

「先進的統合センシング技術」

平成 19 年度採択研究代表者

山田 一郎

東京大学大学院工学系研究科・教授

生体・環境情報処理基盤の開発とメタボリック症候群対策への応用

1. 研究実施の概要

本研究課題では、日常生活における生体・環境情報を長期間に渡って常時モニタリングでき、個人が自らの生活習慣を振り返ることのできる生体・環境情報処理基盤(人間の日常生活を科学するプラットフォーム)を開発することを目標とする。プラットフォームを開発するためには、日常生活をモニタリングするセンシングシステムの開発とセンサ情報を加工・処理する基盤ソフトウェアの開発が必要である。センシングシステムに対しては、ウェアラブル環境下での多様なセンサ情報を低消費電力かつロバストに取得・流通するソフト・ハード両面からの基盤技術の開発が必要である。また、基盤ソフトウェアに対しては、多量のデータから埋もれがちな有意な変化の検出、量的だけでなく質的な診断の支援、注目する情報や対象に合わせた表現手法、医学的に有効なデータへの昇華などが求められる。

これらの要求を満たす要素技術として、

- (1-1) ウェアラブル生体・環境センサ
- (1-2) ゼロ待機電力ウェイクアップ無線インタフェース
- (1-3) マルチセンサネットワーク構成技術
- (2-1) 質的診断を可能にする生体・環境情報の分析技術
- (2-2) 様々な粒度で変化をとらえる生体・環境情報の表現手法
- (2-3) 生体・環境情報のメタデータベース構築

の研究開発を進める。これらの要素技術を統合して、生体・環境情報処理基盤(プラットフォーム)を構築し、アプリケーションプログラムを開発して、

- (3) メタボリック症候群の予防・治療に資するヘルスケアサービスの実証実験を行い、プラットフォームの有効性を検証する。

2. 研究実施内容

(1-1) ウェアラブル生体・環境センサ

ウェアラブル生体・環境センサの開発に当たっては、市販のウェアラブルセンサや既開発のセンサノードを利用することによって、効率的な開発を行う。胸部貼付型、腕時計型、シューズ型の3つのウェアラブル生体・環境センサが考えられるが、生体・環境情報の種類および実現容易性を考慮して、胸部貼付型、腕時計型を優先的に開発する。

H19年度は、市販のウェアラブルセンサや据置き型の医療計測機器を利用して、種々の日常生活行動に関する基本的なデータ（教師データ）を収集し、実用的なウェアラブル生体・環境センサとしての要求項目を明らかにすることが目標であった。メタボリック症候群対策として医学・健康保険の観点からすると、食事時間や咀嚼回数などの食習慣の分析が重要であるが、生活音や環境音に着目した行動・状態推定に関する予備実験の結果、咀嚼・発話のセンシングがマイクを用いて可能であることが明らかになった。今後は、医学的に意味のある食習慣を洗い出すとともに、これら食習慣を精度よく検出することをめざして、マイクの種類や装着位置などを含めた食習慣センサの開発を進める。

(1-2) ゼロ待機電力ウェイクアップ無線インタフェース

無線通信は、センサノード全体の電力消費の30%から50%を占めるため、センサの高寿命化には無線通信プロトコルの良し悪しが大きな影響を与える。本研究では、受信した電磁波エネルギーからでもマイクロコントローラを駆動することに着目し、待受け電力を必要とせずにデバイスをウェイクアップさせる機構を開発する。

H19年度は、受信待機電力の削減を実現するために、ゼロ受信待機電力無線システムについて、ウェイクアップモジュールとデータ通信モジュールの2つの無線モジュールを組み合わせた無線インタフェースを検討した。受信側のウェイクアップモジュールは送信側のウェイクアップモジュールから送られてきた電磁波エネルギーを利用して駆動するため、無電源で動作する。一方、データ通信モジュールは電源を持っているが、通常はスリープ状態にある。ウェイクアップモジュールがウェイクパケットを受け取るとデータ通信モジュールを起こし、送信側と受信側のデータ通信モジュール間で実際のサービスの通信が開始される。このような仕組みにより、無線通信システム全体の受信待機電力を限りなくゼロに近づけることができる。

次に、ウェイクアップモジュールの回路構成について検討を行った。ウェイクアップモジュールは、(1) 整流・昇圧回路、(2) 復調回路、(3) ウェイクアップ判定回路、(4) 送信回路から構成される。整流・昇圧回路は、送信機より送られた電波を直流に変換し、昇圧するための回路であり、この出力を用いて復調回路とウェイクアップ判定回路を駆動する。送信機より送られたウェイクアップパケットは、復調回路により復調され、そのデータはウェイクアップ判定回路へと入力される。ウェイクアップ判定回路は、ウェ

イクアップパケットに埋め込まれた条件（センサの種類や値などを想定）に応じてデータ通信モジュールを起動するかどうかを判定する回路である。

以上の検討をふまえ、ウェイクアップパケットに 950MHz 帯を用いた場合の実現可能性の検証を行った。ウェイクパケットの送信電力を 10mW とし、ウェイクアップ判定回路に 3V（電源電圧）、32kHz（クロック周波数）において 24 μ W で駆動可能な超低消費電力マイクロコントローラを用いた場合に、BAN における想定距離である約 1m 離れた距離からでもウェイクアップさせることができる見通しを得た。

