3 では位置情報登録者が位置測位デバイスとして IC カード、PHS、GPS を所有していることを示している．

```
<idlist name="http://igeoid.tera.ics.keio.ac.jp/home/fumiaki/">
  <lms name="IC card"> /*LMS サーバ (IC カード)*/
    <server>http://igeoid.tera.ics.keio.ac.jp/
      ulp/LMS/iccard/</server>
    <wsdl>iccard.wsdl</wsdl>
    <method>Lookup</method>
    <coordinate name="Campus"> /*位置測位デバイスが
      利用する空間参照系*/
      <uri>http://igeoid.tera.ics.keio.ac.jp/
        ulp/definition/</uri>
    </coordinate>
    <id> /*デバイス ID*/
      <name>010106011405bf14</name>
      <name>01142042ef045d10</name>
    </id>
  </lms>
  <lms name="phs"> /*LMS サーバ (PHS)*/
    .....
  </lms>
  <lms name="gps"> /*LMS サーバ (GPS)*/
    .....
  </lms>
</idlist>
```

図 3 デバイスリストの例

Fig. 3 An example of device list.

6. 複数の LTS を利用した空間参照系変換

ULP は位置情報検索者が指定した空間参照系への空間参照系変換を行うために、LMS より取得した位置情報に対して複数の LTS を利用して複数回の空間参照系変換を行う．以上の機能を実現するため、LIS に空間参照系変換機能を付加する．空間参照系変換機能は空間参照系変換手順検索機能と空間参照系変換結果選択機能からなる．各動作の概要を以下に示す．

6.1 空間参照系変換手順検索機能

空間参照系変換手順とは、LIS が複数の LTS を利用して位置情報検索を行う際に LTS を利用する順序を示すものである．空間参照系変換手順の検索には、空間参照系定義文書を利用する．空間参照系定義文書内に記載した LTS の一覧を参照し LTS を検索する．そして、該当 LTS を利用して空間参照系変換を行った場合の空間参照系の空間参照系定義文書内の LTS の一覧を再度参照する．以上の操作を位置情報検索者が指定した空間参照系に到達するまで順次繰り返すことにより、変換手順検索を行う．目的とする空間参照系への変換手順が存在しない可能性および複数の変換手順が存在する可能性があるが、6.2 節で述べる変換結果選択機能により対応する．

6.2 空間参照系変換結果選択機能

複数の変換手順が存在する場合および複数の位置測位デバイスを利用可能な場合には、位置情報検索者があらかじめ指定した選択パラメータに基づき空間参照系変換結果を選択する．位置情報取得時刻、位置測位デバイスの空間参照系、測定誤差、空間参照系変換誤差、空間参照系変換後の位置情報の解像度、空間参照

```

<definition name="Address" style="label" dimension="2">
  <uri>http://igeoid.tera.ics.keio.ac.jp/ulp/definition/</uri>
  <area>Japan</area> /*空間参照系の適用範囲*/
  <format dimension="0"> /*表現要素*/
    <part name="Metropolis/Prefecture" type="string"
      resolution="10000-100000" level="1"/>
    <part name="City/RuralArea" type="string"
      resolution="1000-10000" level="2"/>
    .....
  </format>
  <transformlist> /*空間参照系変換可能なLTSのリスト*/
    <coordinate name="WGS84" dimension="2"> /*WGS84*/
      <uri>http://igeoid.tera.ics.keio.ac.jp/
        ulp/definition/</uri>
      <forward> /*正方向の空間参照系変換(Address to WGS84)*/
        <server>http://igeoid.tera.ics.keio.ac.jp/
          ulp/LTS/address/</server>
        <wsdl>adresstransform.wsdl</wsdl>
        <method>Address2WGS84</method>
      </forward>
      <reverse> /*逆方向の空間参照系変換(WGS84 to Address)*/
        .....
      </reverse>
    </coordinate>
    <coordinate name="Campus" dimension="2">
      .....
    </coordinate>
  </transformlist>
</definition>

```

図4 空間参照系定義文書の例

Fig. 4 An example of definition document of location reference system.

