

モバイルセンサデータの取得支援のための データの時空間分布可視化について

佐崎 悠¹ 神崎 映光¹ 原 隆浩¹ 西尾 章治郎¹

概要：近年のセンサ技術の発展に伴い、スマートフォンなどのモバイルセンサ端末が普及しており、これらの端末から収集したモバイルセンサデータを活用する研究に注目が集まっている。ここで、モバイルセンサデータは時空間的に偏って存在する傾向があるため、その時空間的な分布を考慮して、ユーザのデータ取得を支援する機構が必要である。本稿では、モバイルセンサデータの取得支援を目的として、データの時空間的な分布を可視化する機構を設計、実装した。提案機構では、地図インタフェースを等間隔のグリッド状に分割し、センサデータ数の分布を示すヒストグラムを重畳する。また、地図インタフェース上の描画領域におけるセンサデータ数の時間的な分布をグラフとして提供する。これにより、データの時空間的な分布の直感的な理解を支援し、ユーザが求めるデータの取得を容易にする。

On Spatio-Temporal Data Distribution Visualization for Supporting Mobile Sensor Data Retrieval

HARUKA SAZAKI¹ AKIMITSU KANZAKI¹ TAKAHIRO HARA¹ SHOJIRO NISHIO¹

1. はじめに

近年、スマートフォンをはじめとして、様々なセンサデバイスを搭載したモバイル端末が広く普及している。これに伴い、モバイル端末の取得したセンサデータを利活用する研究に注目が集まっている。モバイルセンサとなる端末の利用者は非常に多く、また各利用者が移動しながら端末を利用するため、これらの端末が取得したセンサデータを集約すると、広域かつ細粒度なデータが利用可能となる。例えば図1のように、スマートフォン等のモバイルセンサが任意の地点および時刻において観測したセンサデータを長期間にわたってデータベースに蓄積することで、センサデータを利用するユーザに、広域かつ高密度なセンサデータを提供できる。

ここで、モバイルセンサは移動しながら任意のタイミングでセンシングを行うため、これらのセンサが取得したデータは時空間的に分散したものになる。そのため、センサデータ数の分布も、時空間的に偏ったものになると考え

られる。一方、センサデータを利用するユーザは、その用途に応じて、時空間的にある条件を満たすセンサデータ群のみを要求するものと考えられる。しかし、モバイルセンサデータの時空間的な分布は、センサデータを利用するユーザにとって事前に知り得ない情報であるため、ユーザは、自身の要求を満たすデータ群を検索する必要がある。

ここで、図1に例示したように、センサデータは関係データベースに蓄積され、センサデータの検索はSQL等の問合せ言語を利用して行われることが一般的である。しかし、モバイルセンサデータを対象とした場合、既存の問合せ言語を用いたデータ検索は困難である。例えば、交通事故やゲリラライブのような突発的なイベントが発生した場合、ある時間帯において、多くの人が特定の地点に集中するものと考えられる。このとき、集中した人がもつモバイルセンサによってセンサデータが時空間的に集中して発生するため、これらのイベントを検出するには、周辺と比較して一時的に大量のセンサデータが取得されている時空間を抽出する必要がある。このような特性をもつ時空間におけるセンサデータを取得するためには、細分化した空間および時間単位でデータ数を比較し、特徴的な増減を示す時

¹ 大阪大学情報科学研究科マルチメディア工学専攻
Department of Multimedia Engineering, Graduate School of
Information Science and Technology, Osaka University

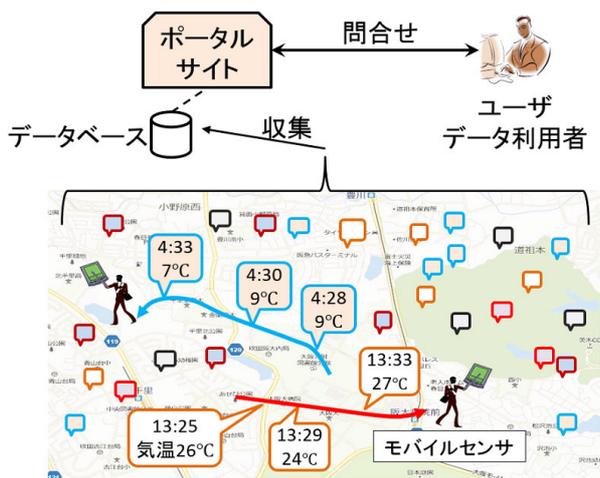


図 1: モバイルセンサデータ利用システムの例

Fig. 1 Example of mobile sensor data utilization system.

