

戸辺 義人

東京電機大学未来科学部情報メディア学科・教授

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

§ 1. 研究実施の概要

平成 22 年度は、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の構築にあたり、前年度までに確立した技術の改良と統合を行った。また新たな実証実験も行い、基礎的な成果を得た。

具体的には、まず「実世界規模 DBSN オーバレイネットワークの構築(東京電機大学担当)」において、道路ネットワークを研究対象と設定し、道路に設置されたセンサデータを効率的に検索可能な手法を構築した。道路ネットワークに設置されたセンサを検索対象とした場合に課題となる、領域分割や道路ネットワークの正規化による索引効率化を行うことで、検索速度の向上を図った。

「ヒューマンプロブによる DBSN の拡張(東京電機大学担当)」では、従来からの市街地に設置しているセンサネットワークを拡張するために、人間自身がセンサの役割を果たすヒューマンプロブシステムとして、きときと写真を開発した。きときと写真では、ユーザが携帯電話の写真撮影時に、写真情報とともに位置、方角、時刻といった付帯情報を取得し、それらをきときとサーバーにアップロードしてもらうことで、人間が集めた写真データやその付帯情報もセンサデータとして活用可能になった。

「安全安心情報提供アプリケーションの開発(東京電機大学担当)」では、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 View システムを開発した。多様な一次的なセンサデータを加工し、それらを一般ユーザも使用可能な Android アプリケーションとして実装することで、お祭りやイベント時に訪問者が地域ごとの盛り上がり度合いを閲覧可能なシステムが実現した。本システムは、群馬県館林市で行われた実証実験においても稼働し、動作が確認された。

研究課題「統合センシングデータベース(東京電機大学担当)」では、通常的气象系センサデータのみならず、ヒューマンプロブシステムからの入力である写真データや、気温・人流・写真等から賑わい度を推定する雰囲気可視化機能等のより豊かなセンサ情報を扱えるようにな

った。また、気象系センサにおいても、気象庁検定付きセンサノードを設置したり、センサの一部が気象台登録されたり、また新たに CO2 センサも設置することで、センサからの情報量増加も図れた。

研究課題「実空間安全・安心コンテキストのリアルタイム抽出（慶應大学担当）」では、研究実施項目、「群行動コンテキスト抽出アルゴリズムの実環境上での評価」を設定した。本実施項目では、人（群れ）の移動情報に着目、実証実験環境上に設置された物理層センシングデバイスで取得される各種の低次データや、DBSN から取得可能な低次コンテキスト情報から、不審者の存在や不穏な状況等、エリアコンテキストに直接結びつく高次の群行動コンテキストをリアルタイムかつ効率的に抽出することを目標とした。

「実世界検索のための DBSN データベースアーキテクチャ（東京大学担当）」では、分散異種センサデータベースのための問い合わせ処理機構を開発した。本問い合わせ処理機構では、空間時系列の類似検索を高速に処理し、それらデータを高速に追加・削除でき、索引を用いる場合には短時間で索引を構築し、主記憶容量に対して索引のサイズが大きくなり過ぎない様な設計がなされている。

「不審者検出情報生成に関わる物理センシングシステムの開発（中央大学）」に関しては、差分ステレオを用いた複数人物の検出・追跡手法を発展させた。主な成果は、背景更新、影除去、周期的な明るさ変動の除去手法の実装による複数人物トラッキングのロバスト化、画像からの特徴点群の抽出・トラッキングとボロノイ図を用いた領域分割の適用による、人物群の運動方向情報も含めた人数カウントの実現、屋内環境での複数人物の分離・追跡技術の確立ならびにジェスチャ認識の構築である。

「外部データベース連携機構の実装および集約アルゴリズムの開発（大阪大学担当）」では、単一 Web 文書ごとにその文書に書かれている複数の地名に対して、その個々の地名がその文書の主題を最も表す地名とどれだけ関係性があるかどうかを計算する手法を構築した。本年度は、主題地名が記載されている文章において、主たる地名を端的に表現するキーワードを抽出する方法と、そのキーワードを利用して WWW から主題地名を端的に表現する写真などの図を効率的に収集する手法の開発を行った。

群馬県館林市での実証実験については、2 回実施し、1 回目は「見えるぞ館林！」と題し市内の自然環境や都市情報の可視化をアピールした。また 2 回目は館林まつりの期間中に人流計測実験・ヒューマンプローブシステム稼働実験・雰囲気検索実験を行い、システムが現実空間において有効に動作することを実証し、外部メディアにも取り上げられた。

§ 2. 研究実施体制

（１）「東京電機大学」グループ

- ① 研究分担グループ長：戸辺 義人（東京電機大学未来科学部情報メディア学科、教授）

② 研究項目

DBSN オーバレイプロトコルの設計

- ・ DBSN オーバレイプロトコルの構築
- ・ DBSN プロトタイプの構築
- ・ 実世界規模 DBSN オーバレイネットワークの構築
- ・ ヒューマンプローブによる DBSN の拡張（追加項目）

統合センシングデータベースの開発

- ・ プロトタイプシステムの開発
- ・ 実運用のためのバックエンドシステム開発
- ・ コンテンツ自動推薦システムおよびシステム実運用

（２）「東京大学」グループ

① 研究分担グループ長：瀬崎 薫（東京大学空間情報科学研究センター、准教授）

② 研究項目

実世界検索のための DBSN データベースアーキテクチャの構築

- ・ 分散異種センサデータベースのための問い合わせ処理機構の設計および開発
- ・ 問い合わせモデルと問い合わせ記述言語の開発

（３）「慶應義塾大学」グループ

① 研究分担グループ長：高汐 一紀（慶應義塾大学環境情報学部、准教授）

② 研究項目

実空間安全・安心コンテキストのリアルタイム抽出

- ・ 群行動コンテキスト抽出アルゴリズムの実環境上での評価

（４）「中央大学」グループ

① 研究分担グループ長：梅田 和昇（中央大学理工学部、教授）

② 研究項目

不審者検出情報生成に関わる物理センシングシステムの開発

- ・ 運動領域型小型ステレオカメラシステムの開発
- ・ ステレオカメラによる移動人物検出アルゴリズムの開発
- ・ RFID とステレオカメラの組み合わせによる不審者検出

