

平成 22 年 5 月 1 日現在

研究種目： 基盤研究(B)
 研究期間： 2007 ~ 2009
 課題番号： 19300016
 研究課題名(和文) 超小型分散センサノードに基づくユビキタス・スマート環境基盤
 研究課題名(英文) Ubiquitous Smart Environment based on Small Distributed Sensors

研究代表者
 河口 信夫 (NOBUO KAWAGUCHI)
 名古屋大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：10273286

研究成果の概要(和文)：

本研究はシンプルな超小型センサノードを開発し、振動センサなどを用いて、生活環境をセンシング・学習するとともに、簡易データ処理と各センサからの情報統合によりユーザや環境の状況認識の実現を目的とする。本研究の特徴は、各分散ノードがそれぞれ小規模ながら処理能力を持ち、コンテキスト情報を認識しその結果を通信デバイスを通じてイベント出力するスマートセンサにある。我々は小型 DSP マイコン上を利用してスマートセンサを開発し、実証実験により 80%以上の認識率を得た。また、1 台だけではなく、複数台での協調を可能にした。

研究成果の概要(英文)：

In this research, we propose a smart sensor which can easily and less costly utilize a sound event recognition. We also propose an Instant Learning method which automatically configures an appropriate set of parameters in a DP matching based recognition process for the target event by evaluating several combinations of parameters. Based on our proposal, we have designed and implemented an Instant Learning Sound Sensor using small DSP processor. By evaluation experiment, we confirmed the smart sensor can automatically choose a proper set of parameters for various sound event with almost over 80% accuracy. We also confirm the utilization of multiple sensors to recognize the up/down of stairs, or positions of knocking place on the desks or walls.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2008 年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2009 年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
年度			
総計	13,700,000	4,110,000	17,810,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：スマートセンサ，インスタントラーニング，センサネットワーク，コンテキストウェア，スマートルーム，状況認識，自動分散化，実環境認識

1. 研究開始当初の背景

多様な情報機器が設置されたユビキタス情報環境において、環境内に存在する人(ユーザ)を支援するためには、ユーザの状況を把

握することが最も重要である。しかし、これまでのユビキタス環境では、ユーザからの何らかの入力に頼るか、もしくは、赤外線や超音波センサで埋められた壁や天井などを用

いた大規模なセンサ装置を利用する手法、大規模な映像認識や3次元画像を用いる手法等しか提案されてきていない。

一方、近年の携帯電話や携帯音楽プレーヤなどに代表されるように、情報機器にはいろいろなセンサ（カメラやマイク、加速度センサ）が内蔵されつつある。このようなセンサが身の回りにあふれる社会では、個々のセンサが環境情報を処理し、個々のセンサからの情報を何らかの形で統合することにより、ユーザの周囲の環境情報やユーザの行動情報が取得できることが期待できる。

2. 研究の目的

本研究では、非常にシンプルで低価格で実現可能な超小型センサノードを開発し、マイクロホン、振動センサなどを用いて、生活環境をセンシングし、学習するとともに、簡易なデータ処理と各センサからの情報統合により、ユーザや環境の状況認識を行う手法を検討することを目的とする。具体的な研究手段としては、上記のセンシングデバイスを用いて、日常生活環境において、一定規模のデータ収集を行う。各センサ情報に対し、環境情報や人の動作のタグgingを行うことにより、センシングデータコーパスを構築し、個々のセンサ情報から獲得可能な情報を抽出する。また、複数のセンサから抽出された情報を統合し、より高度な状況認識を行う手法を検討する。この際、各センサノードで行われる処理は、我々が保持しているソフトウェアの自動分散化技術によって、通信を意識せずに構築することを可能にする。