空間領域を抽出するような問合せを発行する必要があり、特に問合せ言語の記述に慣れていないユーザにとって、検索の手間が大きな負担となる。このように、モバイルセンサデータを対象とした場合、ユーザが所望のセンサデータを容易に取得するためには、その時空間的な分布を考慮した検索支援機構が必要である。

そこで本稿では、モバイルセンサデータの取得を支援することを目的として、データの時空間的な分布を可視化する機構を設計、実装した。提案機構では、地図インタフェース上にセンサデータ数の分布を示すヒストグラムを重畳し、またセンサデータ数の時間的な分布を示したグラフを提供することで、モバイルセンサデータ数の時空間的な分布を可視化する。また、グラフを描画する時間的な領域と、地図インタフェース内の表示領域におけるセンサデータ数分布の描画を同期させ、一方の表示領域の変更に応じて、他方の分布が動的に更新される機能を提供する。これにより、センサデータを利用するユーザは、センサデータ数の時空間的な分布を直感的に把握でき、自身が必要とするデータ群の検索を容易に行える。さらに提案機構では、センサデータ数の分布を可視化する際、地図インタフェースおよび時間軸上で現在表示されている時空間領域内におけるセンサデータ数の分布情報のみを取得することで、データ取得にかかる負荷の増大を抑制する。

以下では、第 2 章で関連研究を紹介し、提案機構との比較を行う。第 3 章で提案する機構の設計について述べ、第 4 章で提案機構の実装や評価について述べる。最後に第 5 章で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

2.1 実センサデータを提供する機構に関する研究

実センサデータを蓄積し、ユーザに提供するシステムは、これまでにさまざまなものが構築、運用されている [1], [4].

例えば、地理的に分散配置されたセンサが取得したデータを蓄積し、それらのデータの取得を支援する機能を備えたシステムが、これまでにいくつか構築されている [1], [4].

筆者らの研究グループが構築した X-Sensor2.0[1] では、センサを管理する各組織が設置したサーバを P2P 技術を用いて相互接続することで、複数のサーバに蓄積されたセンサデータを横断的に利用可能な環境を提供している。X-Sensor2.0 は、P2P 技術を基本としたモバイルエージェントシステムである PLAX (P2P Interactive Agent eXtensions)[5] を基盤としており、ユーザは、サーバ間移動やデータの集約といったエージェントの動作をスクリプト言語を用いて記述することで、複数の拠点に蓄積されたセンサデータを収集できる。これらの研究は、センサデータが地理的に分散して蓄積されている環境を想定している点で、本研究と類似している。しかし、これらのシステムで設置されているセンサの位置は固定されており、モバイルセンサデータを蓄積・提供することは考慮していない。

一方、モバイルセンサからデータを収集するシステムも、これまでにいくつか構築されている。報告者らの研究グループでは、スマートフォンをモバイルセンサとして扱い、これらからセンサデータを収集するシステムである smasense を構築している [6]。smasense は、スマートフォン上で動作するアプリケーションによって、搭載されているセンサデバイスから定期的にセンサデータを取得し、ネットワークを介して、取得したデータを管理サーバに送信する。管理サーバでは、ユーザが記述したスクリプトに従って受信したデータを処理し、データベースに格納する。これらのシステムは、モバイルセンサからデータを収集することに主眼を置いており、蓄積したデータの取得は、SQL 等の問合せ言語を用いることを想定している。

2.2 問合せ記述方式に関する研究

時間的および空間的に分散したデータを考慮し、収集するデータの時空間的な範囲を指定できる記述方式がいくつか提案されている [2], [3].

濱口らの提案した記述方式 [2] では、時間および空間それぞれに対してセンサデータの処理を行う機能を実装しており、時間や空間単位を指定して繰り返し処理を可能としている。これらの記述方式を用いることによって、時間的あるいは空間的な範囲を指定するデータ取得や、時間的あるいは空間的な粒度を指定するデータ取得が容易に行える。しかし、センサデータ数の時空間的な分布を記述できるものではないため、第 1 章で述べたような検索を容易に行えない。

3. モバイルセンサデータ可視化機構

本章では、本稿で設計、実装するモバイルセンサデータの可視化機構について詳細を述べる。

3.1 設計方針

第1章で述べたとおり、モバイルセンサデータは時空間的に偏って存在し、またユーザは事前にデータの時空間的な分布を知り得ないことが想定される。そのため、ユーザが所望のデータ群を取得するために要する検索負担が大きくなるものと考えられる。また、所望のセンサデータを取得するため、ユーザが無闇に広範囲に存在するセンサデータの取得を行った場合、不要なセンサデータも大量に取得する可能性があり、データベースの検索負荷や通信量が膨大になる可能性がある。提案機構では、これらの問題を解決するため、以下の設計方針を設定した。

3.1.1 ユーザ負荷の軽減

第1章で述べたようなデータの検索を想定した場合、センサデータ数の時間的および空間的な分布を、ユーザが直感的に理解できる形で提示する必要がある。

ここで、地理的な情報を提示するサービスとして、Google Maps^{*1}や Bing Maps^{*2}をはじめとした地図情報サービスが広く利用されており、センサやネットワークの所在を可視化するために地図インタフェースを利用する研究も多数存在している [1], [4]。そこで提案機構においても、地図インタフェース上にセンサデータ数の空間的な分布を重畳表示させ、ユーザに提示するものとする。これにより、センサデータ数の空間的な増減の理解を支援する。