（５）「大阪大学」グループ

① 研究分担グループ長：栗原 聡（大阪大学大学院情報科学研究科、准教授）

② 研究項目

実世界検索のための DBSN データベースアーキテクチャの構築

- ・ 外部データベース連携機構の実装および集約アルゴリズムの開発

§ 3. 研究実施内容

「実世界規模 DBSN オーバレイネットワークの構築」

研究課題「実世界規模 DBSN オーバレイネットワークの構築（東京電機大学グループ）」では、道路ネットワークを研究対象と設定し、道路に設置されたセンサデータを効率的に検索可能な KDRN-Tree (KD-Tree with Road Network)を開発した。

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。位置条件を含む複数のセンサデータ条件に合致したデータ検索には、kd-tree に代表される多次元索引機構が利用される。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。平成 22 年度は、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な KDRN-Treeを開発した。KDRN-Tree の開発には、以下の技術的な課題が存在する。

道路ネットワーク配置を考慮した領域分割： 2 次元平面上の道路ネットワーク配置を考慮した戦略的な領域分割によって、同一路径セグメント上の写真を可能な限り同一領域にて管理することで、道路セグメント単位でクエリを発行するようなストリート画像フロー生成の高速化を可能とする。

道路ネットワーク正規化による索引の効率化： 効率の良い索引を生成するためには、多くの道路が管理領域の次元軸に対して水平・垂直でなければならない。そこで我々は、力学的なポテンシャルモデルに基づいて道路ネットワークを自動変形し、索引機構と親和性の高い道路ネットワーク配置に正規化する。

まず、我々は道路ネットワーク配置を考慮した空間分割について考慮した。KDRN-Tree において、子ノードの管理領域は、親ノードの超平面による分割で得られる。図 1 は、ある道路ネットワーク上にセンサの設置を点で示した例である。各センサは、設置位置と多種センサデータが取得できるものとする。なお、以下では道路や歩道をパス、地図上の領域を区切る境界をエッジと定義する。図 1 において、水平および垂直方向の合計 6 個のパスが、9 ヶ所で交差している。図 1 に点線で示されたように 6 個のパスは 30 個のパスセグメント (9 個の交差点領域もパスセグメントに含む) に分割できる。すべてのパスセグメント (矩形領域) の境界線を垂直または水平方向にエッジまで延長し、この中で他のパスセグメントを分割線上以外で 1 つも交差しないものを分割線 l_i とし、その集合を $SL = \{l_1, l_2, \dots, l_s\}$ とする。また、管理領域の地図をエッジからエッジに渡る垂直線および水平線で走査し、どのパスセグメントとも交差しない縦軸および横軸の「隙間」を自由区間 (分割線は含まない) $w_j (1 \leq j \leq t)$ とし、その集合を $FI = \{w_1, w_2, \dots, w_t\}$ とする。図 1 に分割線と自由区間の例を示す。KDRN-Tree における領域分割は、以下の 3 種類の超平面を

用いて戦略的に行う．

HP1 分割線 l ($\in$ SL) を通る超平面 HP2 自由区間 w ($\in$ FI) を通る超平面 HP3 地図面と交わらない超平面

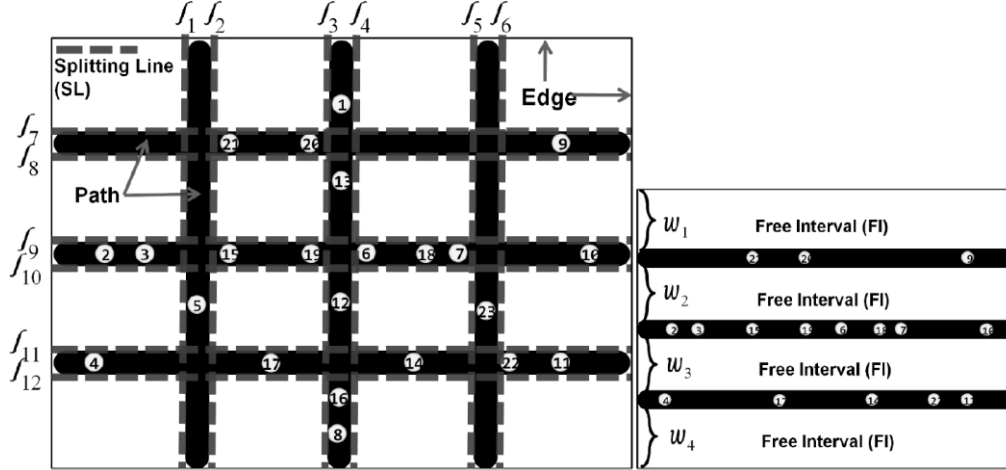


図 1.

