

## 看護業務支援のための センサネットワーク・アーキテクチャ

大村 廉<sup>†1,†2</sup> 納谷 太<sup>†1</sup>  
野間 春生<sup>†1</sup> 小暮 潔<sup>†3</sup>

本稿では、実病院において看護業務を支援するために構築したセンサネットワークのアーキテクチャについて述べる。本センサネットワークは、複数の看護師の看護業務を自動で記録すること、記録された業務の流れの詳細な分析を可能とすること、看護業務中であっても看護師間でお互いのコンテキストを共有可能であること、を目的として設計された。物理的には複数の無線媒体を用いてヘテロジニアスな無線センサネットワークを構成する。また、各コンポーネントは4つのレイヤに分散配置される。本稿では、各レイヤでのコンポーネント配置と共にその動作について述べる。また、本センサネットワーク上で稼働する実アプリケーション例を紹介する。そして、看護師のコンテキスト取得に対する基本性能の評価結果について述べる。

### Architectural Overview of a Sensor Network for Supporting Nursing Activities

REN OHMURA,<sup>†1,†2</sup> FUTOSHI NAYA,<sup>†1</sup> HARUO NOMA<sup>†1</sup>  
and KIYOSHI KOGURE<sup>†3</sup>

We developed a wireless sensor network system for supporting context-awareness of nursing activities in hospitals. Our system is aimed at automated recording of nursing work, visualizing analytical results from nursing histories, and providing context-aware services to nurses during working time. The system constructs heterogeneous wireless sensor network utilizing three kinds of wireless networks. We illustrate the components constructing the entire system with its layered structure. We also show practical examples of applications and empirical results evaluating the performance of retrieving detailed nursing contexts.

### 1. はじめに

様々な業務において、業務効率改善やミスの防止に対する試みがなされている。特に、医療現場ではミスが重篤な結果を招くことから、医療事故や医療過誤の防止が強く求められている。一方で、患者への直接的なケアを行うのは看護師である場合が多いため、医療事故には看護師が関与する機会が多いということが厚生労働省から報告されている<sup>1)</sup>。このため、看護業務におけるミスの防止や業務効率の改善が特に切望されている。

ミスの防止のため、看護の現場の多くではアクシデントレポートやインシデントレポート<sup>\*1</sup>を作成するなどの対応がとられている。しかし、これらのレポートは事後における看護師の想起による記述であり、十分かつ正確な状況記述が困難であるといった問題がある。また、看護業務はチームで行われるが、情報の伝達や物品の受け渡しの不備など、互いの行動(コンテキスト)の把握が困難であることから生じる効率低下があり、さらにはこのことがミスにつながるケースも存在する。これらの問題に対し、ユビキタス技術を用いて自動で看護行為を認識し、記録することで、より正確かつ詳細な業務分析が可能となると考えられる。また、業務中、看護師間でお互いのコンテキストを共有することで、より効率的かつ安全な業務の遂行を支援することが可能になると考えられる。

そこで、我々の「E-Nightingale プロジェクト」では、1) 看護師の看護業務の自動記録、2) 業務の流れ(ワークフロー)改善のための業務履歴の詳細な分析、3) ナース間でお互いのコンテキストの共有、を目的として、センサなどのハードウェアコンポーネント、ならびに行動認識ソフトウェアや情報提供ソフトウェアなどを配置したネットワークを作成している。本稿では、このセンサネットワークの全体像について述べる。通信媒体はその特性に応じて多種の無線を使用し、ヘテロジニアスな無線センサネットワークを構成する。また、各コンポーネントは、無線センサネットワークレイヤ、ミドルウェアレイヤ、コンテキスト管理レイヤ、アプリケーションレイヤの4つのレイヤに分け、レイヤ構造をもってシステム全

†1 (株) 国際電気通信基礎技術研究所  
ATR

†2 慶應義塾大学  
Keio University

†3 金沢工業大学  
Kanazawa Institute of Technology

\*1 アクシデントレポートは医療事故の報告書をさし、インシデントレポートは医療事故には至らなかったものの、医療事故に発展する可能性のある事例(「ヒヤリ・ハット」などと呼ばれる)の報告書である。