本研究の特徴は、各分散ノードがそれぞれ処理能力を持ち、コンテキスト情報を認識した後に、通信を行う点である。これまでの多くのセンサネットワークでは、センサデータそのものをそのまま通信するものや、簡単なスレッシュホールドを設けてデータの削減を行うものが多い。これに対し、本研究では、センサそのものが、ある程度の規模のセンシングデータの処理・認識を行い、その結果を出力するスマートセンサである点に特徴がある。また、センサが持つ認識アルゴリズムについても、固定的なアルゴリズムをパラメータによって駆動する手法ではなく、センシング対象のデータやコンテキストに最も適したアルゴリズムの組み合わせを選択し、それを自動分散化技術によって導入することを目指している。また、コンテキストの認識については、認識対象のコンテキストを実際にセンシングさせ、そのデータを学習させることによって、非常に簡単にセンシングができる仕組みを導入する。これを本研究では「インスタント・スマートラーニング」と呼ぶ。インスタント・スマートラーニングによって、信号処理について知識の少ないユーザ

であっても、高度なコンテキスト認識を利用することができる。将来的には、このセンサの仕組みが多くのデバイスに内蔵されることが期待される。

3. 研究の方法

本研究では、超小型分散センサノードの開発を目指し、以下に示すように、年度毎に段階を追って研究を進めた。

初年度は、超小型分散センサノードを開発するための基礎研究を実施する。主に、実際の設計・試作を行うための基礎データの収集である。具体的には、以下の項目を実施する。

センシングデバイス（圧電センサ、マイクロホン、加速度センサ、光センサ等）の特性調査:センシングする対象によって、センシングデバイスがどのような特性を持つかの調査を行わずして、適切なデータ処理は不可能である。まずは各センサを用いて、多様な人間行動状況のデータを収集する。これらのセンサによって、どのように行動のコンテキストが取得できるか、の詳細な調査を行う。これは一種のセンサコーパスとして今後の研究で活用する。

データ処理の基本アルゴリズム部品の調査:センシングデバイスの特性調査と同時に、取得したデータの処理手法についての検討を進める。将来の超小型デバイスにおいて、コンパクトなコードでのデータ処理を行うために、アルゴリズムの部品化と、組み合わせ可能性の調査が必要となる。

ソフトウェアの自動分散化とデータ処理の統合検討:複数のセンシングデバイスを利用してコンテキスト情報を取得する際に、どのデバイスでどのように処理を行うことが効率的か、を判断する必要がある。例えば、データ通信のコストが低い場合は、複数のセンサの生データを一箇所で統合して判断するほうが、個別に判断するよりも計算コストやコンテキスト認識精度が向上することが期待できる。

センサネットワーク構造・通信手法の検討:センサノード間は、互いに通信することによって、単独では取得できないような大局的なデータ収集・コンテキスト認識を実現する。その際、データ通信を行うことが必要となる。センサの設置には一般に(A)計画的配置、と(B)ランダム配置、が存在する。(A)の場合は、通信手法やネットワークの構造も、自動分散化の際に同時に導入することが可能である。一方(B)の場合は、センサノード間でアドホックにネットワークを構築し、かつ構造化を行うことによる効率的なデータ収集を実現する必要がある。

次年度は、初年度に行った様々な検討に基づき、小型センサノードの試作を行う。前年度の課題がすべて何らかの解を得ていれば、当初の計画どおり進める。センシングデバイスの特性や、アルゴリズムの調査に問題が生じた場合、さらなる検討を進めることとし、以下の小型センサノードの試作は行わない。具体的な実施内容を以下に示す。

小型センサノードの試作：

DSP チップを搭載し、センシングデバイスを接続可能なセンサノードを試作する。既存のボードを利用するのではなく、本研究に特化したボードの試作を行う。

インスタント・スマートラーニングの実現：本研究では、簡単にセンサノードの認識対象を学習させる「インスタント・スマートラーニング」の実現が、非常に重要である。前年度に検討したアルゴリズム部品を用い、インスタント・スマートラーニングを実装する。

自動分散化コミュニケーションライブラリの実現：コンテキスト認識のためのソフトウェアを自動分散化するためには、各ノード間で通信を行うための通信ライブラリが必要となる。特に、自動分散を行う際には、プログラマが指示しなくともノード間での通信が自動生成される場合がある。また、各ノードは同期的に動作するわけではないため、通信データに対し、イベント駆動的な動作が必要となる。