系変換過程において取得する変換回数を選択パラメータとして利用する。

選択パラメータのうち、位置情報取得時刻、位置測位デバイスの空間参照系、測定誤差についてはLMSより取得した位置情報から参照できる。また、変換回数に関しては空間参照系変換手順検索を行う際に参照できる。したがって、以上の選択パラメータが指定された際には、最も優れた変換結果を返す1手順についてのみ、その後の処理を継続することにより処理の軽量化・高速化を図る。

6.3 空間参照系定義文書の詳細

空間参照系定義文書は空間参照系についての情報を記述した文書であり、XMLによって記述する。LISは空間参照系定義文書を利用して、空間参照系変換に必要なLTSを特定する。記述内容の整合性を保持するため、特定のLMSまたはLTSを管理主体として定め、他のエンティティは複製を保持する。

空間参照系定義文書は、空間参照系の識別子、表現要素とその表現が持つ解像度、表現要素が持つ表現の定義域および表現間の位置関係、空間参照系定義文書によって定義された空間参照系から他の空間参照系への空間参照系変換機能を持つLTSの一覧から構成される。空間参照系の識別子は空間参照系定義文書の管理主体の名称と管理主体内で一意な識別子から構成される。また、表現要素が持つ解像度とはその表現によって表現可能な位置の大きさである。なお、表現間の位

置関係はULPを動作させるにあたっての必須項目ではない。LTSの情報はLTSを示すURL、LTSに対して位置情報検索要求を行う際のSOAPによる通信に必要なWSDL名やメソッド名から構成される。住所空間参照系の定義文書例を図4に示す。図4では、住所の表現要素として都道府県等が定義され、空間参照系変換可能なLTSのリスト(transformlistタグ)において、WGS84、Campus空間参照系へ変換可能であることを示している。

7. プライバシルールを利用したプライバシー保護

位置情報登録者の多様なプライバシーの要求に対応するため、プライバシルールを利用したプライバシー保護機能をLISに付加する。

7.1 アクセスコントロール

位置情報登録者および位置情報検索者に関する位置情報の公開条件によってアクセスコントロールを行う。位置情報の公開条件は位置情報登録者があらかじめプライバシルールとして記述する。そして、LISが位置情報検索時にプライバシルールに基づいてアクセスコントロールを行う。

7.2 位置情報の解像度変更

アクセスコントロールに対応して位置情報の解像度を変更する。位置情報の解像度は位置情報登録者がプライバシルールにあらかじめ記述し、多様な空間参照系によって記述可能とする。位置情報の解像度の変更処理は位置情報が利用する空間参照系の種類によって異なる。座標で表現される空間参照系の場合は指定した桁での切捨て操作により解像度を変更する。またラベルで表現される空間参照系の場合は空間参照系定義文書にあらかじめ定義した階層に基づき、指定した階層以下の情報を削除することにより解像度を変更する。たとえば住所による位置情報“神奈川県横浜市港北区日吉”を“市レベル”の解像度に変更した場合、位置情報は“神奈川県横浜市”となる。

7.3 セキュリティ

各エンティティのなりすましを防止するため、CA(Certificate Authority)によって配布される証明書を利用して各エンティティを相互認証する。また通信路上での盗聴・改竄を防止するため、エンティティ間の通信にSOAP/SSLを利用して通信路を暗号化する。

7.4 プライバシルールの詳細

プライバシルールは位置情報登録者の位置情報公開に関する情報を記述した文書である。LISはプライバシルールを利用して位置情報登録者ごとのプライバシ

保護処理を行う。プライバシールールは XML によって記述し、デバイスリストと同様に位置情報登録者があらかじめ契約関係を持つ LIS が管理する。プライバシールールはアクセスコントロールに使用する位置情報の公開条件 (Conditions タグ) と、解像度変更を利用する位置情報への処理内容 (Actions タグ) から構成される。なおプライバシールールに適合するルールが存在しない場合、位置情報は非公開とする。