体を構築している。以下、システムの全体像について述べた後、それぞれのレイヤの詳細について述べる。また、本センサネットワークの基本性能の評価を示す。

## 2. 関連研究

看護業務には、患者とのやり取り、患者の周辺環境整備、薬剤の管理、記録、同僚への引き継ぎなど、様々なものがある<sup>2)</sup>。これらの業務は同時並行的に行われる場合が多く、ロケーション・ウェア・サービスや、アクティビティ・ウェア・サービスによってこれを支援するための試みがいくつかなされている。HansenらはAwarephoneを提案し、Bluetoothを用いた位置のトラッキングを行い、他のスタッフの位置や状況、手術の状況などをAwarephone上のインスタントメッセージサービスを用いて共有することを可能にしている<sup>4)</sup>。また、Osmaniらはユーザとオブジェクト間、もしくはオブジェクトとオブジェクト間のインタラクションに対する行動認識方法を提案している<sup>6)</sup>。この他、診察や患者ケアなどの5種類の行動を隠れマルコフモデルを用いて認識しようとする試みも存在する<sup>7)</sup>。しかし、これらのアプローチはデバイスの利用やサーバへのアクセスといった、明示的な情報を利用したものであった。一方、我々のアプローチは文献3)や文献8)に述べられるように、細粒度の看護師の行動を非明示的に取得して記録することを目的としており、特に看護師の業務を直接的かつ業務の妨げとならないように取得することに留意している。さらに、本研究ではオフラインのみならず、リアルタイムに看護行為を認識してその結果を提示し、看護師間のコンテキスト共有を可能とすることを目的としている。

次章から、看護業務における詳細なコンテキスト取得における、センサネットワークへの要求事項、並びにセンサネットワークの構成について述べる。

## 3. E-Nightingale System

我々のE-Nightingaleプロジェクトでは、各々の看護行為を“点”として取得するだけでなく、一連の関連する行動の流れを“ワークフロー”として取得する。日常的なモニタリングによりワークフローモデルを構築して、看護師が現在行っているワークフローの検証を可能にすることによって、医療過誤につながるような例外的な業務の流れを発見し、看護師に対して医療過誤を防ぐための有益な情報の提示(注意喚起)を行うシステムを実現可能となる。

また、例えばある患者の一つの点滴には準備から実施まで複数の看護師が携わることが多い。このような複数の看護師間で生じるインタラクションと個々のワークフローとの関連を

理解する手法を確立することで、様々な角度からの分析を可能とし、熟練看護師による業務遂行の方法の伝達や、全体的な業務効率の改善を支援するシステムを実現することができる。

そこで、本プロジェクトでは、個々の看護師のコンテキストを取得すると同時に、看護師同士のインタラクションを含めたチームの動きの動きを取得する。このため、1) ボディ・エリア・ネットワークによる個々の行動とインタラクションの取得、ならびに、2) 環境設置センサネットワークによる看護師の位置、を用いてコンテキストを取得する。

### 3.1 システム全体像

まず、ボディ・エリア・センサネットワークを設計するにあたり、特に看護師に装着されるセンサデバイスについては、業務を阻害しないことが要求される。このため、装着が容易であること、軽量であること、無線であること、さらに、深夜勤務の看護師の活動もサポートするために10時間以上稼働することが望まれる。また、看護師および特に患者のプライバシーの保護のため、カメラの使用は制限される必要がある。このため、我々のプロジェクトでは、看護師の体の動きを取得するための無線加速度センサ、看護師同士もしくは看護師と物とのインタラクションを取得するための近接センサ、並びに音声を取得するためのマイクを使用することとした。

環境設置センサネットワークについては、主に位置情報を取得することを目的とした。その中で、電源環境が制限されていたとしてもセンサノードは容易に敷設可能であること、同時に10人程度の看護師が同時に業務を行う状況においてセンサデータの送受信に十分なバンド幅を持つことなどが必要な要件となる。

図1に、我々が構築したシステムの全体像を示す。無線センサネットワークレイヤ、センサネットワークミドルウェアレイヤ、コンテキスト管理レイヤ、アプリケーションレイヤの4層からなる。次章より、各レイヤの詳細について述べる。

### 3.2 ワイヤレス・センサネットワーク層

図1中のワイヤレスセンサネットワーク層は、ボディエリアネットワークおよび環境設置センサネットワークからなる。それぞれボディエリア・センサネットワークにはBluetoothとWiFi、環境設置センサネットワークにはZigBeeを用い、ヘテロジニアスな無線センサネットワークを構成する。看護業務におけるコンテキスト取得のため、誰が(who)、when(いつ)、where(どこで)、何を(what)、How(どうやって)に着目した「いつ(when)イベントが生じたか」を正確に取得するため、全てのセンサは個々にタイムを持ち、時刻同期プロトコルによってサーバと同期が可能なようにした。各センサデータは各センサ上でタイムスタンプが押され、無線による遅延の影響を極力排除した。