次に我々は、道路ネットワークの正規化について考慮した．実世界の道路レイアウトは多種多様であり、複雑に入り組んだ形状も存在する．なお、手法における正規化とは、パス形状を直線直交化および水平垂直化することを意味する．パス形状の正規化処理の最終目標は、斜め方向のパスセグメントの MBR ができるだけ重なり合わないようにすることである．つまり、 r_s , r_o をそれぞれ、全パスセグメントの中で斜め方向のパスセグメントが占める割合、斜め方向のパスセグメントの中で MBR が他のパスセグメントの MBR と重なるものの割合とすれば、索引親和性 $A = 1 - r_s r_o$ を最大化するようにパス形状を正規化すれば、効率の良い KDRN-Tree を構築することが可能となると考えられる．以下に示すように、 r_s を最小化するための 2 つの処理目的を設定し、索引親和性を向上させる．

- (1) 直線直交化隣接したパスの組が互いになす角がすべて $\pi/2$ の整数倍となる．
- (2) 水平垂直化すべてのパスセグメントが管理超矩形の地図面の縦軸もしくは横軸と平行になる．

両目的が達成された場合、 $A = 1$ となり、索引親和性を最大化できるため、以下ではこれらの目的が達成された状態に道路ネットワークを近づけるための方法を議論する．まず、交差点と行止りをノードとし、ノード間に道路がある場合に直線のパスで結ぶことによって道路地図の情報からグラフ構造を抽出する．次に、直線直交化を達成するために、力学的なポテンシャルモデルに基づくパスの直交化および直線化を行う．具体的に、ノード間のパスセグメントをばねで置き換えたばね埋め込みモデルと呼ばれる抽象モデル理論を用いてパスの形状変換を行う．ここで、以下のエネルギー関数を用いれば、道路長を初期値のまま保存し、道路間のなす角度を量子化し、道なりの道路を直線化できることが知られている．本論の「直線直行化」と「水平垂直化」処理は、それぞれにおける「本処理部」、「後処理部」に相当している．エネルギー関数 (1) の第 1 項は、パスセグメントの長さが

理想値のときに最小となる 2 次関数であり， u_{ij} が理想長である．第 2 項は隣接したパスセグメントのなす角が理想値のとき最小となり，理想角 $\phi_{i \rightarrow j \rightarrow k}$ は式 (2) を用いて設定する．なお， $[x]$ は x を超えない最大の整数値を表す．第 3 項は隣接したパスセグメントの直線化を示す．

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i \leftrightarrow j} k_{ij}^v (v_{ij} - u_{ij})^2 - \sum_{i \rightarrow j \rightarrow k} k_{ijk}^\theta \cos(\theta_{i \rightarrow j \rightarrow k} - \phi_{i \rightarrow j \rightarrow k}) - \sum_{i,j,k} k_{ijk}^\Theta \cos(\Theta_{i \rightarrow j \rightarrow k} - \pi) \quad (1)$$

$$\phi_{i \rightarrow j \rightarrow k} = \left\lceil \frac{2\theta_{i \rightarrow j \rightarrow k}}{\pi} + 0.5 \right\rceil \times \frac{\pi}{2} \quad (2)$$

我々は，2 つの手法を用いて KDRN-Tree を開発した．評価実験を通して，検索処理における KDRN-Tree の有用性を示した．KDRN-Tree は，既存手法である K-D-B-Tree に対して最大 43.23% の検索速度向上を確認した．

「ヒューマンプローブによる DBSN の拡張」

研究課題「ヒューマンプローブによる DBSN の拡張（東京電機大学グループ）」では，従来からの市街地に設置しているセンサネットワークを拡張するために，人間自身がセンサの役割を果たすヒューマンプローブシステムとして，きときと写真を開発した．ヒューマンプローブシステムとセンサネットワークシステムが連携することで，より豊かな環境情報の取得が可能となった．きときと写真では，ユーザが携帯電話の写真撮影時に，写真情報とともに位置、方角、時刻といった付帯情報を取得し、それらをきときとサーバーにアップロードしてもらう仕組みになっている．こうすることで，きときと写真閲覧サイトで，多ユーザからの写真を表示したり，実世界雰囲気検索等に応用可能なシステムを構築した．

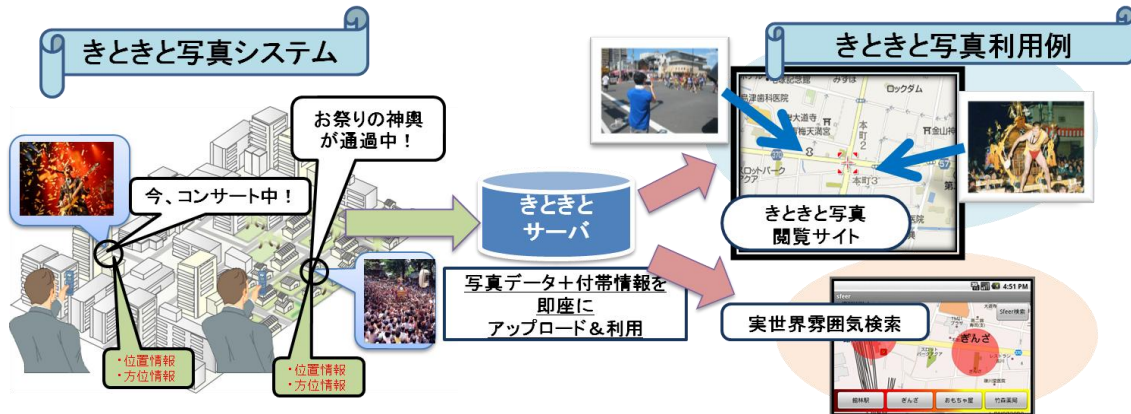


図 2：きときと写真システム概要図

きときと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されており、撮影された写真やそれに付随する付帯情報は http プロトコルを用いてサーバに集約される。平成 22 年度には、これらシステムをホームページ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実際に稼働をさせて複数の被験者に実際に利用して頂き、アプリケーションとの動作検証も行った。