位置情報の公開条件として、ルール適用の対象、位置情報検索時刻、位置情報が測位された時刻、位置情報登録者の位置、位置登録者の状態 (コンテキスト情報) を指定できる。ルール適用の対象は個人、グループ、匿名を指定できる。また、位置情報登録者の位置は多様な空間参照系によって指定できる。位置情報への処理内容として、公開・非公開・解像度変更の指定

```
<policy name="http://igeoid.tera.ics.keio.ac.jp/ulp/fumiaki/">
<rules>
  <rule name="officehour">
    <validation/> /*ルールの有効期間*/
    <conditions> /*公開条件*/
      <identity> /*ルール適用の対象*/
        <id>masami@tera.ics.keio.ac.jp</id>
      </identity>
      <statuses/> /*コンテキスト情報*/
      <lookup_time/> /*位置情報検索時刻*/
      <positioning_time/> /*位置測位時刻*/
      <places><place> /*位置*/
        <coordinatesystem>
          <name>Address</name> /*使用する空間参照系*/
          <uri>http://igeoid.tera.ics.keio.ac.jp/ulp/definition/</uri>
        </coordinatesystem>
        <positions type="list">
          <position>
            <Prefecture>Kanagawa</Prefecture>
            <City>Yokohama</City>
          </position>
        </positions>
      </place></places>
    </conditions>
    <actions> /*位置情報の処理内容*/
      <action>transform</action>
      <transforms><transform>
        <coordinatesystem>
          <name>Address</name>
          <uri>http://igeoid.tera.ics.keio.ac.jp/ulp/definition/</uri>
        </coordinatesystem>
        <resolution style="label"> /*設定解像度*/
          <level>City/RuralArea</level>
        </resolution>
      </transform>
      <time>3600</time>
    </transforms>
    </actions>
  </rule>
  <rule name="home">
    .....
  </rule>
</rules>
</policy>
```

図 5 プライバシールールの例

Fig. 5 An example of privacy rule.

と解像度変更の際の設定解像度を指定できる。設定解像度は多様な空間参照系によって指定できる。プライバシールールの例を図 5 に示す。図 5 は位置情報検索者 “masami@tera.ics.keio.ac.jp” に対して位置が住所空間参照系で “神奈川県横浜市” の場合に位置情報を “市レベル” で公開する、という条件を示している。

8. 動作の詳細

8.1 位置情報登録

位置情報登録時の動作を図 6 に示す。

(1) 位置情報登録者は LIS にデバイスリストおよびプライバシールールをあらかじめ設置しておく。例として図 3 に示すデバイスリストと図 5 に示すプライバシールールを利用する。

(2) 位置情報登録者は所持する位置測位デバイスを利用して測位した位置情報、デバイス ID、時刻、測定誤差のうち取得可能なものを LMS に対して送信する。LMS は受信した情報に位置情報、デバイス ID、時刻、測定誤差のどれかが欠けていた場合には足りない情報を付加する。図 6 において、位置情報登録者 A は位置測位デバイスとして IC カード、PHS、GPS を所有し、それぞれについて対応する LMS サーバへ位置情報を登録する。

(3) 位置情報登録者は自身の状態に応じてコンテキスト情報を更新する。コンテキスト情報は文字列情報として入力する。

8.2 位置情報検索

位置情報検索時の動作を図 7 に示す。

(1) 位置情報検索者は自身の識別子、検索対象である位置情報登録者の識別子、時刻、空間参照系、空間参照系変換の選択パラメータ、位置情報の解像度を位置情報検索要求として LIS に送信する。図 7 では位置情報検索者 B は空間参照系として住所、選択パラメータとして位置情報の解像度を指定して位置情報検

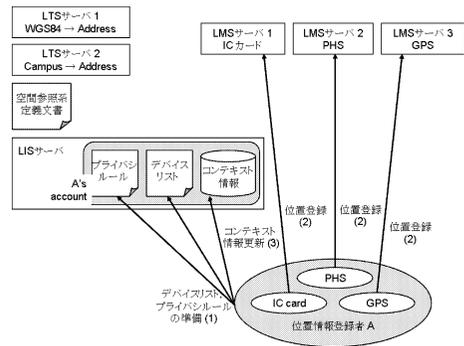


図 6 位置情報登録時の動作

Fig. 6 Location registration flow.