また、モバイルセンサの移動や電源のオン・オフにより、地図インタフェース上の表示領域内におけるセンサデータ数は時間的に変化する。このようなセンサデータ数の時間的な変化を直感的に理解するためには、センサデータ数の分布を表示する時間範囲を、簡易な操作で調整できることが望ましい。そのため提案機構では、地図インタフェースに加えて時間軸を提示し、センサデータ数を表示している時間範囲の表示および調整を可能とする。さらに、時間軸上にセンサデータ数の推移を示すグラフを表示することで、センサデータ数の時間的な増減の理解を支援する。

さらに、ユーザによるセンサデータの検索は、地図インタフェース上における移動や拡大縮小などの操作によって、センサデータ数を表示する時空間領域を動的に変更しながら行うものと考えられる。そのため、上記の機能は、ユーザの操作に応じてセンサデータ数の分布を動的に表示する必要がある。提案機構においても、このような動的表示が可能なインタフェースを実装する。

3.1.2 システム負荷の増大抑制

一般に広く普及しているスマートフォンなど、多数のモバイルセンサからセンサデータを収集した場合、膨大な量のセンサデータが蓄積される。このような大規模なデータベースに、ネットワークを介してユーザがアクセスする場合、データベースへのアクセス負荷や通信量といったシ

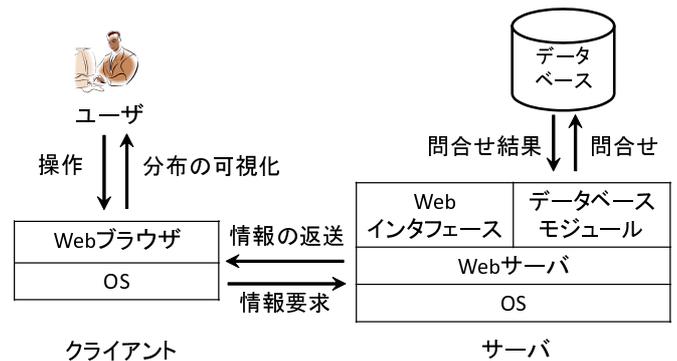


図 2: システム構成

Fig. 2 System architecture.

テム負荷の観点から、ユーザが取得するデータ量は必要最小限に抑えることが望ましい。ここで、地図インタフェースおよび時間軸上におけるセンサデータ数の分布を可視化するためには、その時点で表示中の時空間範囲内におけるデータのみを取得すれば十分である。しかし、地図インタフェースにおいて非常に広大な領域を表示する場合など、表示範囲内に存在するセンサデータ数が大きい場合、各センサデータの観測時刻や位置座標を個別に取得すると、システム負荷が増大してしまう。ここで、上述したようなセンサデータ数の大まかな分布を表示する場合、時空間領域においてある粒度ごとのセンサデータ数のみ取得できれば良い。以上より、提案機構では、地図インタフェースおよび時間軸において指定されている範囲内に存在するセンサデータに対し、ある指定された時間粒度および空間粒度ごとのデータ数のみを取得することで、システム負荷の増大を抑制する。

また、センサデータを蓄積するデータベースにおいて、データの観測時刻および位置座標に対しインデックスを作成することで、時間および空間を指定する検索に要する負荷を軽減する。

3.2 システム構成

提案機構におけるシステム構成を図2に示す。図に示すとおり、提案機構は、センサデータを蓄積するデータベース、ユーザからのアクセスを受け付けるサーバ、およびユーザが使用するクライアントによって構成される。

データベースには、モバイルセンサから収集したセンサデータ群が蓄積されている。また、前述したとおり、センサデータの観測時刻および位置座標に対するインデックスを作成している。

サーバは、クライアントに対して Web インタフェースを提供し、ユーザのセンサデータへのアクセスを仲介する。また、クライアントからの要求に応じて、データベースモジュールを介したデータベースへの問合せ処理や、センサデータ数の分布を生成するために必要な情報の生成を行う。地図インタフェースには、Bing Maps を利用する。

*1 Google Maps: <https://maps.google.co.jp/>.

*2 Bing Maps: <http://www.bing.com/maps/>.

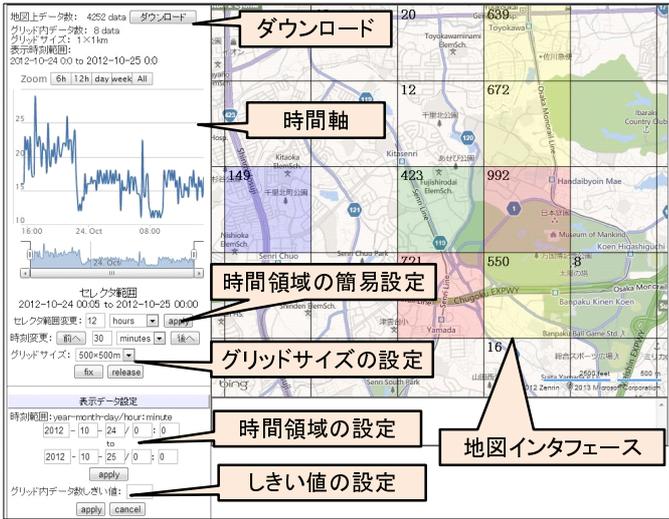


図 3: 提案機構の画面例

Fig. 3 Screenshot of the proposed system.