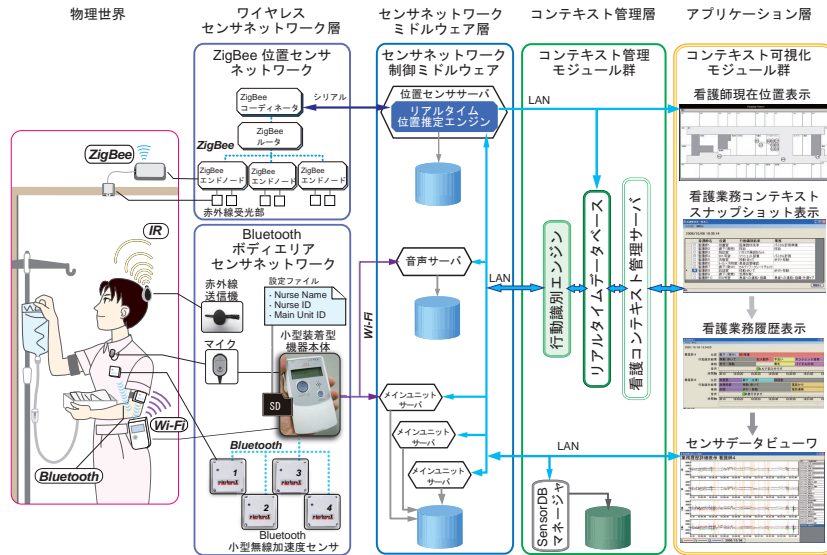


図 1 E-ナイチンゲールシステム全体像  
Fig. 1 E-Nightingale System Overview

### 3.2.1 ボディエリア・センサネットワーク

#### Bluetooth 無線加速度センサ

Bluetooth 無線加速度センサ<sup>5)</sup> (図 2 下左側) は、看護師の体の動きをとらえるため、200Hz、±3G の計測が可能な加速度センサを搭載している。看護業務において、本来の業務を阻害しないよう、38mm×39mm×10mm、17g と小型化軽量化され、また、コマンドの受付および計測データを無線を用いて送受信するようにした。無線媒体には他の医療機器に影響を与えないこと、並びに、要求されるバンド幅から、Bluetooth を選択した。

図 2 に示すように、現在、看護師には両腕、腰、胸ポケットにこの加速度センサを装着してもらっている。これらの場所は業務を阻害せずに、腕の動き、体の傾斜、歩行などの移動を捕えることができるよう決定した。

#### Bluetooth 近接センサ

Bluetooth 近接センサは<sup>13)–15)</sup>、使用している物や対話相手などを中心とし、周囲の人や物とのインタラクションを検出することを目的として開発したセンサである。ウェアラブル・

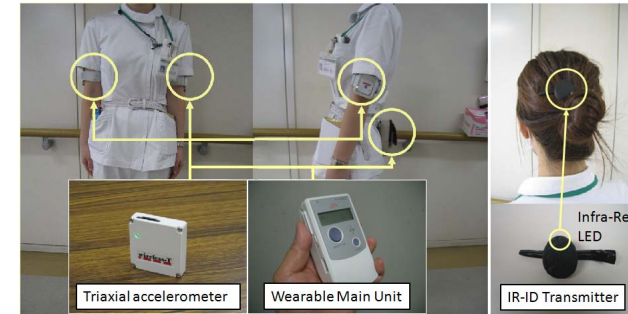


図 2 看護師のウェアラブル・メイン・ユニットとウェアラブルセンサ装着の様子  
(加速度センサ：両腕・腰・胸ポケット、IR-ID 送信機：頭髪)

Fig. 2 Nurse wearing wearable main unit and wearable-sensors, four accelerometers on chest pocket, both upper arms, and waist, and an IR-ID transmitter in the hair

メイン・ユニット内に存在し、Bluetooth のデバイス発見機構とそのシグナル強度 (RSSI) によって、周囲に存在する人やオブジェクトの ID とおおよかな距離を検出する。単体で検出側、非検出側いずれとしても同時に稼働することが可能であり、特に複数看護師での共同作業など看護師同士のインタラクションを検出するのに有益な情報を提供することができる。ウェアラブル・メイン・ユニット

ウェアラブル・メイン・ユニット (Wearable Main Unit; WMU)<sup>12)</sup> (図 2 下右側) はボディエリア・センサネットワークのハブとして機能する。Bluetooth ユニットの 2 つを持ち、前述のように、1 つの Bluetooth ユニットの Bluetooth 無線加速度センサのデータ取得するのに用いられる。また、もう 1 つの Bluetooth ユニットの Bluetooth 近接センサとして機能する。さらに音声用の端子を持ち、PCM(16KHz, 16bit) での看護師の発話や周囲音の録音が可能である。

これら看護師個人から取得したセンサデータを収集し、センサ・ネットワーク・ミドルウェア層に送信するにあたって、広帯域かつ基地局間のハンド・オーバーが比較的容易な WiFi を利用する。なお、CPU にはルネサステクノロジー社 SH73182(SH-Mobile3) を用い、深夜勤務の看護師の業務時間をカバー可能なように、3640mAh の Li-ion バッテリーを用いて 11 時間の稼働が可能である。