(1-3) マルチセンサネットワーク構成技術

ネットワークで取り扱う情報が、短パケット・超多量トランザクション処理であることに着目し、信号処理系の機能を BAN、集約装置、ネットワークサーバ間でどのように分担すべきか検討を行う。系全体としてコストベネフィットのトレードオフ関係を明らかにし、最適な機能配置を決定する。

H19 年度は、数年後のトライアル実現をマイルストーンとして設定し、生体・環境情報処理基盤で実施するサービスの目標を絞り込み、機能配備案の作成と、必要な機能および技術の抽出を行った。生体・環境情報処理基盤の研究対象とする構成要素としては、(1) 各ユーザが持ち歩くユーザ端末(センサ間のハブ)、(2) それに接続する 10 個程度のセンサ(またはアクチュエータ)、(3) ネットワーク内に配備するセンサ情報管理サーバ、(4) 研究者が同サーバにアクセスする端末 の 4 つを想定し検討を開始した。

(2-1) 質的診断を可能にする生体・環境情報の分析技術

ウェアラブル生体・環境センサによって計測された信号から、特徴の抽出や動特性の解析を行うための相関分析、多変量解析に代表される統計解析、スペクトル推定を核とする周波数解析を行うことで、人間の高次情報を抽出し、量的ではなく質的な診断を可能とするソフトウェアモジュールを開発する。

H19 年度は、まず、医療グループからのアドバイスをを受けて、医学的に意味のある日常生活行動（運動、食事など）をピックアップするとともに、コントロールされた環境下で、市販のウェアラブルセンサや据置き型の医療計測機器によって基本データ（教師データ）を収集し、特徴量を抽出して、行動分類する技術の研究を開始した。次いで、24 時間の連続する生体・環境データから、行動の切り出しと分類（タグ付け）を行う技術を開発した。行動の切り出しに際しては、どのようにキーフレームを抽出するかの検討を行った。ウェアラブルな三軸加速度センサを用い、パターン認識と情報量の概念を利用することで、日常生活の行動を適切な細かさに分割し、その結果を用いて一連の行動種類を推定する手法を提案した。

(2-2) 様々な粒度で変化をとらえる生体・環境情報の表現手法

本項目は H21 年度より開始予定である。

(2-3) 生体・環境情報のメタデータベース構築

ウェアラブル生体・環境センサから得られる大容量・多項目のデータを用いて解析を行う場合、全体のデータから解析の対象を迅速かつ容易に検索することが必要となる。本研究では、生体・環境情報を統一した形式で表現し、それらに対するスケーラブルなアノテーション手法と、付加されたメタ情報に基づく検索を可能とするメタデータベース機構の検討を行う。加えて、蓄積したデータを様々なアプリケーションで相互に利用するための流通基盤についても検討する。

H19 年度は、メタデータベース機構に対する要求条件を整理すると共に、それらを満たすデータベースの選定と初期実装を行った。検討により導かれたデータベース機構に対する要求条件は、(1) 将来的なセンサの増加にスケーラブルに対応できる拡張性を有していること、(2) タグ付けしたメタ情報に基づく柔軟な検索が可能であること、という 2 点である。これらの要求条件を満たすものとして、本研究ではネイティブ XML データベースに着目した。ネイティブ XML データベースは、整形形式の XML データであればスキーマを定義することなく格納することができ、将来的にデータ構造が変化する場合にも容易に拡張することができる。加えて、XML データに対する問い合わせ言語 XQuery により、タグや属性情報に基づく柔軟な検索が可能である。

上記の 2 点に加えて、今後の生体・環境情報処理基盤としての運用を想定した場合、さらに (3) 将来的に新しいアプリケーションを容易に構築できる簡易なインタフェースを備えていること、という条件が要求されると考えられる。このために、本研究では REST アーキテクチャスタイルに基づくリソース定義方式を採用する。REST に基づくデータの CRUD に対応することにより、将来的に新たなアプリケーションを構築する場合でも容易に実装することが可能となる。以上の検討をふまえ、本年度はメタデータベース機構の初期実装として、オープンソースデータベースの eXist を使用し、タグに基づいて任意の範囲のデータを読み出すデータベース機構を実装した。

3. 研究実施体制

(1) 山田グループ

① 研究分担グループ長: 山田 一郎 (東京大学大学院、教授)

② 研究項目:

- ・ウェアラブル生体・環境センサの開発
- ・マルチセンサネットワーク構成技術の開発

- ・生体・環境情報の分析技術
- ・生体・環境情報の表現手法

(2) 森川グループ

- ① 研究分担グループ長: 森川博之 (東京大学、教授)
- ② 研究項目
 - ・ゼロ待機電力無線インタフェースの開発
 - ・生体・環境情報のメタデータベース構築

4. 研究成果の発表等

(1) 論文発表(原著論文)

1. T. Nakai, S. Kono, N. Hiruma, M. Shuzo, J.-J. Delaunay, I. Yamada,
“Recognition of Bread Key Odorants by Using Polymer Coated QCMs,”
IEEJ Trans. SM, Vol. 128, No. 3, pp. 97-101, 2008.