ワイヤレスネットワークデバイスの検討：センサノード間での通信を実現するために、ワイヤレスネットワークの検討を行う。具体的には、次年度で試作する超小型センサノードに搭載するワイヤレスデバイスを考える。本研究では、超小型センサノードにおいては、可能な限り1チップ内に多くの機能を導入することを考えている。すなわち、ワイヤレスネットワークデバイスについても、ある程度の部分をチップ内に搭載することにより、デバイスの小型化と省エネルギー化に貢献することを期待している。

最終年度には、これまでの成果を生かし、超小型センサノードの試作と実現可能性の調査を行う。前年度に小型ノードの構築ができなかった場合は、小型ノードを構築せずに直接、超小型センサノードの構築を行う。また、自動分散化ツールを用い、コンテキスト認識の実証を行う。具体的には以下の研究を実施する。

コンテキスト認識システムの分散ノード

による実現：多様なコンテキストを小型分散センサノードを用いて認識する手法を実現する。具体的には、単一のソースコードから、複数のセンサにまたがるコードを出力する手法を実現する。さ

実環境における「インスタント・スマートラーニング」の評価：実環境において、本研究で構築した超小型分散センサノードと、「インスタント・スマートラーニング」が有効であるかを確認するための評価実験を行う。具体的には、被験者に認識すべきコンテキストを指定し、ユーザがそのコンテキストを認識するように、センサを配置し、学習が可能であるかを調べる。また、その結果として認識率を調査する。

評価するコンテキストとしては、「ドアの開閉」「椅子への着席」「カーテンの開閉」「計算機の利用」「机にモノを置く」といったものを対象とする。この評価によって「インスタント・スマートラーニング」が実際に社会で利用可能かを確認することが可能になる。

4. 研究成果

本研究の主な成果を示す。

(1) Instant Learning Sensor の提案

我々は、信号解析による詳細な実世界イベント認識を実現するための基本センサ部品として、次のような性質を満たすデバイス群があれば、信号処理プログラミングに慣れていないユーザでも、手軽に利用可能であると考えた。本稿では、コンセプトとして、時系列信号を伴う実世界イベントの認識処理を自動的に設定可能なスマートセンサ (Instant Learning Sensor) を提案する。

- ① Instant Learning：ユーザが検出したいイベントに対して、必要な信号処理（アルゴリズムやパラメータ）を自動的に選択可能
- ② Smart Component：部品デバイス単体でパターンマッチングを含めたイベント認識処理が可能で、他のデバイスやシステムと連携可能な部品であること
- ③ Simple Device：低コストで小型なプロセッサなどのデバイスにて構成されること

提案システムは、スマート環境 やスマートオブジェクトなどの Do-It-Yourself やラピッド・プロトタイピングなど、広範囲に応用できる。具体例としては、多様なセンサやアクチュエータを搭載するブロック・デバイスをつなげることにより、容易にスマート環境を構築できる eBlocks や Phidget, Gainer のようなシステムのイベント・トリガとして、提案するセンサが利用可能である。

(2) Instant Learning Sensor の音への実装
音は、豊富な情報を含むコンテキスト・メディアの一つである。生活音や環境音により、歩く、ドアを開け閉めする、掃除機をかける、テレビを見る、お茶を注ぐ、ティッシュペーパーを箱から引き出すといった、多くの実世界イベントを認識できる。それらのイベントのいくつかは機械的なスイッチやモーションセンサのようなデバイスによって、手軽に認識可能である。しかしながら我々は、それぞれのイベントに対して、低コストかつ単一の音認識センサ・モジュールにて柔軟に対応できることに利点があると考える。以下、音イベント認識への適用について、設計と実装を述べる。

○システム概要

Instant Learning Sound Sensor を次のように設計した。本システムを利用する上では、提案手法に基づき認識対象音を設定する段階と、実際にイベントを検出する通常動作の段階として、2つの利用形態が考えられる。本稿では、各利用形態を次の2つのモードとして定める。

