

## 研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名：実世界検索に向けたネットワークセンシング基盤ソフトウェア OSOITE

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点):

研究代表者

戸辺 義人(東京電機大学 未来科学部 教授)

主たる共同研究者

瀬崎 薫 (東京大学空間情報科学研究センター 教授)(平成 21 年 4 月～)

白石 陽 (東京大学空間情報科学研究センター 助教)(平成 18 年 10 月～平成 21 年 3 月)

梅田 和昇(中央大学理工学部 教授)

栗原 聡 (大阪大学産業科学研究所 准教授)(平成 21 年 4 月～)

高汐 一紀 (慶應義塾大学環境情報学部 准教授) (平成 18 年 10 月～平成 23 年 3 月)

田村 陽介 ((株)フィックスターズ 取締役 CTO) (平成 18 年 10 月～平成 21 年 3 月)

3. 研究実施概要

本研究は、街中の実世界検索を実現するためのネットワークセンシング基盤ソフトウェアを構築することを目的として実施した。その基盤ソフトウェアを、(1)異種センサデータ統合時間データ管理機構 Tomu、(2)携帯機器を有する人からセンサ情報を収集する機構であるヒューマンプローブ HP、(3)街中人流情報生成機構 EPEF、(4)ウェブおよびマイクロウェブから位置精度の高い街中情報を収集する機構 WeX、(5)アプリケーションフレームワーク、の 5 つの要素に分割して、各々の研究開発を進めた。

(1)Tomu に関しては、様々な粒度で発生する時空間センサデータを、街中道路沿いの情報として階層的に管理する I-Tree、類似する時系列を高速に検索する STAX アルゴリズム、動的にセンサを組み込む際に自動コンフィグレーションを可能とするセンサインタフェース記述言語 USML を開発し公開した。(2)移動する人が装着したり、保持するセンサを用いて、複数人によりセンシング範囲を広げるというコンセプトを実現するヒューマンプローブ(HPB)を開発した。その中でも特に、センサ情報付き写真画像収集機構に注力した。(3)EPEF に関しては、コモディティステレオカメラを用いて、人数に対するスケラビリティの高い歩行者数特定アルゴリズムおよび Tomu との連携が可能なソフトウェアを開発した。さらに人の集団の動きを解析して高次コンテキストを生成し、集団行動を分析可能にした。(4)WeX の研究では、位置情報特定の精度を向上させることにより、ウェブ上のブログやマイクロブログにある文章から、正確な位置情報を備えた実世界情報を抽出可能なアルゴリズムおよびそのソフトウェアを開発した。(5)アプリケーションフレームワークについては、街中状況検索とアンビエントナビゲーションを備えた Sfeer を開発した。HPB、EPEF は単独でも機能する要素ではあるが、これらを異種センサデータ統合時間データ管理機構 Tomu と通信可能となる構成とすることにより、都市センシングキットソフトウェアとして完成させることができた。

HPB、EPEF、WeX 各々で生成されるセンシングデータは、単独でも利用可能である。しかし、本研究では、これらすべてを Tomu の入力として、時空間上で階層的に管理する。これらのデータ群は、アプリケーションフレームワークにおけるサーバで取り扱い可能となり、最終的に携帯電話を用いる実際のユーザに提供される。

本研究を実適用するに当たり、応用検討ワーキンググループを立ち上げた。その中で、東京都八王子市や、東京駅周辺のビルを管理する諸企業と交渉を重ねた。しかし、本研究の実験フィールドに達するには至らなかった。その後、実施開始 2 年後の 2008 年 10 月に、群馬県館林市の協力が得られることが決まり、群馬県館林市を「統合センシングシティ」として、本実世界検索のフィールドとした。その中で、地域の局所的気象情報を取得するために、館林市市街地に、24 時間稼働する無線マルチホップ通信センサネットワークを平成 21 年度より敷設し運用している。具体的なアプリケーションとしては、地域特有の熱中症予防情報サービスを提供したほか、アンビエントナビゲーションをスマートフォン上のアプリケーションとして展開した。平成 23 年 7 月には、館林市

民による実証実験を行い、本システムの有用性を一般市民の方に利用してもらうことで確認することができた。本プロジェクトでは、群馬県館林市を実験フィールドとしたが、スタート当初に目指した「街中の実世界検索」に適用可能となるように、汎用性の高いシステムとして完成させた。

更に、2009年度より、安全安心のための先進的統合センシング技術の研究成果全体の可視化を狙った統合センシングデータベース「Sense-DB」の構築を進めた。2009年度にプロトタイプを構築し、2010年度に統合センシングデータベース研究者の協力を得てデータベース化を行った。統合センシング技術領域を中心とした研究者の協力のもと、具体的なコンテンツを入力し、試行を重ねることにより、順次コンテンツを充実させ運用方法を改良し、公開システムとして稼働させた。Sense-DBは、テキストドキュメントだけでなく様々なメディアを活用し、時系列マップ等も組合せて、統合的な情報へのアクセスをユーザに提示するものである。