クライアントには Web ブラウザが搭載されており、ユーザの操作を受け付け、データ数分布の描画に必要な情報をサーバに要求する。また、サーバから取得した情報の描画処理を行う。

3.3 提供機能

図 3 に、提案機構における画面の一例を示す。図に示すとおり、画面右部において地図インターフェース上にセンサデータ数の空間的分布を、画面左部において時間軸上にセンサデータの時間的分布を、それぞれ表示している。また、時間軸の下部に各種設定メニューを提供しており、表示する時間範囲等の設定を可能としている。画面左上にはダウンロードボタンを設置しており、現在指定されている時間範囲内において、地図インターフェース上の描画領域内に存在するセンサデータ群をダウンロードする機能を提供している。また、各グリッド内にあるデータのみをダウンロードする機能も実装しており、ユーザは、自身が求める時間的あるいは空間的なデータ数の分布に合致している時空間領域が表示されている状態でダウンロードボタンを押下することで、所望のセンサデータ群を取得できる。

以下では、センサデータ数の空間的および時間的な可視化機能について、それぞれ詳述する。

3.3.1 空間的分布の可視化

図 3 の右部に示すとおり、提案機構では地図インターフェース上に、表示領域を等間隔に分割したグリッドを重畳する。また、各グリッド内に存在するセンサデータ数を、グリッド内の数字およびグリッドの色によって提示する。表示領域を分割するグリッドの形状は正方形とし、その一辺の長さは、Bing Maps における地図の縮尺を表す変数 $zoomlevel$ に応じて、表 1 のように変化する。また、ユーザがグリッドの大きさを指定できるプルダウンメニューも提供し、その入力に応じた表示も可能としている。各グリッドの色

表 1: $zoomlevel$ とグリッドの大きさ
Table 1 Zoomlevel and grid size.

| | | | | | |
|-----------|--------|-------|-------|-------|------|
| zoomlevel | 1~4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 一辺の長さ | 2000km | 400km | 200km | 100km | 50km |
| zoomlevel | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 一辺の長さ | 30km | 20km | 10km | 5km | 2km |
| zoomlevel | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 一辺の長さ | 1km | 500m | 200m | 100m | 60m |
| zoomlevel | 19 | 20 | | | |
| 一辺の長さ | 30m | 15m | | | |

表 2: r_{hist} と彩色
Table 2 r_{hist} and grid color.

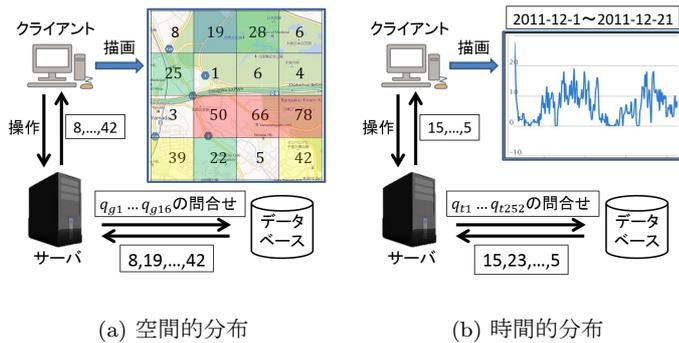
| | |
|------------------------------|-------|
| $0.7 \leq r_{hist} \leq 1.0$ | 赤 |
| $0.5 < r_{hist} \leq 0.7$ | 黄 |
| $0.25 < r_{hist} \leq 0.5$ | 緑 |
| $0.1 < r_{hist} \leq 0.25$ | 青 |
| $0 \leq r_{hist} \leq 0.1$ | 彩色しない |

は、グリッド内に存在するデータ数に応じて設定する。具体的には、次式で表されるデータ数比率 r_{hist} に応じて、表 2 で表される色を与えるものとした。

$$r_{hist} = \frac{q_{gi}}{q_{gmax}}. \quad (1)$$

式 (1) の q_{gi} は、対象とするグリッド g_i 内に存在するデータ数であり、 q_{gmax} は、表示領域全体の各グリッド内に存在するデータ数の最大値である。さらに、グリッドの彩色を行うためのセンサデータ数のしきい値を設定可能とし、データ数がしきい値を下回るグリッドは彩色しないものとした。これにより、ユーザが指定した数以上のセンサデータが存在する地理的領域が、表示中のグリッドの彩色の有無によって容易に把握できる。