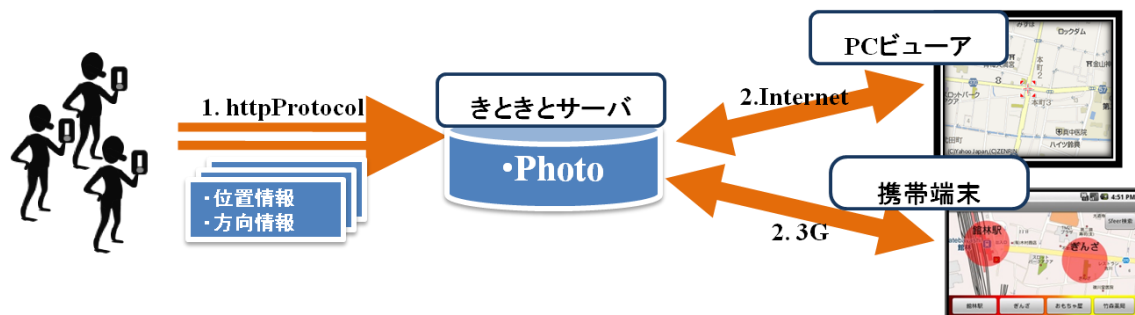


図 3：きときと写真システム動作手順

「実世界検索のための DBSN データベースアーキテクチャの構築」

研究課題「実世界検索のための DBSN データベースアーキテクチャの構築（東京大学グループ）」では、分散異種センサデータベースのための問い合わせ処理機構として STAX (Symbolic Spatio-Temporal Aggregate approXimation)を開発した。

様々な場所に設置された多種多様なセンサが生成するデータを活用して、市民や専門家に対して有用な情報を提供するためには、空間的な広がりを持つ時系列データ（空間時系列データ）を効率よく処理する必要がある。空間的な広がりをもったセンサデータから有意なパターンを高速に検索し、警報等のサービスをリアルタイムで提供するためには、以下の機能がセンサデータ管理機構に要求される

- (1) 空間時系列の類似検索を高速に処理できること。
- (2) 空間時系列を高速に追加・削除できること。
- (3) 索引を用いる場合は、短時間で索引を構築でき、主記憶容量に対して索引のサイズが大きくなり過ぎないこと。

これらの要求を満足させるために、時系列データマイニングで用いられる次元削減手法に基づく、空間時系列データの管理手法である STAX を提案した。

STAX で扱う空間時系列とは、まず、地理空間を格子状に分割して、各セルの時系列を集散的に扱うものとする。つまり、矩形の地理空間 RA を検索対象領域とすると、 R_A を x および y 方向に n, m 等分し、 $n \times m$ 個のセルについてそれぞれ時系列データをまとめて取り扱う。ここで、 x, y 軸に対して i, j 番目のセルの値を $v_{ij} (1 < i < n, 1 < j < m)$ と表記する。 v_{ij} の値は、対応するセルに冗長にセンサが設置されている場合にはそれらのセンサの値の平均値を用いるものとし、必要なセンサが存在しないセルの場合は null とするか、適当な補間アルゴリズムを用いて値を充填する。セル (i, j) の長さ z の時系列を $T_{ij} = \langle v_{ij1},$

$v_{ij2}, \dots, v_{ijz}$ とする. なお, $n \times m$ 個の時系列 T_{ij} は同期が取れているものとする. 同期が取れていないデータを扱う場合は, 補間等の前処理を行って時間を揃えておく. $n = m = 4, z = 16$ の場合の空間時系列データ T を図 4 に示す.

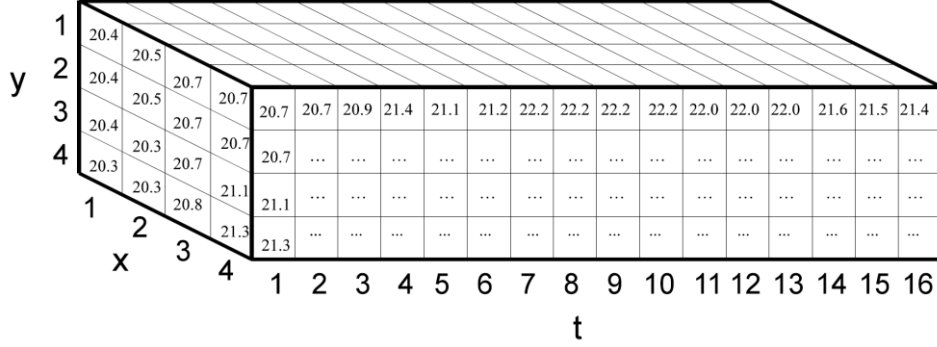


図 4 : 空間時系列データの例.

空間時系列データを効率良く処理するためには, データの次元数を削減することが重要になる. そこで, まず空間時系列データを PAA(Piecewise Aggregate Approximation: 断片集約近似) とよばれる時系列データの次元削減手法に基づいて変換する. 空間時系列データを PAA 表現に変換するにあたって, 部分空間時系列の切出しを行う. セルの時系列データ T_{ij} から, 開始位置 t および終了位置 $t + 1$ を 1 つずつ先に進めながら, 長さ 1 の部分時系列 T_{tij} ($1 < t < z - 1 + 1$) を順に切り出す. なお, 切出した部分時系列といっしょに開始位置 t の情報を保存しておく. 結果として, 各セルの部分時系列データ集合 $T^{tij} = \langle v_{ij1}, v_{ij2}, \dots, v_{ijl} \rangle$ ($1 < t < z-1+1$) が得られる. 次に, 全ての部分時系列 T_{tij} の, PAA 表現 T^{tij} を求める. T_{tij} は 1 次元であるが, その PAA 表現は w_t 次元である. 一般に, w_t は 1 よりもかなり小さな数になる. x, y 軸方向についても同様に一定区間毎の平均値を求めれば, $n \times m \times 1$ 次元の部分空間時系列データを, $w_x \times w_y \times w_t$ 次元のデータに変換し, 大幅に次元を縮減することができる. 部分空間時系列 T_t の時空間断片集約近似 (Piecewise Spatio-Temporal Aggregate Approximation: PSTAA) 表現 T_t は, v_{tij0jk} を要素とする $w_x \times w_y \times w_t$ の配列である. なお, w_x, w_y, w_t のことを, PSTAA 表現の x, y, t 軸方向のワード長と呼ぶ.