#### 4. 事後評価結果

##### 4-1. 研究の達成状況及び得られた研究成果(論文・口頭発表等の外部発表、特許の取得状況等を含む)

以下の3つの点において、概ね当初の目的は達成していると考えられる。第1に、Tomu システムアーキテクチャの開発が挙げられる。まず、Tomuの実体を負荷分散させ、異種センサデータの流通を可能とするアーキテクチャの開発から開始した。各 Tomu ノード間および、Tomu ノード・アプリケーションサーバのプロトコルを定義し、USML による自動コンフィグレーションが可能とする形式とした。Tomu を実空間へ適用するに当たっては、微気象観測から着手した。メッシュの細かいネットワークにより微気象データを採取し、微気象と都市環境との相関を求めた。さらに群馬県館林市において、市の協力を得てルータセンサノードとリーフセンサノードを43個配置し、長期的な微気象データの収集を開始した。具体的には、館林駅東側の約600m四方の範囲に43台の気温湿度センサを設置し、温度、湿度情報の収集を行っている。各センサノード間は省電力で通信が可能で柔軟なプロトコル実装による汎用的なアプリケーションの利用が可能で IEEE802.15.4 の無線通信を使用した。本微気象センサネットワークで生成されるデータは、1分間に44か所の地点の気温・湿度データとなり、Tomu 内部に逐次蓄積されていくようにした。このような微気象センサネットワークで得られた最新の気温・湿度データから、日本気象学会作成のチャートから熱中症の指標となる簡易 WBGT 指数を算出し、インターネット上で公開した。簡易 WBGT 指数マップ閲覧サイトは会員限定のサイトとなっており、会員はいつでも当該サイトにアクセスが可能である。2次元平面上で発生する異種センサデータを統合的に扱う環境下で高速な検索を実現するには、古典的な多次元索引機構である kd-tree に B-Tree の特徴を統合した完全平衡木である K-D-B-Tree に代表される多次元空間索引の利用が有効な手段である。しかしながら K-D-B-Tree は、各次元の領域分割を平等に行うため、実世界の多様なプロパティに対応できない。そこで、実世界の多様なプロパティを反映した多次元空間索引である I-Tree を設計した。I-Tree では、過去のクエリパターンを反映し、最適な領域分割方式を動的に決定することが可能である。I-Tree の具体的な適用例のひとつとして、道路ネットワークへの適用がある。既存データベース管理システムに蓄積された異種センサデータを複数センサデータの条件に合わせて逐次的にあるセンサデータを検索処理するには、膨大な処理時間を要する。また屋外にセンサネットワークを構築する場合、現実的に道路に沿ってセンサが設置される。異種センサデータ検索を行う場合、道路に沿った検索が可能となればより効率的な処理になるが、既存のセンサデータ検索のデータ構造は、道路ネットワーク構造を無視した処理を行っている。I-Tree を用いることで、従来の多次元索引機構よりも道路に沿って設置されたセンサデータを効率的に検索可能となる。プロジェクトでは、その際に指摘される道路ネットワーク配置を考慮した領域分割、道路ネットワーク正規化による索引の効率化等の課題を検討、評価実験を通して、検索処理における I-Tree の有用性を示した。

次に、ヒューマンプロブ方式の確立が挙げられる。研究開発当初は、センサは固定的に設置するものと仮定して、アーキテクチャを設計した。しかし、研究を進める過程において、街中を移動する人から積極的に情報を取得する「ヒューマンプロブ」という着想に至り、ヒューマンプロブから取得されるデータも統合して扱うこととした。ヒューマンプロブは、Bluetooth、ZigBee、特定省電力通信などの通信機能を有したセンサを用いることで、生体情報、行動情報、外界環境情報を多く人で収集する手法である。近年のセンサの小型化と携帯端末の高機能化により、移動するユーザが保持するセンサを用いてセンシング範囲を広げるというヒューマンプロ