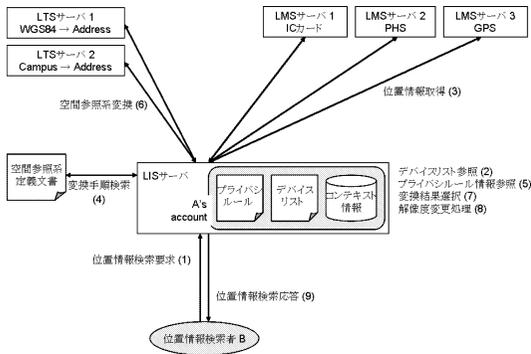


図 7 位置情報検索時の動作
Fig. 7 Location lookup flow.

索を行うものとする。

- (2) LIS は位置情報登録者が所有する位置測定デバイスのデバイス ID が記載されたデバイスリスト(図 3)を取得・参照する。
- (3) LIS はデバイスリストに記載されたデバイス ID および位置情報検索者が指定した時刻を鍵として LMS に位置情報取得要求を行う。LMS は LIS に該当デバイス ID に対する位置情報、位置情報を取得した時刻を応答する。図 7 では、位置情報登録者 A が所有する IC カード, PHS, GPS についてそれぞれ位置情報を取得する。
- (4) (3) と同時に LIS は空間参照系定義文書(図 4)を参照して空間参照系の変換手順検索を行い、変換手順を決定する。
- (5) LIS は LMS から取得した位置情報や位置情報検索者の情報をもとに、プライバシルール(図 5)を参照して適用ルールを決定する。図 5 より、ルール“officehour”の適用を決定する。
- (6) LIS は空間参照系変換の選択パラメータから不適な変換手順を削除し、最適な変換手順のみ空間参照系変換処理を行う。LIS は LTS に位置情報、空間参照系、変換後の空間参照系、解像度を鍵として空間参照系変換要求を行い、変換結果として位置情報検索者が求めた空間参照系での位置情報、変換後の解像度、変換誤差を取得する。図 7 では、IC カード, PHS, GPS それぞれについて住所空間参照系に変換される。
- (7) LIS は空間参照系変換の選択パラメータから変換結果を選択する。図 7 では、位置情報の解像度がより詳細である IC カードによる位置情報が選択される。
- (8) LIS は選択した位置情報に対してプライバシルールに基づいた解像度の変更処理を行う。図 5 より位置情報の解像度が変更され、市レベルの位置情報となる。

表 1 実装環境

Table 1 Implementation environment.

項目	内容
OS	FreeBSD 6.0-Release
Web サーバ	apache 2.0.55
データベース	mysql 4.1.15
言語	PHP 5.1.1 (soap-extension)

(9) LIS は位置情報検索者に対して位置情報を応答する。

9. 実装

実装環境を表 1 に示す。

本論文では Web サーバ上で動作する Web サービスとして、LMS サーバ・LTS サーバ・LIS サーバを実装した。LIS サーバは一度検索した空間参照系定義文書をキャッシュとして保持し、空間参照系定義文書取得のための処理オーバーヘッドを低減し処理の効率化と高速化を図る。また位置情報検索クライアント、位置情報登録クライアントを実装した。位置情報登録クライアントは位置測定デバイスを利用して取得した位置情報を LMS サーバに対して登録する機能を持つ。位置測定デバイスと LMS の間の通信は位置測定デバイスの仕様により異なる通信プロトコルを利用してよいが、本実装では位置情報登録クライアントと LMS サーバの間の通信にはすべて SOAP を利用した。そのため、SOAP を利用できない位置測定デバイスの場合には、位置測定デバイスは Web 上に設置した位置情報登録クライアントを経由する方法を利用した。各サーバのプログラムの行数は、LMS サーバ・LTS サーバが約 100 行程度、LIS サーバが約 1,500 行程度となった。また LMS サーバは 7 種類、LTS サーバは 18 種類の異なったサーバを実装した。