$$\bar{T}_{ij}^t = \langle \bar{v}_{ij1}^t, \bar{v}_{ij2}^t, \dots, \bar{v}_{ijw_t}^t \rangle \quad (1)$$

$$\bar{v}_{ijk}^t = \frac{w_t}{l} \sum_{s=\frac{l}{w_t}(k-1)+1}^{\frac{l}{w_t}k} v_{ijs}^t \quad (2)$$

$$\bar{v}_{i'j'k}^t = \frac{w_x w_y}{nm} \sum_{s_1=\frac{n}{w_x}(i'-1)+1}^{\frac{n}{w_x}i'} \sum_{s_2=\frac{m}{w_y}(j'-1)+1}^{\frac{m}{w_y}j'} v_{s_1 s_2 k}^t \quad (3)$$

SAX(Symbolic Aggregate approXimation: 記号集約近似) に基づき, PSTAA による表現を離散的な記号列に変換する. まず, センサデータの値範囲を a 個の部分範囲に分割し, 各

部分範囲に適当な記号を割り当てる．なお， a を SAX 次数と呼ぶ．部分空間時系列データ T_t に含まれる全ての値の平均と分散を μ ， σ とする．ガウス曲線 $N(0, 1)$ のつくる面積を a 等分する分割点の集合を $f\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{a-1}g$ とすれば，空間時系列データ T の次数 a による分割点は $b_i = \mu + \sigma \beta_i(1 \cdot i \cdot a-1)$ である．これらの点で分割された値範囲に，大きい順に 2 進数で番号を振り，対応する領域の記号表現として用いる． T の部分空間時系列の PSTAA 表現 T_t の要素を v_{ti0j0k} とし， v_{ti0j0k} を含む領域の 2 進数記号を $b_{nti0j0k}$ とする．部分空間時系列 T_t の時空間記号集約近似 (Symbolic Spatio-Temporal Aggregate approXimation: STAX) 表現 I_t は， $b_{nti0j0k}$ を要素とする $w_x \times w_y \times w_t$ の配列である．また，STAX 表現 I_t の各要素を 10 進数に変換し SAX 次数 a を付したものを N_t とする (図 5)．次に， Z 順序等に基づく空間充填曲線を用いて，記号配列 N_t を文字列に変換する．例えば， N_t を Z 順序に基づいて $f416, 516, 516, 28, 38, 38, 14, 616g$ という系列に変換した後に，各要素を結合して $4.16\ 5.16\ 5.16\ 2.8\ 3.8\ 3.8\ 1.4\ 6.16$ のように索引文字列 $iStr$ を作成する．図 6 に示すように，索引文字列 $iStr$ とあわせて空間時系列データをデータベースに保存し，管理する．STAX を用いた検索では，索引の葉ノードに格納された $iStr$ を利用してデータベース中に格納された実際の空間時系列データにアクセスする．

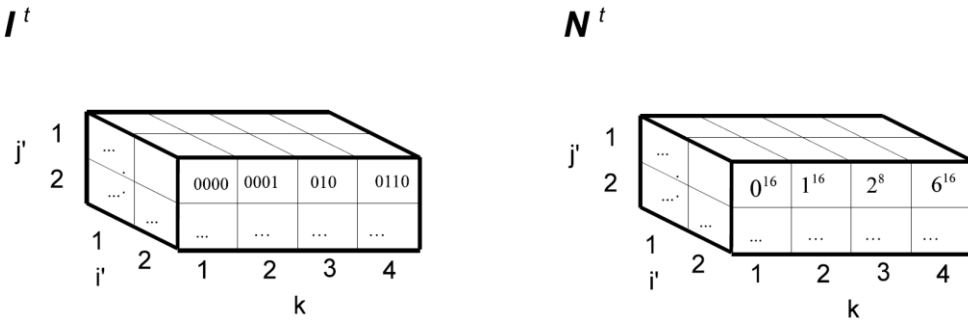


図 5.

iStr	Start time	Spatial Time Series Data
4.16_5.16_5.16_2.8_3.8_3.8_1.4_6.16	5	{20.1, 20.3, 20.1, 19.9, 20.0, 20.1, 20.2, 19.8, 19.9, 19.7, 20.0, 20.6, 20.8....., 21.2}
3.8_3.8_1.4_6.16_6.16_5.16_6.16_5.16	6	{20.5, 20.6, 20.5, 20.5, 20.5, 20.6, 20.7, 21.2, 21.3, 21.3, 21.3, 21.4, 21.3....., 22.2}
...	...	...