以下では、上記機能においてセンサデータ数の空間的分布を提示する手順について、図 4(a) の例を用いて説明する。ユーザが Web インタフェースにアクセスした際、またはユーザの操作によって地図インターフェース上の表示領域が変更された場合、まずクライアントは、表 1 に従い、表示領域の縮尺に応じたグリッドの大きさを求め、グリッドの枠線を地図インターフェース上に描画する。図 4(a) では、表示領域を 16 個のグリッド $\{g_1, g_2, \dots, g_{16}\}$ に分割し、地図インターフェース上に描画している。なお、ユーザがプルダウンメニューにより大きさを指定した場合は、その値をグリッドの大きさとする。次に、クライアントは、現在の表示領域の座標、グリッドの大きさ、および現在表示中の時間範囲に関する情報をサーバに送信し、データ数分布の描画に必要な情報を要求する。要求を受けたサーバは、指定された時間範囲内における各グリッド $\{g_1, g_2, \dots, g_{16}\}$ 内のレコード数 $\{q_{g1}, q_{g2}, \dots, q_{g16}\}$ をデータベースに問い合わせる。その後、得られた問合せ結果を全てまとめ、クライアントに返送する。クライアントは、受信した情報に基づいて、各グリッドを彩色およびデータ数の重畳表示を



(a) 空間的分布 (b) 時間的分布
 図 4: データ分布の可視化

Fig. 4 Visualization of data distribution.

行う。

以上の処理において、サーバは、指定された各グリッドに存在するレコード数のみをデータベースから取得し、クライアントに返送する。そのため、特に膨大なセンサデータが蓄積されている場合、表示領域内のセンサデータを個別に全て取得する場合と比較して、システム負荷を大幅に削減できる。

3.3.2 時間的な分布の可視化

図 3 の左部に示すとおり、センサデータ数の時間的な変化を、時間軸上のグラフを用いて提示する。画面に表示されている二つのグラフのうち上側のものは、現在地図インタフェース上にセンサデータ数を表示している時間範囲を示している。一方、下部のグラフは、上部のグラフにおける時間範囲を含む周辺の時間帯におけるセンサデータ数の推移を表している。下部のグラフにおける左右両端のスライダは、上部のグラフにおける時間範囲の開始点および終了点となっており、このスライダを移動させることで、センサデータ数の分布を表示する時間範囲を調整できる。また、グラフ下部のメニューによって、分布を表示する時間範囲の指定や、時間軸上の移動が行える。

以下では、上記機能においてセンサデータ数の時間的分布を提示する手順について、図 4(b) の例を用いて説明する。ユーザが Web インタフェースにアクセスした際、またはユーザからの操作によって時間範囲が変更された場合、まずクライアントは、現在の表示領域の座標、および現在表示中の時間範囲に関する情報をサーバに送信し、データ数分布の描画に必要な情報を要求する。要求を受けたサーバは、指定された時間範囲に対して、表 3 に示すタイムスロットを設定し、描画領域内における各タイムスロット内のレコード数をデータベースに問い合わせる。図 4(b) では、時間範囲として 3 週間が指定されているため、2 時間ごとに区切った各タイムスロット $\{t_1, t_2, \dots, t_{252}\}$ におけるレコード数 $\{q_{t_1}, q_{t_2}, \dots, q_{t_{252}}\}$ をデータベースに問い合わせる。その後、問合せ結果を全てまとめ、クライアントに返送する。この結果を受信したクライアントは、受信した情報に基づいて、時間軸上にグラフを描画する。

表 3: 時間範囲とタイムスロット
 Table 3 Time range and time slot.

| 時間範囲 | タイムスロット |
|-------------|---------|
| 1 か月以上 | 6 時間 |
| 2 週間から 1 か月 | 2 時間 |
| 1 週間から 2 週間 | 1 時間 |
| 1 週間まで | 30 分 |



図 5: 地図インタフェースの操作
 Fig. 5 Operation of map interface.

以上の処理において、サーバは、指定された各タイムスロットに存在するレコード数のみをデータベースから取得し、クライアントに返送する。そのため、空間的分布を可視化する場合と同様に、可視化のためのシステム負荷を削減できる。

3.3.3 時空間分布の描画の同期

地図インタフェース上の移動や拡大縮小など、ユーザからの操作によって地図インタフェースの表示領域に変更が生じた場合、時間軸上のグラフも同期して更新し、変更後の描画領域内におけるセンサデータ数の時間的な分布を提示する。例えば、図 5 のように、地図インタフェース上で一部の領域を拡大すると、時間軸上のセンサデータ数が同期して変化し、対応する時間範囲内におけるセンサデータ数の時間的分布を提示する。

同様に、センサデータ数を表示する時間範囲の変更が生じた場合、地図インタフェース上の表示内容も同期して更新し、変更後の時間範囲内に存在するセンサデータ数の空間的な分布を提示する。例えば、図 6 のように、表示する時間範囲を短縮すると、地図インタフェースに表示されるセンサデータ数が同期して変化し、対応する時間範囲内におけるセンサデータ数の空間的分布を提示する。