10. 評価・考察

10.1 基本性能

性能評価として、ULP の位置情報検索処理にかかる処理時間を測定した。評価環境は CPU が Pentium4 (2.4 GHz), メモリが 1 Gbytes である。オペレーティングシステム等のソフトウェアの環境は表 1 と同様である。測定には PHP の `microtime()` 関数を利用した。位置情報検索処理フローを図 8 に示す。デバイスリスト参照 ($T_{devicelist}$) デバイスリスト参照処理時間は 1.37 msec となった。LMS サーバからの位置情報取得 (T_{LMS}) 位置情報取得処理時間は、位置情報を管理するデータベースの検索処理時間と、応答用データの作成処

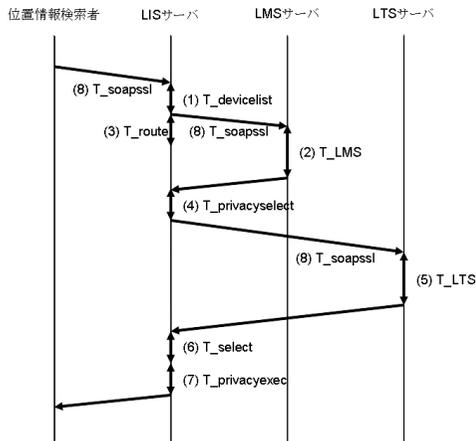


図 8 位置情報検索処理フロー

Fig. 8 Location lookup processing flow.

理時間から構成される。データベース検索処理時間はデータベースの既登録件数や保持するデータの形式によって変化するが、既登録件数が 10,000 件ではおよそ 20 msec, 100,000 件ではおよそ 200 msec であった。また、応答用データの作成処理時間は 2.70 msec となった。

空間参照系変換手順の検索 (T_{route})

空間参照系変換手順の検索処理時間は参照する空間参照系定義文書の数によって変化するが、5.40 ~ 8.00 msec となった。空間参照系変換手順の検索処理は LMS サーバへの位置情報取得処理と並行して行われる。

プライバシールール選択 ($T_{privacysel}$)

プライバシールール選択処理時間は、コンテキスト情報管理データベースからコンテキスト情報を取得するデータベース検索処理時間と、プライバシールールに基づいた公開条件の照合処理時間から構成される。データベース検索処理時間はデータベースの既登録件数によって変化するが、LMS サーバにおけるデータベース検索処理時間と同等とする。また、公開条件の照合処理時間はプライバシールールに記述するルール件数と処理過程によって変化するが、ルール件数が 20 件における照合処理時間は 24.24 ~ 55.92 msec となった。

LTS サーバへの空間参照系変換 (T_{LTS})

空間参照系変換処理時間は、LTS サーバの空間参照系変換処理時間と応答用データを作成する処理から構成される。空間参照系変換処理はその変換処理方法により空間参照系変換処理時間が異なる。空間参照系変換にデータベースを用いた場合の空間参照系変換処理時間はデータベース検索処理時間によって変化するが、LMS サーバにおけるデータベース検索処理時間と同等とする。また、数値計算を用いた場合の空間参照系

表 2 位置情報検索処理時間の見積り

Table 2 Estimation of location lookup time.

項目	処理時間 (msec)
デバイスリスト参照	1.37
LMS サーバへの位置情報取得	22.70
空間参照系変換手順の検索	5.40
プライバシールール選択	24.24
LTS サーバへの空間参照系変換	22.42
変換結果選択	0.22
プライバシールール適用	1.82
各エンティティ間の通信	305.73
合計	378.50

変換処理時間は 0.10 msec となった。さらに、応答用データを作成する処理時間は 2.42 msec となった。複数の LTS サーバに対して空間参照系変換を行う場合は、以上に述べた処理時間をすべての LTS サーバについて合計した時間となる。

変換結果選択 (T_{select})

空間参照系変換の選択パラメータを利用した変換結果選択処理時間は 0.18 ~ 0.22 msec となった。

プライバシールール適用 ($T_{privacyexec}$)

プライバシールール適用処理時間は処理内容と処理対象である位置情報の空間参照系の種類によって変化するが、適用処理時間は 0.04 ~ 1.82 msec となった。

各エンティティ間の通信 ($T_{soapssl}$)