### 3.2.2 環境設置センサネットワーク

環境設置センサでは、主に看護師の位置を取得することを目的とし、赤外線 ID(IR-ID)

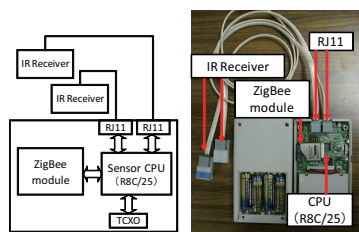


図3 環境設置センサ (IR-ID センサ)  
Fig. 3 Environmental Sensor (IR-ID Sensor)

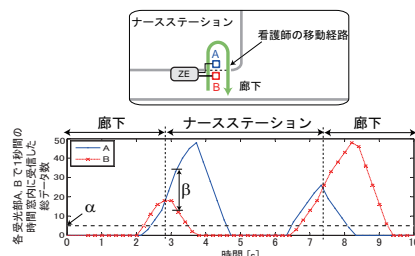


図4 IR-ID センサでの位置推定  
Fig. 4 Location Estimation on IR-ID Sensors

センサ<sup>9),16)</sup>を開発した。IR-ID センサは、病院の機能および行われる業務の内容が「部屋」単位で区切られることに着目し、部屋間の移動を確実にとらえることを目的として開発した。

IR-ID センサは受信機と送信機の2つにわかれる。送信機(図2右)は各々固有のIDを赤外光の明滅パターンによって発信する。看護師はこの発信機を髪留めのように頭に装着する。受信機は2つの赤外線受光部と本体からなり、2つの赤外線受光部(AとB)は部屋と部屋を仕切るドアを挟んでそれぞれの天井に設置する(たとえば、A側をナースステーション、B側を廊下、など)。詳しくは次章で述べるが、看護師がこの受光部の下を通過した場合、AとBでIDの受信頻度が異なり、この差によって、看護師の部屋間の移動を検出する。

受信機の設置場所において電源の確保が困難である場合があること、並びにデータの送受信が間欠的となること、並びに病棟全域など設置範囲が比較的広い範囲にわたることから、無線媒体としてはZigBeeを選択し、受信機も電池駆動が可能であるものとした。

### 3.3 センサネットワーク・ミドルウェア層

センサネットワーク・ミドルウェア層(図1)は、1)IRセンサ・サーバ(IRSS)、2)音声サーバ、3)メイン・ユニット・サーバ、といったセンサデータを扱うサーバコンポーネント群からなる。これらのサーバは複数のPC上で分散して動作することが可能である。

#### IRセンサ・サーバ(IRSS)

IRセンサ・サーバ(IR Sensor Server; IRSS)はIR-IDセンサのデータを集める。IRSSはリアルタイム位置推定エンジン(Real Time Location Estimation Engine; RTLE)を内部にもつ。RTLEでは、IR-IDデータのシーケンスから対応する看護師の位置の推定を行う。リアルタイム位置推定エンジンと位置推定アルゴリズム

起動時、IRSSはセンサ定義ファイルを読み込み、センサ設定ファイル、フロア地図、看

護師とIDの対応付けを記したファイルなど、各設定ファイルを読み込む。センサ設定ファイルは、IR-IDセンサのノードID、フロア地図上のセンサノードの位置、両受光モジュールに対応する位置を定義する。

位置推定アルゴリズムは以下のように動作する。まず、対象とする看護師のIDについて、各受光モジュール(AおよびB)について、一定時間内(現在の実装では1秒)に受信した数をカウントし、受信頻度を求める。例えば、ある看護師が看護師からナースステーションにいったん入った後、また同じ場所から退出したとする(図4上)。受光モジュールAおよびBがそれぞれナースステーション、廊下に設置されていたとすれば、それぞれの受光モジュールにおける受信頻度は図4下に示すようになる。

このとき2つのスレッシュホールド $\alpha$ および $\beta$ を設ける。 $\alpha$ は位置の推定を開始する最小値を表し、 $\beta$ は受光モジュール間でどちら側の位置に看護師が存在するかを決定するための最小差である。一方の受光モジュール(例ではA、ナースステーション側)でのIR-IDの受信頻度が $\alpha$ 以上であり、かつもう一方の受信頻度(例ではB、廊下側)より $\beta$ 以上であれば、看護師は前者の受光モジュール側(ナースステーション側)に存在すると判断される。IRSSでは、ZCから受信したセンサデータ、ならびにRTLEで推定された位置情報をローカルファイルに保存する。