- Event Learning Mode : 検出したい音イベント(Target Event Sound)を解析し、対象音を認識するのに適した認識処理を生成するモード
 - Event Detection Mode : 実際に環境に配置されたセンサが、音イベントの有無を監視するモード
- 実装プラットフォームとしては、マイコンのような安価なデバイスを想定している。しかしながら、Event Learning Mode は多くの認識処理の組み合わせを試行するため、計算量が大きくなる。そのため、我々は、次のように、各モードを実行するデバイスを2つに分け、Sensor Configurator を計算機上で動作させることにした。
- Sensor Configurator : Event Learning Mode を処理するソフトウェアを動作させるデバイス。出力結果である音イベントの認識プログラムとコンフィギュレーションを ILSS-node に送る役割も担う。
 - ILSS-node : Event Detection Mode を処理するデバイス。Sensor Configurator より生成された認識プログラムを実行する。音イベントが検出された場合、ネットワークなどを介して他のシステムに通知する。

また、音信号の取得のために、今回は圧電素子を振動センサとして利用する。圧電素子を選択した理由は、非常に低コストであることに加え、形状が小さく、家具や家電、室内設備、日用品など至る所に容易に貼付け可能なためである。また、一般的に、マイクを用いた環境センシングでは、周囲の会話音声な

ど、他の音の影響を考慮する必要がある。振動センサの場合、素子が接していないモノを伝う振動の影響を受けにくいいため、高度な雑音除去処理を省略可能であり、認識処理を軽量化できる利点がある。

(3) 小型 DSP での実装と、実現可能性確認
小型デバイスによる ILSS-node の実現可能性について述べる。ILSS の認識処理部分を、ワンチップマイコン向けに試作し、計算量を評価した。

今回、認識処理を動作させるマイコンとして、Microchip 社の dsPIC30F シリーズ(dsPIC30F6014A, RAM 8KB, ROM 144KB)16)を評価対象に選択した。コンパイラには Microchip C30 (16 ビット C コンパイラ)を利用し、FFT や窓関数の乗算には付属の演算ライブラリを用いた。また、移植に際してマイコンに適した演算処理のために、可能な限り固定小数点演算を用いること、シフト演算にて除算を置換可能な箇所の変数の値域を2の累乗になるように正規化、コードブック内のベクトル間距離を定数テーブル化するなどの改良を行った。

検証の結果、サンプリング周波数 12KHz において、シフト長を 30, 60, 120 とした場合に、制限時間内に実行可能なパラメータの組み合わせの例が存在することを示せた。20MIPS 動作(dsPIC30F シリーズでは 80MHz)では、それぞれ、2.5 msec, 5.0 msec, 10.0 msec 以内に周期処理の 1 サイクルが完了する。

今回、評価対象とした dsPIC30F6014A では、外部 ROM を利用することなく、要件を満たすことを確認できた。このことより、計算量の面から、ILSS-node は低コストかつ小型なセンサノードとして十分に実現可能であると言える。

最後に、自動的にパラメータが選択される認識処理をユーザが利用可能になることにより、節約できるユーザの作業量の目安として、実装に要した認識処理のコード量(C言語)を確認した。単純なコードの記述だけではなく、処理能力が低いワンチップマイコン向けの実装では、演算を高速に行うための最適化作業も必要である。提案手法によって、実装にかかる作業を軽減することができる。

(4) 複数 ILSS を用いた認識

実世界のイベントには、イベント間の発生する順番や同時性などの依存関係、空間的な位置のように、いくつかのイベント情報の集合によって構成されるメタな情報に重要な意味が含まれる場合もあると考えられる。本稿では、そのようなイベント情報をメタイベント情報と呼ぶ。具体的な同時性に関する依存関係の例として、洗面所におけるユーザ

の行動と意図を推測したい場合、蛇口をひねる音イベントの後に、歯を磨く音イベントがあるかないかでは、ユーザが次に欲しいと思うものはタオルか、水が注がれたコップであるか異なる。

① イベント間の依存情報

イベント間の発生タイミングの組み合わせに応じて、次の3種類のメタイベント情報が考えられる。これらは論理演算によって、関係を表現できる。

- ・同時性を持つイベント：複数のイベントが同時に発生した時に意味をなすイベント。対象となるイベントの検出の有無に対するAND条件。
- ・論理和を持つイベント イベント集合のうちどれかが発生した時に意味をなすイベント。イベントの有無に対するOR条件。
- ・排他性を持つイベント 特定のイベントが排他的に発生した時に意味をなすイベント。イベントの有無に対するXOR条件。