位置情報検索処理において各エンティティ間で用いる SOAP/SSL プロトコルによる通信処理時間。SOAP/SSL プロトコルによる通信処理時間は、SOAP/SSL プロトコルの処理時間と RTT (Round Trip Time) から構成される。SOAP/SSL プロトコルの処理時間は 81.91 msec となった。また、RTT とはパケットを送信してから送信先へ送信し、再び送信先から送信元へ返信される時間である。RTT は一般的なインターネット通信を想定し、20 msec とした。

10.2 位置情報検索処理時間の見積り

以下の仮定における位置情報検索処理時間の見積りを行う。大学キャンパスに所属する 10,000 人の位置情報登録者が IC カードを所有し、この位置測位デバイスによる位置情報を 1 つの LMS サーバで管理する。空間参照系変換として IC カードで取得したリーダ ID による空間参照系から住所空間参照系への変換を行う。この空間参照系変換では 1 つの LTS サーバへアクセスする。また、位置情報登録者はプライバシールールに 20 件のルールを記述するものとする。これらの仮定における位置情報検索処理時間を表 2 に示す。

見積もった位置情報検索処理時間を、ULP の特徴を生かしたアプリケーション例が要求する応答時間が

ら考察する。

インスタントメッセージングサービスでの現在位置表示 ULP から取得した位置情報をインスタントメッセージングサービスで表示する。位置情報の取得・更新に数秒程度の遅延が許容されると考えられる。

周辺地図の表示サービス

周辺地図の表示とは移動体の現在位置を取得し、周辺地図にマッピングして表示するサービスである。本サービスで許容される応答時間は地図表示までに 1 秒程度であると考えられる。

複数の地図を利用したシームレスな現在位置表示

ULP を利用して、部屋番号等からフロアマップやエリアマップへの座標変換を行う LTS を用意することにより、フロアマップやエリアマップ等へ移動体の位置をマッピングする。許容される応答時間は地図表示までに 1 秒程度であると考えられる。

以上にあげたアプリケーション例において要求される応答時間の最小値は 1 秒程度である。見積もった位置情報検索処理時間はこれを下回っており、要求を満たす。したがって、ULP の実用性が確かめられた。

また、ULP における処理時間の大部分は SOAP/SSL プロトコルを利用した通信処理時間が占めた。LTS へのアクセス回数が増加すると、通信処理時間が増加するが、見積りから 5 回程度の空間参照系変換を行っても要求される応答時間を満たす。さらに、LTS、LMS と LIS 間の SOAP/SSL コネクションを持続させる等の処理により、通信処理時間の低減が可能である。

10.3 システムの規模拡張性

システムを構成するエンティティである LMS、LTS、LIS の位置情報登録数および位置情報検索数に対する規模拡張性を考察する。LMS および LTS は管理主体ごとに自由に設置可能であり、その内部構成を分散化することにより負荷分散を図ることが可能である。したがって、LMS および LTS の位置情報登録数および位置情報検索数に対するシステムの規模拡張性は確保される。LIS は位置情報登録者との契約関係によりデバイスリストおよびプライバシールールを保持するため、LIS と位置情報登録者との間には対応関係がある。そのため、特定の位置情報登録者に対する位置情報検索数が増加すると、特定の LIS の負荷は増加する。この問題は位置情報検索数に応じて LIS が管理する位置情報登録者数を設定することにより解決できる。したがって、LIS においても規模拡張性の確保が可能である。

10.4 多様な位置測位デバイスへの対応

ULP では位置情報登録者のデバイスリストにすべ

での位置測位デバイスに関する情報を記述し、すべての位置測位デバイスについて位置情報検索を行うことにより、人が複数の位置測位デバイスを持つ環境に対応する。そこで、複数の位置測位デバイス併用におけるオーバーヘッドを考察する。

位置情報登録者が所有する位置測位デバイスの数が増加すると、デバイスリストの記述コスト、位置情報検索時の処理オーバーヘッドは増加する。デバイスリストは XML を利用して可読性の高い形式で記述するため、位置測位デバイスの数が増加してもデバイスリストの記述は容易である。また、位置情報検索処理は各デバイス ID ごとに並列して行うため、位置情報検索処理時間の増加はデバイスリストの読み込み処理時間の増加分のみである。一方、位置情報検索者は位置情報登録者が所有する位置測位デバイスを意識することなく、位置情報検索を行える。したがって、複数の位置測位デバイスを併用する環境下においても ULP の処理オーバーヘッドおよび位置情報検索者の負荷は低く、位置情報登録者は容易に位置測位デバイスを併用できる。