#### 音声サーバ

音声サーバ(Voice Server; VS)は看護師がWMUの録音ボタンを押した時に録音されるPCMデータを受信する。VSはデータを音声認識サーバへ転送する<sup>\*1</sup>。音声認識は認識結果のテキストを返し、認識結果テキストは看護師名、音声データ、タイムスタンプとともにファイルに保存される。音声データと認識結果テキストは要求に応じてアプリケーションに提供される。

#### メイン・ユニット・サーバ

メイン・ユニット・サーバ(Main Unit Server; MUS)はWMUから送られてくる、Bluetooth加速度センサのデータならびにBluetooth近接センサのデータを管理する。システム初期化時、1つのMUSがデーモンプロセスとして起動する。WiFiを通してWMUがこのデーモンにTCP/IP接続した際に、個々の看護師(WMU)に対応するMUSが起動される。作成されたMUSは管轄する加速度センサ、Bluetooth近接センサのデータを取得すると同時に、一定時間間隔でこれらのセンサデータを個々のファイルに永続化する。

\*1 ページ制限のため図中には示していない

### 3.4 コンテキスト管理層

コンテキスト管理層は、看護師のコンテキストを認識および管理するシステムの中核となるレイヤである。コンテキスト管理層は、行動認識エンジン、リアルタイムデータベース、看護業務コンテキスト管理サーバ、センサデータベースマネージャからなる。

#### 3.4.1 行動認識エンジン

行動認識エンジン (Activity Recognition Engine; ARE) によって各看護師の行動の認識を行う。本プロジェクトでは、看護師毎の詳細な行動の認識を基に、細粒度でのコンテキストウェア・サービスの提供を目的とする。各認識対象となる行動 (看護業務) は、実際の病院での看護師の作業を観察して決定した。結果、「血圧測定」「注射器を用いた薬剤のミキシング」「患者の腕への注射針の挿入」など、看護業務において重要と思われる 90 種類の行動を取得した。(本稿では取得した看護業務リストの掲載は割愛する。)

#### 特徴量の計算

取得した看護行為の各々のアノテーションデータに対して、加速度データはスライディングウィンドウ<sup>1)</sup>によって部分系列に分割される。100Hz で取得した加速度データに対し、ウィンドウサイズは 128 サンプル (1.28 秒)、ずらし幅は 50% (64 サンプル, 0.64 秒) とした。

特徴量としては、各軸の加速度データの平均、標準偏差、エネルギー、周波数領域エントロピー、ならびに、LPC ケプストラム係数を求めた。また、2 つの軸間 (異なるセンサを含む) の相関係数を求め、結果、ウィンドウ毎に 474 次元の特徴量ベクトルとした。

#### 位置に基づく行動モデルの学習

モデルを作成は前述の特徴量を用いて、教師あり学習法により行う。このとき、看護業務は各々位置への依存性が高いため、RTLE によって推定された位置を用いて、高速化とメモリスペースの削減を図った。

行動の推定には図 5 に示すグラフィカルモデルを用いる。四角のノードは離散値をとるノードを表し、円のノードは連続値を取るノードを表す。図中灰色のノード (Activity) は隠れ変数であり、その他のノードは観測変数である。このモデルはダイナミック・ベイジアン・ネットワークによる階層型 HMM の表現とみなすことができる。

モデルの学習のため、ナースステーション、与薬準備室、病室、トイレ、廊下など、位置をいくつかのグループに分類する。そして、各位置毎に前述のように計算された特徴量ベクトル  $X_t$  について、3 次の多項式カーネルを用いた 1 対 1 方式多クラス SVM の学習を行う。また、各行動についての遷移確率 ( $p(Q_t|Q_{t-1})$ ) 行列も同様にトレーニングデータから学習を行う。学習はオフラインによって行われ作成された識別器や遷移確率はリアルタイム

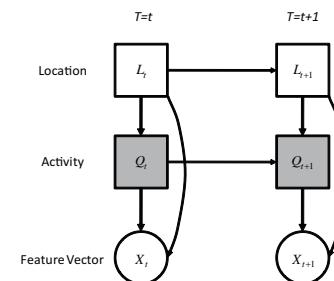


図 5 行動認識のためのグラフィカルモデル  
Fig. 5 Graphical Model for Activity Recognition

行動識別エンジンに格納される。

#### リアルタイム行動識別

行動認識エンジンは MUS と同様に、ナース毎に作成される。識別に際して、ARE は MUS から加速度データウィンドウ毎に区切られた加速度データ、および RTLE から推定された位置を受け取る。ARE は前述の特徴量を計算し、位置情報と統合して識別結果を生成する。識別結果となる行動の候補は、SVM によって尤度とともに出力される。さらに、尤度と前行動識別結果から今回の推定行動への遷移確率を掛け、ベイズ推定によって生成確率の低い行動フィルタする。 $Q_{t-1}^*$  を時刻  $t-1$  における推定結果とすると、時刻  $t$  における推定は  $Q_t^* = \operatorname{argmax} p(Q_t|Q_{t-1}^*) \cdot p(Q_t|X_t)$  として得る。 $p(Q_t|Q_{t-1}^*) \cdot p(Q_t|X_t)$  があらかじめ決められたスレッシュホルド値よりも下回った場合、推定された結果は棄却され、識別結果としては NULL を出力する。棄却されなかった場合は、推定結果は SQL リクエストによって、次章で述べるリアルタイムデータベースに登録される。