ープのコンセプトが現実的なものとなっている。ヒューマンプローブの開発では、特に写真画像に特化したセンサ情報付き写真画像収集機構に注力した。これは、高性能カメラ、GPS 受信機、地磁気センサ等を搭載する携帯電話が普及し、位置や方向といった撮影時の情報を伴った写真をいつでも容易に撮影可能となり、また携帯電話網の発展により、撮影された写真は、ネットワークを通して瞬時に共有可能となったことを受けて、考えられたものである。災害現場等においては、携帯電話カメラにより撮影された写真は、救助や避難誘導における現場状況の把握に有益な情報となる。街中の様子を携帯電話のカメラで撮り、撮影動作と同時にネットワーク上に存在するサーバにアップロードでき、写真が閲覧できることで街の様子を実時間で知らせることを可能とするには、多くの人が「写真レポート」となる必要がある。したがって、このシステムでは操作容易性が普及の鍵となり、携帯電話のカメラで撮影するという動作と、サーバへアップロードするという動作が別ではなく、同時に行われることが望ましい。また、携帯電話のカメラに内蔵される加速度センサ、ジャイロ等の情報を写真に付加することにより、写真のみでは得られない情報も同時に伝えることも重要である。センサ情報付与写真システムの実装は Android OS が搭載されているスマートフォン上で行い、撮影された写真やそれに付随する付帯情報は HTTP を用いてサーバに集約される。このように開発したシステムを Web サイト上で公開するとともに、群馬県館林市のイベントにおいて市民ボランティアを中心に実際に稼働をさせて複数の被験者に利用して頂き、アプリケーションの動作検証を行った。

3点目は、各種アプリケーション群の開発、公開が挙げられる。特筆すべきは、安全安心情報提供アプリケーションの開発である。同アプリケーションにおいては、気象センサ、人流センサ、携帯センサから集められたセンサデータを用いて街中の雰囲気可視化する Sfeer システムを開発し、一般ユーザの利用頻度の高い Android アプリケーションとして実装した。実証実験環境としては、群馬県館林市の駅前市街地において、センサネットワークシステムを構築・運用した。Sfeer は、館林市内に設置した気温湿度センサと人流センサ、センサ情報付与写真システムで撮影された写真を閲覧することができる。また、Sfeer サーバは館林市に関連する Web 上の情報の収集やナビゲートの計算を行い、Sfeer クライアントへ通知を行う。Sfeer クライアントでは、事前に Sfeer サーバに登録された地点の情報を閲覧することができる。実験時には館林市内の 6 地点が閲覧可能とした。センサデータは Tomu データベースに集約され管理される。Sfeer サーバはクライアントからクエリを受け取ると、Tomu へ必要な情報を問い合わせる。更に、UI の設計は、利用者の利便性を考慮して行った。微気象センシングネットワークで収集した温湿度データと熱中症予防指針で提唱されている簡易 WBGT 値を用いて熱中症指数を算出し、危険度に応じたアイコンを付けることにより視覚的に分かりやすく提示した。また、人流センサから取得されたデータもアニメーションを用いて表示しており、直感的に人の密集度を理解することができる。センサ情報付与システムで撮影された写真はビューアで閲覧できる。この写真は全ての Sfeer クライアントで共有することができるため、遠く離れた地点の状況を判断することが可能である。Sfeer サーバでは利用者が局所に特化した情報を発信することができるマイクロブログやブログの情報を検索して、それらの文章を解析することで、対象とする地域にマッチした情報を表示する機構を実現した。解析された情報は Sfeer クライアント上で他のセンシングデータと共に表示されている。センシングデータと合わせることで、例えば「熱中症で倒れた人がいる」という Web 上の情報を見ながら簡易 WBGT 値を見ることで、正しく状況を把握することが可能となる。Sfeer システムには、利用者が望む場所を推薦するナビゲーション機能も実装した。Sfeer クライアントからナビゲーションのクエリを受け取ると、Sfeer サーバは利用者が現在いる位置の人流を基準にして、人流の多い場所もしくは少ない場所の検索を行う。検索結果は矢印で提示され、利用者は矢印の方向に向かうことで目的の場所に到達することができる。

以上のように、個々の要素研究に関しては、当初の目標と比較して着実に成果が上がっている。また国内外での論文、及び口頭発表数も妥当であると判断される。しかし、ミドルウェアとしての共通性の検討が不足している。また、他グループ、他機関との交流が少ないように思われる。特許に関しては、国内で2件、中国で1件であり、若干少ない印象を受ける。

#### 4-2. 研究成果の科学技術や社会へのインパクト、戦略目標への貢献

人間がセンサとなって、自然情報・位置情報を広く収集するシステムを作りつつあることには、期待が持てる。

しかし、社会実装の出口としての館林市の実証実験に関しても、参加者が少なく、まだ検討の余地が残されている。

#### 4-3. 総合的評価

目的とした基盤ソフトウェアの開発については、課題の困難さもあり、目標に到達する形にはなっていない。しかし、ヒューマンプロブという概念を出して、実証実験を行い、ソーシャルメディアやセンサと結び付けてシステム化した点は高く評価できる。また、「統合センシング領域」15チーム全体の成果を総括の指示によりデータベースとしてとりまとめ、センシングデータベースの構築に貢献したことは大いに評価できる。