10.5 空間参照系変換

空間参照系変換を行うことによる変換誤差は避けることができない。そこで ULP では変換誤差を指標化して定量的に取り扱うことを可能にした。複数回の空間参照系変換を行う場合にも、本指標を利用することにより変換手順ごとの変換精度を比較し最良の結果を応答できる。

10.6 位置情報提供インタフェース

ULP では、位置情報登録者と位置情報登録者が所有する位置測位デバイスの対応関係を記述したデバイスリストを LIS 内に設置することにより、位置情報検索者に対して位置測位デバイスを隠蔽し、位置測位デバイスを問わないインタフェースを提供する。よって、位置情報登録者が複数の位置測位デバイスを所有する場合にも、検索の際には各位置測位デバイスに関する情報は必要ない。また、ULP は位置取得時刻等を指標として位置情報検索結果を選択することにより、複数の位置測位デバイスが出力した位置情報の中から最適な位置情報を応答する。以上より、ULP は複数の位置測位デバイスからの位置情報を容易に取得可能なインタフェースを提供する。

10.7 プライバシー保護

ULP では位置情報登録者があらかじめ記述したプライバシールールを利用してアクセスコントロールを行い、位置情報を取得できる位置情報検索者を制限する。また、提供する位置情報の解像度を変更することによ

り位置情報による状態推定を防止する。関連研究において述べた GLI システムが提供するプライバシー保護機能は、位置情報登録者との信頼関係の有無により位置情報の公開・非公開を制限するもので、解像度の変更はできない。また、Geopriv WG にて提案されているアクセスコントロールでは解像度の表現に住所および緯度・経度による空間参照系のみを利用するが、ULP では解像度の表記に任意の空間参照系を利用できる。したがって、ULP が提供するプライバシー保護機能は他の手法と比較して優れている。

プライバシールールの数が増加すると、プライバシールール読み込みおよび適用処理オーバーヘッドは増加する。しかし、プライバシールール適用の対象、時刻、位置情報登録者の位置等の条件により、現実的に適用されるプライバシールールの数は絞り込まれる。したがって、プライバシールールの数が増加した場合にも、プライバシールール適用処理のオーバーヘッドは許容できる。

11. 結論と今後の課題

本論文では、インターネット上で汎用的に位置情報を取り扱う基盤である、Universal Location Platform (ULP) について述べた。ULP は特徴として以下の点があげられる。

- LMS による多様な位置測位デバイスへの対応
- LTS による多様な空間参照系変換への対応
- XML を利用した汎用的な位置情報の記述
- LIS による位置測位デバイスに依存しない位置情報提供インタフェース
- LIS によるプライバシールールを利用したプライバシー保護
- 機能ごとのエンティティ分散化による規模拡張性の確保

ULP は現在、特定非営利活動法人高度測位社会基盤研究フォーラム¹²⁾ 新ロケーションプラットフォームサブワーキンググループにおいて検討を進めている。

今後の課題として範囲検索機能の追加、プライバシールールの自動作成・更新機能の追加、ULP を利用した実証実験による実用性のさらなる検証があげられる。

謝辞 本研究の議論において貴重なご意見をいただいた、WIDE プロジェクト iGeoid ワーキンググループのみなさま、ならびに新ロケーションプラットフォームサブワーキンググループのみなさまに心から感謝いたします。