#### 3.4.2 リアルタイムデータベースシステム

リアルタイムデータベースシステムは全看護師の名前、位置、行動、現在の勤務の有無などを管理する。コンテキスト情報生成モジュール (IRSS, MUS および ARE) とアプリケーションとの間に位置しており、データベース・トリガー<sup>10)</sup>によって利用モジュールの必要に応じて変更が生じたフィールドの情報をイベントとして通知する。

#### 3.4.3 看護業務コンテキスト管理サーバ

看護業務コンテキスト管理サーバは各アプリケーションのフロントエンドとして動作する。リアルタイム・データベースや各サーバからデータを取得し、コンテキスト情報をまとめてアプリケーションに返す。

### 3.4.4 センサデータベース・マネージャ

センサデータベース・マネージャは RTLE や ARE で推定された位置や看護行為の識別結果とともに、モデルウェア層の各サーバから得られるセンサデータを保存する。センサデータはアノテーションや後述する詳細な可視化・分析のために用いられる。

### 3.5 アプリケーション層

アプリケーション層では、コンテキストの処理、並びに可視化を行うアプリケーションが稼働する。以下、「コンテキスト・スナップショット・ビューア」(図 6A.)、「履歴・ビューア」(図 6B.)、「センサデータ・ビューア」(図 6C.)、および「ロケーション・ビューア」(図 6E.) の 4 つのアプリケーションについて紹介する。これらのアプリケーションは、オフラインでの再生機能とともに前述のコンテキスト管理レイヤで認識された結果をオンラインで表示する機能を有する。以下、各々について言及する。

#### コンテキスト・スナップショット・ビューア

コンテキスト・スナップショット・ビューア(図 6A.)では、勤務中のすべての看護師について各々の現在の位置、看護行為、業務カテゴリを一度に表示する。そして、後に述べるロケーション・ビューアと併せて、一度に誰が、どこで、何をしているかの詳細を一度に把握可能としている。

#### 履歴・ビューア

履歴・ビューア(図 6B.)では、位置、看護行為、業務内容(看護行為の大分類)をそれぞれカラーバーを用いて表示する。カラーバーは時間の流れとともに、右から左へスクロールする。さらに画面下部にスライダーを持ち、並びに数十秒から数分前に遡って各内容の流れを表示することを可能にしている。このようにすることで、時間方向の一覧性を確保するとともに、直近の過去の状況を参照可能とし、現在の状況に至る経緯を容易に確認できるようにしている。

また、履歴・ビューアでは音声認識によって認識されたテキストが表示され、バー上のアイコンをクリックすることで音声自体の再生が可能である。

センサデータ・ビューアセンサデータ・ビューア(図 6C.)は、履歴・ビューア上の看護師名をクリックすることで起動する。センサデータ・ビューアでは、加速度データの詳細と認識された看護師の位置、並びに、看護行為、業務内容を同期して表示する。また、履歴・ビューアと同様に時間の流れとともに右から左へスクロールする。これにより、認識結果の根拠となるセンサデータを確認することを可能にしている。また、センサネットワーク自体の管理のため、各センサの状態を確認することを可能としている。



図 6 可視化アプリケーションのスナップショット: (A) コンテキスト・スナップショット・ビューア, (B) 履歴・ビューア, (C) センサデータ・ビューア, (D) 動画 (オプション), (E) ロケーション・ビューア  
Fig. 6 Snapshot of visualizing applications: A.Context Snapshot Viewer, B.History Viewer, C.Sensor Data Viewer, D.Movie (optional for playback), E.Location Viewer

ロケーション・ビューアロケーション・ビューア(図 6C.)は、各看護師の現在位置を表示する。次章で述べるように、看護師の配置を一目で把握することを容易にする。

## 4. 性能評価

本稿で述べた無線センサネットワークについて、ネットワークのレイテンシ、コンテキスト認識の正確性、アプリケーションの有用性の観点から評価を行った。前者 2 つについては、1 から 10 台のウェアラブル・メイン・ユニットが同時に稼働する無線センサネット