図 6

STAX による検索処理は，問合せに対してユークリッド距離が最小となる系列を求める最近傍検索を高速に行える．最近傍検索を高速に処理するために，まず問合せに対してユークリッド距離が最も近い k 個の系列の部分集合を求める処理 (近似検索) を行う．STAX を用いた近似検索の処理は容易である．つまり，新しい空間時系列データを STAX の構造でデータベースに挿入するときと同じように，空間時系列問合せの $iStr$ 表現を求め，これに一致

する葉ノードを探索すればよい。求められた葉ノードの iStr の値に従ってデータベースを検索し、得られた空間時系列を全て出力する。稀に問合せの系列に一致する葉ノードが存在しない場合があるが、その場合は途中で探索先が見つからなくなる。その場合は探索先が見つからなくなる直前のノードの配下にあるノードへと探索を進める。STAX を用いた最近傍検索の処理手順としては、まず近似検索の処理を行い、得られた空間時系列データの中で、問合せの系列に一番近いものを見つけ、その距離を変数(BSF)に保存しておく。なお、近似検索の結果得られるデータの個数はあらかじめ指定した閾値以下におさえられる。問合せの系列と、各ノードに対応する系列集合について、距離の下限を近似的に求め、優先順位付きキューを用いて、距離の下限值が小さなノードから順番に処理を行う。変数BSFに保存された最小距離の値よりも距離の下限が大きなノードは無視することができるので、大幅に探索空間を小さくし、ディスクアクセスの回数を減らすことができる。

「安全安心情報提供アプリケーションの開発」

研究課題「安全安心情報提供アプリケーションの開発（東京電機大学グループ）」では前年度から引き続き、群馬県館林市の駅前市街地を実証実験環境として、図7のようなセンサネットワークシステムを構築・運用し、安全安心情報提供アプリケーションとして Sfeer View を開発した。本センサネットワークシステムでは、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 Tomu サーバで保存をする。

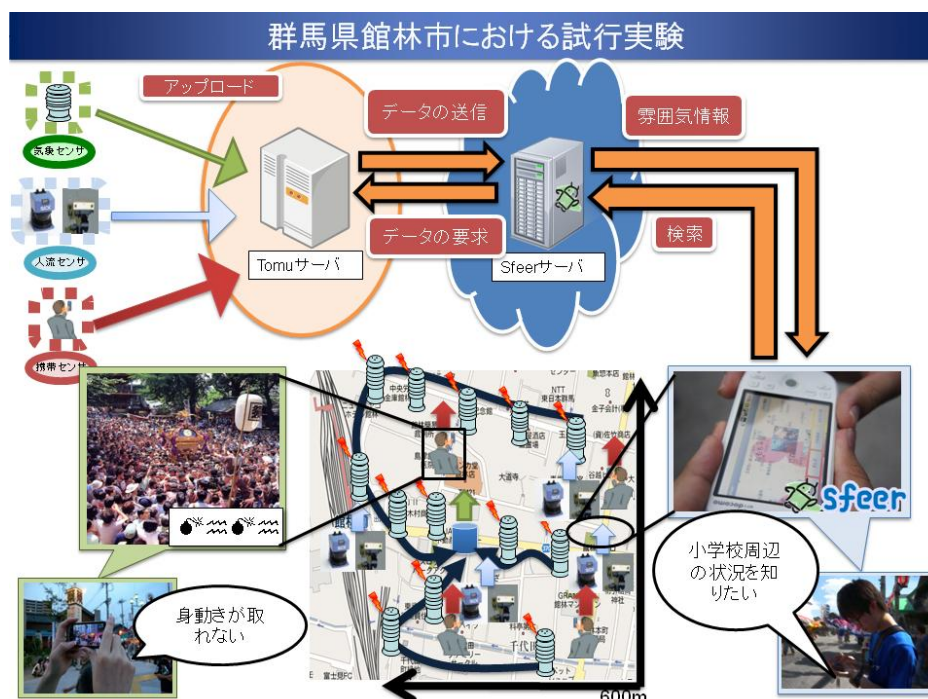


図7：群馬県館林市で運用中のセンサネットワークシステム

平成22年度はこのセンサネットワークシステム内の情報を安全安心情報としてユーザに提供するために、Sfeer View 気象気クライアントを Android アプリケーションとして開発

した。ユーザが街中の各地域の雰囲気を知りたい際には、スマートフォンに搭載された Sfeer View を用いることで、Sfeer サーバに問い合わせを行い、Sfeer サーバから既存のセンササーバである Tomu サーバに検索をかけ、各地域の温度・人流・写真等に基づいて、その地域の活性度合いを判定して結果を可視化するシステムを構築した。



図 8 : Sfeer View のユーザインタフェース

「統合センシングデータベースの開発」

研究課題「統合センシングデータベースの開発（東京電機大学グループ）」では、平成 21 年度から引き続き群馬県館林市で運用中のセンシングデータベースに関して、前述のヒューマンプロブシステムからの写真データを統合したり、またデータベースの出力例として雰囲気情報を利用することで、より豊かな地域情報を扱えるようになった。また気象庁検定月センサノード（温度・湿度）や、CO2 センサも稼働を開始し、センサの一部や気象台に登録される予定である。また、図 10 に示す、プレゼンテーション動画との同期機構を組み込んだ。