3.4 考察

提案機構では、地図インタフェースおよび時間軸上にセンサデータ数の時空間分布を提示し、ユーザ操作に応じて提示する分布をインタラクティブに更新することで、ユーザが直感的にセンサデータ数の分布を理解できるものと考えられる。また、第1章で述べた突発的なイベントの発生地点のように、センサデータ数の時空間分布に特徴のある領域の抽出が、直感的な操作で行えるものと考えられる。例えば、突発的なイベントが発生した領域の抽出を考えた場合、ある限られた地点において、周辺と比較してセンサデータ数が急激に増加している時空間領域を検索する必要がある。このとき、ユーザは地図インタフェースを操作しながら、時間軸上でデータ数が短期間に増加している期間がある場合、表示領域内においてイベント発生地点が存在する可能性があることを認識できる。また、地図の拡大や移動、グリッドサイズの変更といった操作を行うことで、イベントが発生した詳細な地点を容易に特定できる。

上記のような検索を問合せ言語で記述する場合、イベントが発生したと判断するデータ数の増減や、イベントを抽出する時空間粒度などを既定した上で再帰的な問合せを記述する必要があるため、特に問合せ言語の記述に慣れていないユーザにとって手間が大きくなる。一方、「一辺が5kmの正方形領域において、10分間で100以上のデータが発生している時空間領域」など、明確な数的指定が可能であり、かつ単純な記述で問合せが可能な検索においては、提案機構におけるデータ数分布の可視化を行わずとも、濱口らの記述方式 [4] などを用いて十分な検索が行えるものと考えられる。

4. 実装と評価実験

第3章で述べた設計に基づき、提案機構を実装し、その有用性を実験によって評価した。本章では、実装の詳細について述べた後、評価実験について詳述する。

4.1 実装

Windows 7 搭載の PC 上に、サーバおよびデータベースを構築した。構築したサーバおよびデータベースの諸元を表4に示す。データベースへの問合せや、問合せ結果の処理など、サーバサイドの処理は Java6.0 で実装し、描画などのクライアントサイドの処理を JavaScript、および html5 の機能である Canvas を利用して実装した。

モバイルセンサデータとして、2011年10月～2012年5月の期間に日本全国で発生したジオタグ付きツイートの時刻および位置情報をデータベースに格納し、これらを利用するものとした。サーバからのデータベースへのアクセスは、Java の関係データベースとの通信用 API である JDBC を用いた。

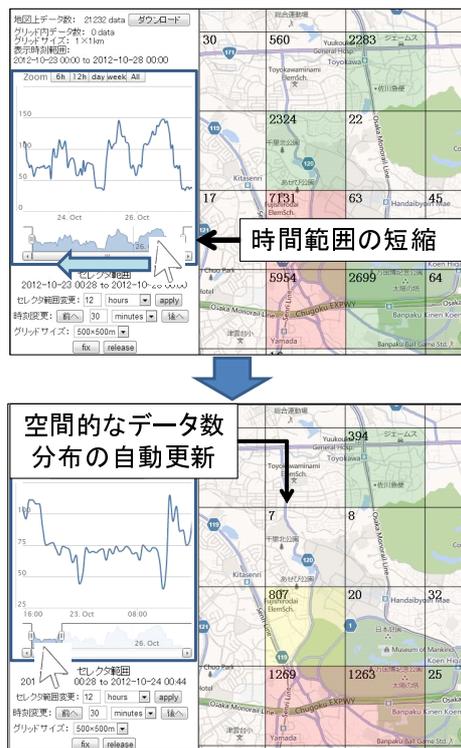


図 6: 時間範囲の操作

Fig. 6 Operation of time range.

表 4: サーバおよびデータベースの仕様
Table 4 Specification of server and database.

| | |
|---------------|------------------------------|
| Web サーバソフトウェア | Apache HTTP Server ver.2.4.3 |
| サーバレットエンジン | tomcat6.0 |
| データベースソフトウェア | PostgreSQL 9.2.1 |

交通事故やゲリラライブなど、ある地点で突発的に発生したイベントをイメージして下さい。このとき、イベントが発生した時間、その地点に人だかりができ、周辺の時間・場所と比較して大量のデータが発生することが考えられます。課題開始時に表示された時空間領域内に、上記のようなスポットがいくつか存在しますので、提案機構を用いて探してください。

図 7: 実験課題

Fig. 7 Task for the experiment.