参考文献

- 1) Leonhardi, A. and Rothermel, K.: Architecture of a Large-Scale Location Service, *ICDCS'02: Proc. 22nd International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS'02)*, Washington, DC, USA, p.465, IEEE Computer Society (2002).
- 2) 渡辺恭人, 竹内奏吾, 寺岡文男, 植原啓介, 村井純: プライバシ保護を考慮した地理位置情報システム, *情報処理学会論文誌*, Vol.42, No.2, pp.234–242 (2001).
- 3) Takeuchi, S., Watanabe, Y. and Teraoka, F.: The GLI System: A Global System Managing Geographical Location Information of Mobile Entities, *IEICE Trans. Comm.*, Vol.E84-B, No.8, pp.2066–2075 (2001).
- 4) Hightower, J., Brumitt, B. and Borriello, G.: The Location Stack: A Layered Model for Location in Ubiquitous Computing, *Proc. 4th IEEE Workshop on Mobile Computing Systems & Applications (WMCSA 2002)*, Callicoon, NY, pp.22–28, IEEE Computer Society Press (2002).
- 5) Geographic Location Privacy (geopriv). <http://www.ietf.org/html.charters/geopriv-charter.html>
- 6) Cuellar, J., Morris, J., Mulligan, D., Peterson, J. and Polk, J.: Geopriv Requirements, RFC3693 (2004).
- 7) Cuellar, J., Morris, J., Mulligan, D., Peterson, J. and Polk, J.: Threat Analysis of the Geopriv Protocol, RFC3694 (2004).
- 8) 3rd Generation Partnership Project: Technical Specification Group Services and System Aspects; Location Services (LCS); Service description; Stage 1 (Release 7) (2005).
- 9) 3rd Generation Partnership Project: Technical Specification Group Services and System Aspects; Functional stage 2 description of Location Services (LCS) (Release 7) (2006).
- 10) Feilding, R.T.: Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures, Ph.D. Thesis, Information and Computer Science, University of California, Irvine (2000).
- 11) Aboba, B. and Beadles, M.: The Network Access Identifier, RFC2486 (1999).
- 12) 特定非営利活動法人高度測位社会基盤研究フォーラム. <http://www.gnss.co.jp/forum/>

(平成 18 年 3 月 31 日受付)

(平成 18 年 10 月 3 日採録)



原 史明

2004年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。2006年慶應義塾大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻前期博士課程修了。同年株式会社NTTデータ入社。インターネット上での位置情報を活用したシステム開発に興味を持つ。



沼田 雅美

2004年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。2006年慶應義塾大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻前期博士課程修了。同年株式会社三菱総合研究所入社。インターネットでの位置情報の活用に興味を持ち、研究に携わる。



植原 啓介 (正会員)

2003年慶應義塾大学より博士(政策・メディア)の学位を取得。現在、慶應義塾大学院政策・メディア研究科特別研究助教授。インターネット移動体通信やITSに関する研究に従事。NPO法人高度測位社会基盤研究フォーラム理事、インターネットITS協議会技術委員会副委員長等を務める。



砂原 秀樹 (正会員)

1983年慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業。1988年慶應義塾大学大学院理工学研究科博士課程修了。同年電気通信大学情報工学科助手、1994年奈良先端科学技術大学院大学情報科学センター助教授を経て、2001年同教授。工学博士。インターネット、大規模広域分散環境、並列処理、オペレーティングシステム、モバイルインターネット、電子図書館に関する研究に従事。日本ソフトウェア科学会、ACM、IEEE、Internet Society 各会員。



寺岡 文男 (正会員)

慶應義塾大学理工学部情報工学科教授。1984年慶應義塾大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年キャノン株式会社入社。1988年株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所入社。2001年4月から現職。博士(工学)。1991年日本ソフトウェア科学会高橋奨励賞受賞。1993年元岡記念賞受賞。2001年情報処理学会平成12年度論文賞受賞。コンピュータネットワーク、オペレーティングシステム、分散システム等の研究に従事。特に移動透過性を提供するプロトコルVIP (Virtual IP)の開発を通してIETFのMobile IP分科会の活動に貢献。2000年5月から2002年5月まで情報処理学会理事。2005年4月から日本ソフトウェア科学会理事。著書に『ワイヤレスLANアーキテクチャ』(共著、共立出版)、『Wireless IP and Building the Mobile Internet』(共著、Artech House Publishers)。監訳に『詳解 Mobile IP』(共監訳、プレントリスホール出版)。ACM、IEEE、日本ソフトウェア科学会、電子情報通信学会各会員。