ゴリズムの実環境上での評価」を重点研究実施項目とした。本研究実施項目のゴールは、人(群れ)の移動情報に着目、実証実験環境上に設置された物理層センシングデバイスで取得される各種の低次データや、DBSN から取得可能な低次コンテキスト情報から、不審者の存在や不穏な状況等、エリアコンテキストに直接結びつく高次の群行動コンテキストをリアルタイムかつ効率的に抽出することにある。物理層センシングデバイスとしては、平成 19 年度より継続して中央大学・梅田教授らのグループと共同開発中の「運動領域注視型ステレオカメラシステム」を使用する他、平成 20 年度より導入したレーザレンジファインダ等の人流センサを利用した。これらの低次データを効率的かつ相互補完的に利用することで、広範囲における複数人の三次元空間的な移動を連続的に観測可能とし、既存研究に見られる「単なる異常の検知」ではなく、人流、群流、群行動という新たな視点からの高精度な高次コンテキスト抽出を実現した。街角の歩行者数が増加するに従い、計算量の問題から高次コンテキストのリアルタイム抽出は難しくなるため、平成 20 年度にプロトタイプ上での基礎的性能評価を行い、平成 21 年度にアルゴリズムの精緻化および実空間への適用を行った多段推論機構を、本年度より本格構築される実証実験環境上に導入し、前段で監視エリアの動的絞り込み(局所化)、監視エリアの優先順位付け等を行った上で、後段に平成 20 年度より継続開発中の「TDBN: Timed Dynamic Bayesian Network」モデルを適用、詳細な異常行動推定を実現した。学習データの収集と併せて実時間確率推論アルゴリズムとしての TDBN の精緻化を進め、実用に向けた機器連携ミドルウェアの構築、実証実験環境上での評価を行った。

「不審者検出情報生成に関わる物理センシングシステムの開発」

「不審者検出情報生成に関わる物理センシングシステムの開発(中央大学グループ)」においては、b)ステレオカメラによる移動人物検出アルゴリズムの開発の項目に対し、まず、背景更新、影除去、周期的な明るさ変動の除去手法の実装により、人物検出のロバスト化を実現した。これによって複数人物のトラッキングの安定化を実現し、階段を上がるような複雑な運動も 3 次元的に追跡可能なことも示した。また、人物群のカラー画像に対して KLT (Kanade-Lucas-Tomasi) Tracker を用いることで実現される特徴点群の抽出・トラッキングを差分ステレオと組み合わせることで、複数の人物群のフレキシブルな 3 次元トラッキングを実現した。さらに、多数の人物が絶え間なく移動する環境で、特徴点群の抽出・トラッキングに加えてボロノイ図を用いた領域分割を行うことで、人物領域を移動方向によって分類し、運動方向情報も含めた人数カウントを実現することを可能とした。さらに、このようにして実装した複数人物のトラッキングならびに人流計測の手法を、館林市において実証実験し、実環境でのリアルタイムの歩行者計測、ならびに東京電機大学のシステムへの無線通信に成功した。また、検出された物体が人物か他の物体かを認識するフレームワーク・インタフェースの提案も行った。一方、) RFID とステレオカメラの組み合わせによる不審者情報生成機構の開発の項目に関しては、昨年度と同じく、この問題を屋内での人物環境のセンシングと広くとらえ、手振りを行っている人物の手の肌色の自動登録手法の構築、手などの周期運動を検出・認識する手法の構築を行った。前者の肌色の自動登録手法の構築の研究では日本機械学会の若手優秀講演フェロー賞も受賞した。さらに、屋内環境で、差分ステレオで得られる距離情報を平

面に投影し、Mean-shift 法を用いてクラスタリングすることで、重なり合った複数人物を安定に分離、追跡する手法を構築した。また、構築した人物計測手法のプログラムの一部を HP で公開した。

「Webからの実世界情報抽出法の創出」

研究課題「Web からの実世界情報抽出法の創出(大阪大学グループ)」では、今日の情報洪水状況にある WWW には情報世界のみならず、実世界に関する情報も多く存在する。これを自動的に抽出して実世界から得られる情報と組み合わせることで、より精度の高い適切な実世界情報のユーザへのリアルタイムな提供を可能とできることが期待される。

抽出するためには、Webから、場所・時刻・位置・イベントなどの各情報を抽出し、それらを組み合わせる必要がある。その中で「場所」の抽出が最初の課題となる。Webから収集される一般的な文章から、地名のみを抜き出す際、まずは文章を形態素解析器で処理を行い、個々の単語に分割する。その際、あらかじめ地名であることが既知であり、形態素解析器に地名として登録されている単語以外の地名においては、それが地名であるかどうかを特定できなければならない。この部分の精度が低いと実世界情報として利用することはできない。そこで、これまでに、単語が地名かどうかの判別を行うための、Conditional Random Fields を用いた地名が使われる文章パターンの学習法を提案している。そして、主たる地名の特定においては、

- (1) 特定された地名から位置(緯度経度)を計算し、文章において登場する複数の地名の位置の近さから関連度を計算し、お互いに位置に近い地名同士に高い重みを付けるよう各地名に点数を付与する。
- (2) 文章中に登場する地名において、より隣接して登場する地名同士に高い重みを付けるよう、各地名に(1)と異なる点数を付与する。
- (3) (1), (2)の点数を反映する点数を、地名ごとに計算する。

そして、(3)にて最も高い得点を持つ地名をその文章における主な地名として出力する方法を確立し、抽出対象としてイベントに関する記述が多く含まれるブログを選択、既存のシステムとの比較評価を行った結果、提案手法の優位性を示すことに成功している。

本年度は、上記提案手法をさらに拡張し、主題地名が記載されている文章において、主たる地名を端的に表現するキーワードを抽出する方法と、そのキーワードを利用してWWWから主題地名を端的に表現する写真などの図を効率的に収集する手法の開発を行った。

まず、キーワードの抽出においては、単に主たる地名と関連する一般的なキーワードを出力するのではなく、一般的なキーワードの候補において、主たる地名が書かれている個々の文章における関連キーワードとの関連も考慮した順位付けを行うことで、より個々の文章における関連キーワードを抽出する方法を構築した。例えば、京都の嵐山における一般的なキーワードとしては、「ホテル、観光、トロッコ列車」となるところ、提案手法であると、秋の嵐山に関する文章においては、「トロッコ列車、紅葉、観光」というように、その文章により関連したキーワードを抽出することを可能とした。また、このキーワードを利用して、WWWから主題地名に関連する写真を抽出する手法の提案も行った。抽出する手順としては、