4.2 評価実験

3.4 節で述べたとおり、提案機構は、突発的なイベントが発生している時空間領域をはじめとして、時空間分布に特徴のある領域の抽出において、特に有用であるものと考えられる。このことを検証するため、上記のシステムを用いて、20代の大学生および大学院生 11 名を対象としたユーザ実験を行った。

4.2.1 実験手順

まず、各被験者に提案機構の操作説明を行い、3分間自由に利用してもらうことで、提案機構の操作に慣れてもらった。次に、前述したようなイベントが発生している時空間領域の抽出を想定し、図7に示す課題を提示した。

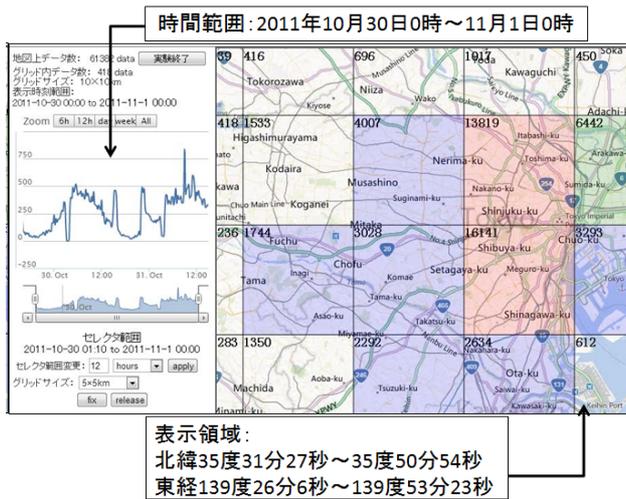


図 8: 課題開始時の画面

Fig. 8 Screenshot when starting experiment.

表 5: アンケート項目

Table 5 Questionnaire items.

| | |
|----|--|
| Q1 | 操作量ほどの程度に感じましたか? [-2(多い)～+2(少ない)] |
| Q2 | 作業時間ほどの程度に感じましたか? [-2(多い)～+2(少ない)] |
| Q3 | 操作方法は分かりやすかったですか? [-2(分かりにくい)～+2(分かりやすい)] |
| Q4 | 提案機構の利点について記述して下さい。 [記述] |
| Q5 | 提案機構の欠点について記述して下さい。 [記述] |
| Q6 | 改善点や他に必要な機能があれば記述して下さい。 [記述] |

課題開始時には、図 8 に示す領域が表示されており、課題で検索対象となり得る時空間領域は、この領域内に存在する。なお、図 8 の表示領域外に存在するデータは検索の対象外とし、課題実行中は参照できないものとした。被験者には、周辺の時間・場所と比較して大量のデータが発生している時空間領域を特定してもらい、当該領域を含む時間範囲およびグリッドを可能な限り絞り込んだ状態で当該グリッド内のデータをダウンロードするよう指示した。

上記の実験課題において、課題開始時からダウンロードボタンを押下するまでに経過した時間を課題実行時間として計測した。また、実験課題実行中は、被験者の操作ログとして以下の操作回数の総計を記録した。

- 地図インタフェースへの操作
ドラッグによる移動、マウスホイールによる縮尺変更など、地図インタフェースに対する操作。
- 各種設定ボタンの押下
グリッドサイズの指定や時間分布グラフの表示範囲の変更といった、各種設定メニューへの操作。
- 時間軸への操作
データ数の時間的分布の表示範囲を変更する操作。
さらに、課題終了後に、表 5 に示すアンケートに答えてもらった。

4.2.2 実験結果

各被験者ごとの課題実行時間および操作回数を図 9 およ

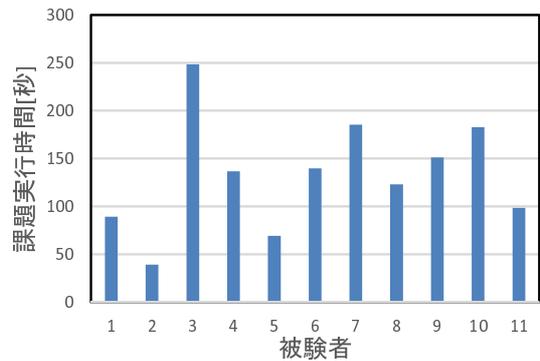


図 9: 課題実行時間

Fig. 9 Elapsed time for the task.

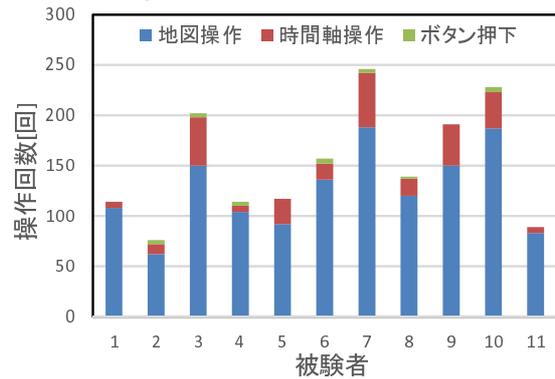


図 10: 操作回数

Fig. 10 The number of operations.