ワークを研究室内に設置し(図 6E.)、評価を行った「手洗い」「手の消毒」「手袋装着」「点滴作成」「患者病室へのワゴン搬送」「点滴の実施」「患者周囲環境の整備」といった典型的な看護業務のシナリオを用意し、10年以上の経験を持つ看護師を被験者として、このシナリオを3回繰り返してもらった。このシナリオを構成する28種類の行動を表1に示す。

レイテンシについては、行動識別におけるスライディングウィンドウの開始時刻と、AREによって識別結果が出力されるまでのターン・アラウンド時間の計測を行った。評価には識別対象行動が最も多く含まれる与薬準備室での行動(表1)を対象とした。ウェアラブル・メイン・ユニットの数を1から10まで変化させ、1個のウェアラブル・メイン・ユニットのみを動作させた時は $1.810 \pm 155\text{ms}$ 、10個のウェアラブル・メイン・ユニットを同時に動作させた時は $1.896 \pm 96\text{ms}$ とほぼ一定の値を得た。

また、正答率は各試行を対象として交差検定法で評価し、対象とする全28個の行動については平均88.2%を得た。特に、重要な看護行為である「薬剤混注」「血圧計ポンプ操作」「患者の腕への針刺し」では95%以上の正答率を得た。これらの比較的良好な結果は、看護業務の自動記録や、今後のリアルタイムでの異常検知、ジャスト・イン・タイムでの情報提示の実現を目指すにあたり有望な結果だと考える。

最後に、有用性の評価はロケーション・ピュアを実際の病院のナースステーション内に設置して行った。実験では、2週間にわたり23人の看護師についてその位置の表示を行い、アンケート調査を行った。21人の看護師からシステムに対する好意的な評価が得られ、特に夜間勤務時において声や音を出せない状況で、同時に働くスタッフを探すのに有効であった、という意見が見られた。また、お互いの位置を把握しながら仕事をこなすことで、より効率的な仕事の遂行を模索するようになった、という意見も得られた。これらの結果から、我々のセンサネットワークは実際の病院において、実用的なコンテキスト・ウェア・サービスを提供する基盤となり、業務の改善やミスの防止に有効なシステムの実現の足がかりになるものであることが示されたと考える。

## 5. おわりに

本稿では、1) 病院での看護師のコンテキストの記録、2) 複数人の看護師のワークフローの分析データの取得、3) オンラインでの看護師間のコンテキスト共有、を目的とした、無線センサネットワークの設計と実装について述べた。それぞれの無線媒体の特性に応じて、ヘテロジニアスな無線センサネットワークを構築した。また、ボディ・エリア・ネットワークと環境設置センサネットワークに分類してセンサを配置した無線センサネットワーク層、

表1 実験シナリオにおける看護行為とその位置依存性  
 Table 1 Nusing activities in the evaluation scenario and these location dependency

No.	行動ラベル	場所			
		ナースステーション	与薬準備室	病室	廊下
1	立っている	✓	✓	✓	✓
2	座っている	✓	✓	✓	✓
3	歩いている	✓	✓	✓	✓
4	走っている	✓	✓	✓	✓
5	手洗い	✓			
6	手拭き	✓			
7	ゴミ捨て	✓	✓	✓	
8	患者へのマンシット装着			✓	
9	マンシット外し			✓	
10	血圧計ポンプ操作			✓	
11	ワゴン搬送	✓	✓	✓	✓
12	PC キーボード操作	✓			
13	PC マウス操作	✓			
14	記録(記入)動作	✓	✓	✓	✓
15	引出の開け閉め		✓		
16	カテーテルへの薬液挿入		✓	✓	
17	フックへの点滴吊るし(外し)		✓	✓	
18	手の消毒		✓	✓	
19	手袋装着		✓	✓	
20	シリンジと針の装着		✓		
21	薬剤展開		✓		
22	薬剤混注		✓		
23	患者への駆血帯の装着			✓	
24	患者の腕消毒			✓	
25	患者の腕への針刺し			✓	
26	点滴薬剤確認		✓		
27	カテーテル展開		✓	✓	
28	薬剤ボトルへのカテーテル接続	✓	✓		
行動数		11	18	18	6

センサデータの管理を行うセンサネットワーク管理ミドルウェア層, コンテキストの取得と提供を行うコンテキストのコンテキスト管理層, 看護師に対してコンテキスト情報を提供するアプリケーション層, 4つの層からなる. また, 位置に基づく学習とベイズフィルタリングにより, 複雑な看護業務の効率的な学習とリアルタイムでの識別を実現し, 看護行為の認識に基づく看護業務コンテキスト提示アプリケーション例を示した. 実際の病院における業務の観察から得た看護業務シナリオによって評価を行い, 88%以上の正答率で看護行為を識別可能であり, 特に重要な看護行為においても95%以上の正答率が得られた.