1. 言及地名とキーワードをクエリとして、一般的画像検索サイトにて画像を収集
 2. 各画像の掲載記事を取得
 3. 各取得記事からの地名学習結果を利用した地名候補の抽出
 4. 各地名候補の位置情報と関連語の抽出し、主たる言及地名候補を特定
 5. 入力した言及地名と特定された地名を比較し、より重複する記事の画像を出力
- となる. 提案手法のポイントは, 画像が埋め込まれた文章に対しても提案手法を施し, より確実に主たる地名に関連する画像を特定する点にある. そして, 被験者による評価実験を行ったところ, 提案手法により抽出された画像が, 一般的画像検索サイトでの出力結果よりも高精度にて主題地名に関する画像を抽出できることを確認した.

§ 4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

●論文詳細情報

1. 木實新一, 石塚宏紀, 岩井将行, 宮崎純, 瀬崎薫, 戸辺義人, 「I-Tree: センシングデータの統合検索を支援する空間時系列索引機構」, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.4, No.1, pp.26-29, 2011.3.
2. Kota Irie, Masahito Takahashi, Kenji Terabayashi, Hidetoshi Ogishima and Kazunori Umeda, "Skin Color Registration using Recognition of Waving Hands," J. Robotics and Mechatronics, Vol.22, No.3, June 2010. 6.
3. A. Moro, K. Terabayashi, K. Umeda, E. Mumolo: "A Framework for the Detection and Interaction with Pedestrian and Objects in an Unknown Environment," Proc. of Seventh International Conference on Network Sensing Systems (INSS2010), pp.257-260, 2010.6. (DOI: 10.1109/INSS.2010.5572219)
4. 高橋真人, 入江耕太, 寺林賢司, 梅田和昇: “周期運動検出に基づくジェスチャ認識”, 日本ロボット学会誌, Vol.28, No.6, pp.756-765, 2010.7.
5. Alessandro Moro, Kenji Terabayashi, Kazunori Umeda: "Detection of Moving Objects with Removal of Cast Shadows and Periodic Changes Using Stereo Vision," Proc. 20th Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR2010), pp.328-331, 2010.8. (DOI: 10.1109/ICPR.2010.89)
6. Toru Ubukata, Kenji Terabayashi, Alessandro Moro, Kazunori Umeda: "Multi-Object Segmentation in a Projection Plane Using Subtraction Stereo," Proc. 20th Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR2010), pp.3296-3299, 2010.8. (DOI: 10.1109/ICPR.2010.806)

7. Masahito Takahashi, Kota Irie, Kenji Terabayashi, and Kazunori Umeda: "Gesture Recognition Based on the Detection of Periodic Motion," ISOT 2010 International Symposium on Optomechatronic Technologies, VTSC-2, 2010.10.
8. Alessandro Moro, Enzo Mumolo, Massimiliano Nolic, Kenji Terabayashi, and Kazunori Umeda: "Dynamic background modeling for moving objects detection using a mobile stereo camera," Proc. 8th France-Japan Congress & 6th Europe-Asia Congress on Mechatronics, pp.143-148, 2010.11.
9. Niwat Thepvilojanapong, Shin'ichi Konomi and Yoshito Tobe, "A Study of Cooperative Human Probes in Urban Sensing Environments," IEICE Transactions on Communications, Vol.E93-B No.11 pp.2868-2878, 2010. 11.
10. Tian Hao, Masayuki Iwai, Yoshito Tobe and Kaoru Sezaki, "ESMO: An Energy-Efficient Mobile Node Scheduling Scheme for Sound Sensing," IEICE Transactions on Communications, Special Issue: Fundamental Issues on Deployment of Ubiquitous Sensor Networks, Volume E93.B, Issue 11, pp. 2912-2924, 2010.11.
11. Kenji Terabayashi, Yuma Hoshikawa, Yuki Hashimoto, Kazunori Umeda: "Real-time human tracking in stereoscopic environments using subtraction Stereo," Proc. of 4th International Asia Symposium on Mechatronics (AISM2010), pp.97-104, 2010.12.
12. 石塚宏紀, 木實新一, 戸辺義人, 瀬崎薫, "携帯端末で撮影した写真の利用を前提とする動的ストリート画像フロー生成機構の設計", 電子情報通信学会 論文誌 Vol. J94-D No.1, pp.178-190, 2011 年 1 月 1 日.
13. 斉藤 裕樹, 中村 陽一, 戸辺 義人, GeoSkip: 位置情報サービスに向けたスキップ構造を用いるオーバレイネットワーク, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 2, pp.334-346, 2011.2.
14. 佐藤 進也, 福田 健介, 廣津登志夫, 栗原 聡, 菅原 俊治, "ブロガーの相互関係に潜在するアイテムの相互関係", 日本ソフトウェア科学会「コンピュータソフトウェア」, pp. 145-153, Vol. 28, No. 1, 2011. 2.
15. Niwat Thepvilojanapong, Shin'ichi Konomi and Yoshito Tobe, "Energy-Efficient Human Probes for High-Resolution Sensing in Urban Environments," 電気学会論文誌, 2011 年 5 月.(掲載決定)
16. 松本光弘, 岡野真一, 森田哲郎, 沼尾正行, 栗原 聡, "PC におけるユーザ操作を可視化するタスク想起支援手法の提案", 情報処理学会論文誌:数理モデル化と応用, 2011. (掲載決定).

(4-2) 知財出願

- ① 平成22年度特許出願内訳(国内 0 件)

② CREST 研究期間累積件数(国内 3件)