び図 10 に、アンケート項目 Q1 から Q3 に対する回答の集計結果を表 6 に示す。

まず図 9 の結果より、被験者ごとに課題実行時間にばらつきが出ることがわかる。また、図 10 の結果より、操作回数は、課題実行時間と同様の傾向を示し、課題実行時間と同様、被験者ごとにばらつきが出ることがわかる。一方、表 6 の結果より、実際の課題実行時間および操作回数に関わらず、ほぼ全ての被験者が作業時間および操作量を「少ない」(+1, +2) と回答している。また、半数以上の被験者が、操作方法に対して「分かりやすい」(+1, +2) と回答している。これらの結果から、提案機構はインタラクティブな操作環境を提供することによって、データの検索にかかるユーザの心理的負荷を軽減できることが示唆される。また、Q4 の設問に対し、4 名の被験者が「普段利用している地図アプリと同様に操作できるので操作方法が分かりやすい」と回答している。このことから、地図インタフェース上にデータ数の分布を重畳することで、空間的分布の確認にかかる操作を容易にできたものと考えられる。

ここで、図 10 の結果より、被験者 {3,7,9,10} など、操作回数が大きくなった被験者は、他の被験者よりも時間軸上のグラフに対する操作回数が多いことがわかる。また、Q5 の設問に対し、3 名の被験者が「時間グラフの操作や、異なる時間における時間的、空間的分布の比較が難しい」と回答している。これらから、提案機構のうち、時間軸上

表 6: アンケート結果
Table 6 Results of questionnaires.

| Q1. 操作量はどの程度に感じましたか？ | | | | |
|-----------------------|-----|-----|-----|------------|
| -2(多い) | -1 | 0 | +1 | +2(少ない) |
| 0% | 0% | 0% | 73% | 27% |
| Q2. 作業時間はどの程度に感じましたか？ | | | | |
| -2(多い) | -1 | 0 | +1 | +2(少ない) |
| 0% | 10% | 0% | 45% | 45% |
| Q3. 操作方法は分かりやすかったですか？ | | | | |
| -2(分かりにくい) | -1 | 0 | +1 | +2(分かりやすい) |
| 0% | 9% | 19% | 36% | 36% |

のグラフに対する操作は、ユーザにとって十分に直感的とはいえず、操作方法を改善する余地があるものと考えられる。また、ある時間帯ごとのデータ数分布を同時に提示するなど、異なる時空間領域を同時に参照できる機能の必要性が示唆される。

5. おわりに

本稿では、モバイルセンサデータの時空間的な分布を可視化し、データの検索、取得を支援する機構を設計、実装した。提案機構では、地図インタフェース上にセンサデータ数の空間的な分布を重畳することで、センサデータ数の空間的な分布の直感的な理解を支援する。また、センサデータ数の時間的な推移を示すグラフを提示することで、センサデータ数の時間的な分布の理解を支援する。さらに、地図インタフェースおよび時間軸上に表示されるデータ数は同期しており、ユーザの操作によって一方の表示領域が更新された場合、他方の分布も動的に再描画される。

現在の実装では、センサデータが観測された時刻および位置座標のみを用いた可視化処理を行っている。ここで、センサデータの用途によっては、温度や騒音情報といった実際の観測値を用いた検索も必要になるものと考えられる。そのため、時刻や位置以外の情報も利用したセンサデータの検索を支援する機構について検討する予定である。また、4.2.2節で述べたとおり、時間軸上のグラフに対する操作性の改善や、異なる時空間領域を同時に参照できる機能の実装など、インタフェースの改良について検討する予定である。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金・基盤研究(S)(21220002) および国家課題対応型研究開発推進事業一次世代 IT 基盤構築のための研究開発－「社会システム・サービスの最適化のための IT 統合システムの構築」(2012年度～2016年度)による成果である。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Hamaguchi, Y., Yoshihisa, T., Ishi, Y., Teranishi, Y., Hara, T., and Nishio, S.: A data aggregation system using mobile agents on integrated sensor networks, Proc. Int'l Conf. on Advances in P2P Systems, Vol.3, pp.33-38 (2011).
- [2] 濱口雄人, 義久智樹, 寺西裕一, 原 隆浩, 西尾章治郎: 複数拠点統合型センサネットワークにおける収集データ記述方式の設計と実装, 情報処理学会研究報告, Vol.2011-DBS-153, No.10, pp.1-8 (2011).
- [3] Mokbel, M.F., Xiong, X., and Aref, W.G.: SINA: Scalable incremental processing of continuous queries in spatio-temporal databases, Proc. ACM SIGMOD Conf., Vol.1398, No.2, pp.623-634 (2004).
- [4] Nakayama, M., Matsuura, S., Esaki, H., and Sunahara, H.: Live E! project: Sensing the earth, LNCS, Technologies for Advanced Heterogeneous Networks II, Vol.4311, pp.61-74 (2006).
- [5] Yoshida, M., Okuda, T., Teranishio, Y., Harumoto, K., and Shimojo, S.: PIAX: A P2P platform for investigation of multioverlay and distributed agent mechanisms, IPSJ Journal, Vol.49, No.1, pp.402-413 (2008).
- [6] 義久智樹, 西尾章治郎: スマートフォンを用いたセンサデータ処理収集のためのフレームワーク, データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (2012).