今後の予定では, Bluetooth近接センサを導入するなどして行動識別率の改善を行うとともに, より複雑なワークフローに対しても医療スタッフに対して有用なコンテキスト情報の提供を実現を目指す予定である. また, 実病院における長期的な評価も実施し, 看護師間のコンテキスト共有や, 教育, 事故防止をより高精度かつ効果的に実現するシステムを目指したいと考えている.

謝辞 この研究は本研究は情報通信研究機構の研究委託“日常行動・状況理解に基づく知識共有システムの研究開発”により, 株式会社国際電気通信基礎技術研究所知識科学研究所において実施したものである.

### 参 考 文 献

- 1) Bao, L. and Intille, S.S.: Activity Recognition from User-Annotated Acceleration Data, *Pervasive 2004*, pp.1-17 (2004).
- 2) Bardram, J.E. and Christensen, H.B.: Pervasive Computing Support for Hospitals: An overview of the Activity-Based Computing Project, *IEEE Pervasive Computing*, Vol.6, No.1, pp.44-51 (2007).
- 3) Choudhury, T., Borriello, G., Consolvo, S., Haehnel, D., Harrison, B., Hemingway, B., Hightower, J., Klasnja, P.P., Koscher, K., LaMarca, A., Landay, J.A., LeGrand, L., Lester, J., Rahimi, A., Rea, A. and Wyatt, D.: The Mobile Sensing Platform: An Embedded Activity Recognition System, *IEEE Pervasive Computing*, Vol.7, No.2, pp.32-41 (2008).
- 4) Hansen, T.R., Bardram, J.E. and Soegaard, M.: Moving Out of the Lab: Deploying Pervasive Technologies in a Hospital, *Pervasive Computing, IEEE*, Vol.5, No.3, pp.24-31 (2006).
- 5) Ohmura, R., Naya, F., Noma, H. and Kogure, K.: B-Pack: A Bluetooth-based Wearable Sensing Device for Nursing Activity Recognition, *Proc. of the 1st Intl. Symposium on Wireless Pervasive Computing 2006(ISWPC 2006)* (2006).
- 6) Osmani, V. and Balasubramaniam, S.: Context Management Support for Activity Recognition in Health-Care, *Pervasive 2006 Workshop Proceedings*, Springer (2006).
- 7) Sánchez, D., Tentori, M. and Favela, J.: Activity Recognition for the Smart Hospital, *IEEE Intelligent Systems*, Vol.23, No.2, pp.50-57 (2008).
- 8) Stiefmeier, T., Roggen, D., Ogris, G., Lukowicz, P. and Trost, G.: Wearable Activity Tracking in Car Manufacturing, *IEEE Pervasive Computing*, Vol.7, No.2, pp.42-50 (2008).
- 9) Takahashi, S., Wong, J., Miyamae, M., Terada, T., Noma, H., Toriyama, T., Kogure, K. and Nishio, S.: A ZigBee-based Sensor Node for Tracking People's Locations, *Proc. of the 2nd ACM International Workshop on Context-Awareness for Self-Managing Systems (CASEMANS 2008)*, pp.34-38 (2008).
- 10) Widom, J. and Ceri, S.(eds.): *Active Database Systems: Triggers and Rules for Advanced Database Processing (The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems)*, Morgan Kaufmann Publishers Inc. (1995).
- 11) 厚生労働省: <http://www.mhlw.go.jp/topics/2001/0110/tp1030-1.html> (2001).
- 12) 野間春生, 大村 廉, 納谷 太, 宮前雅一, 鳥山朋二, 小暮 潔: センサ・ネットワークにおける個人の行動計測のための小型装着型機器の開発, 信学技報, USN2007-27, Vol.107, No.152, pp.29-34 (2007).
- 13) 納谷 太, 大村 廉, 野間春生, 小暮 潔: Bluetoothのデバイス検出機構を用いた近接位置計測法, 信学技報, AI, Vol.105, No.224, pp.5-10 (2005).
- 14) 田岡康裕, 納谷太, 野間春生, 小暮潔, 李周浩: 小型 Bluetooth デバイスを用いた移動体の近接距離推定法, 第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2006) (2006).
- 15) 田岡康裕, 納谷太, 野間春生, 小暮潔, 李周浩: Bluetoothの電波強度を用いたユーザの位置推定手法, 信学技報, USN2008-36, Vol.108, No.138, pp.147-152 (2008).
- 16) 高柳美沙子, 大村 廉, 納谷 太, 野間春生, 小暮 潔: 人の行動分析のための赤外線通過センサの開発, FIT2005 第4回情報科学技術フォーラム, pp.M-021 259-260 (2005).