② 空間的な位置情報

位置は最も有用な実世界のイベント情報の一つである。音イベントに関する位置情報として、次を挙げる。

- ・発生位置：音の発生源の座標、発生源を含む領域情報。

③ 時間的な推移情報

イベントの発生順のように時系列を伴うメタイベント情報も考えられる。

- ・順序関係を持つイベント：複数のイベントおよび上述のメタイベントが、時系列に沿って特定の順番に発生した時に意味をなすイベント。
- ・移動経路：移動する音の発生源がたどる軌跡。例えば、床に設置した音センサによって観測した足音の進行方向など。

(4) 複数スマート・センサの協調によるメタイベント認識

我々が目指すものは、信号処理に詳しくないユーザでも、信号解析を用いた詳細な実世界イベント情報の取得を、手軽に実現可能にする基本センサ・モジュールを設計することである。以下ではメタイベント認識手法の一つとして、イベント発生源の位置推定について述べる。

① 位置推定

音イベント発生源の位置推定は、観測された音の振幅値の比率とセンサと発生源との距離の比率の関係のモデルを確率密度関数として用い、センサ2つの組ごとに、対象空間内の各位置において発生した確率を求める。確率密度関数は、同じ位置でも誤差が含まれることを考慮し、事前に実測によって分

散値も含めて構築したものを利用する。

② 評価

評価実験の結果より、センサから5cm離れた箇所では90%が誤差が4cm以内で推定できていることが分かった。二つのセンサの中間点付近では誤差10cm以内にて90%となり、中間点と各センサの間では、およそ誤差8cm以内にて90%となった。以上より、複数スマートセンサを用いた高度な情報取得（この場合はイベントの位置取得）が可能であることが確認できた。

(5) ソフトウェアの自動分散化

単一のプログラムで記述された集中制御型のソフトウェアを、自動的に分割し分散協調型のソフトウェアに変換する、自動分散化手法のアルゴリズムを確立した。

では、まず、入力されたソースプログラムの各ステートメント（命令）ごとに、それが実行される端末を決定する。そして、次に実行するステートメントが遠隔で実行すべきもの場合、メッセージ通信によりこれを実現する。このメッセージ通信に含まれる引数は、データフロー解析により決定される。

(6) まとめ

本研究では、信号解析を伴う高度な実世界イベントセンシングを手軽に利用可能にするための部品デバイスであるスマートセンサのコンセプトと、音イベントへの適用であるInstant Learning Sound Sensorを提案した。そのために、認識対象に適した処理を自動的に選択するというメタな仕組みを持つInstant Learning手法を考案した。

音イベントに適用した本手法では、DPマッチングをベースとした認識処理において、ユーザが与えた認識させたい音イベントに適した特徴量や窓長などの各パラメータを、性能評価を繰り返し試行することにより、自動的に選択する。また、得られる認識処理は、ワンチップマイコンのような低コストな小型デバイス上での動作を想定している。そのために、提案手法では、ユーザが与えたイベントさえ認識可能であれば良いという考えに基づき、認識処理を軽量化する。提案手法に基づき、プロトタイプを計算機上に実装し、自動的にパラメータが選択された処理の認識率を評価し、有用性を確認した。認識処理の計算量についても評価し、Instant Learningによって得られる処理が、小型デバイス上にて動作可能であることを確認した。

提案手法を用いることにより、信号処理に詳しくないユーザでも、信号処理プログラミングを行うことなく、手軽に自身のシステムへ音イベントセンシング機能を組み込むこ

とができる。また、複数スマートセンサ間の連携による高度な認識も実現した。

今後の課題として、ILSS-node の実ハードウェア化、認識対象イベントの Instant Learning を行うためのユーザインタフェースなどが挙げられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 根岸 佑也, 河口 信夫, 高度な実世界イベント認識を手軽に利用可能にする Instant Learning Sound Sensor の提案, 情報処理学会論文誌, Vol. 50, No. 4, pp. 1272-1286 (2009). (査読有)
- ② 根岸佑也, 河口信夫, ユビキタスコンピューティングにおけるコンテキストセンシングとデータ処理, 人工知能学会誌, Vol.23, No.5, pp.597-603(2008). (査読有)

[学会発表] (計 13 件)

- ① 北出 卓矢, 岩崎 陽平, 河口 信夫, 平野 靖, 梶田 将司, 間瀬 健二, “プライバシー保護を考慮した公共センサ応用,” 電子情報通信学会総合大会, 2010 年 3 月 18 日, 仙台 (東北大学)
- ② 岩田耕大, 河口信夫, 伊藤誠吾, 下岡和也, 但馬竜介, つくばチャレンジ 2009における自律移動ロボット“IVEE”の戦略, SI2009, 2B1-5, 2009年12月25日. 東京 (芝浦工業大学)
- ③ Takuya Kitade, Kosuke Niwa, Yuichi Koyama, Kazuhiro Naito, Yohei Iwasaki, Nobuo Kawaguchi, Yasushi Hirano, Shoji Kajita, Kenji Mase, “A location-based application with public anonymized sensor data for personal use,” SPC2009, 2009 年 10 月 29 日, 桐生 (桐生市民文化会館)
- ④ 根岸 佑也, 河口 信夫, 伊藤 誠悟, 但馬 竜介, 津坂 祐司, つくばチャレンジにおける自律移動ロボットの構成と制御, SI2008, pp. 383-384(2008). 2008 年 12 月 5 日, 岐阜 (長良川国際会議場)
- ⑤ Nobuo Kawaguchi, Nobuhiko Nishio, Yohei Iwasaki, Ismail Arai, Koichi Tanaka, Shigeo Fujiwara, “Secure and Dynamic Coordination of Heterogeneous Smart Spaces”, UbiWORK2008 (UbiComp2008 Workshops), 2008 年 9 月 21 日, ソウル (COEX)
- ⑥ 根岸佑也, 河口信夫, 複数スマート・センサの協調による実世界イベント認識, DICOMO 2008, pp. 1227-1234 2008 年 7 月 8 日, 札幌 (定山溪ビューホテル)

- ⑦ 春原 雅志, 河口 信夫, 多様な機器を赤外線で制御可能な Web サービスの構築 DICOMO2008, 2008 年 7 月 8 日, . 札幌 (定山溪ビューホテル)
- ⑧ 岩崎 陽平, 榎堀 優, 藤原 茂雄, 田中 宏一, 西尾 信彦, 河口 信夫, “REST に基づく異種スマート環境間のセキュアな連携基盤,” DICOMO2008, 2008 年 7 月 8 日, 札幌 (定山溪ビューホテル)
- ⑨ Yuya Negishi, Nobuo Kawaguchi, Real-world Event Recognition using Multiple Instant Learning Sensors, INSS2008, pp.230-230, 2008年6月19日、金沢 (金沢文化会館)
- ⑩ Yuya NEGISHI, Nobuo KAWAGUCHI, “Instant Learning Sound Sensor: Flexible Real-World Event Recognition System for Ubiquitous Computing”, UCS 2007, Vol.4836/2007, pp.72-85、2007年11月25日、東京(秋葉原ダイビル)
- ⑪ 春原雅志, 岩崎陽平, 河口信夫, Web ブラウザ上での容易な機器制御を可能にするエンドユーザ向けフレームワーク, WiNF2007, pp. 53-56 (2007). 2007 年 9 月 25 日, 名古屋 (名古屋大)
- ⑫ Yuya Negishi, Nobuo Kawaguchi, Instant Learning Sound Sensor: Flexible Real-world Sound Event Recognition System, UbiComp 2007 Adjunct Proceedings, Late Breaking Results (LBR), pp.244-247、2007年9月17日、Innsbruck (Austria)
- ⑬ 根岸佑也, 河口信夫, Instant Learning Sound Sensor: ユビキタス・コンピューティングのための柔軟なイベント音学習 センサ, DICOMO2007, No. 8, pp. 1700-1711, 2007 年 7 月 5 日. 鳥羽 (戸田屋)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河口 信夫 (NOBUO KAWAGUCHI)
名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 10273286

(2) 研究分担者

岩崎 陽平 (YOHEI IWASAKI)
名古屋大学・大学院工学研究科・研究員
研究者番号: 20447832