

B-Pack: 看護師行動認識のための 無線ウェアラブルセンシングプラットフォーム

大村 廉 納谷 太 野間 春生 小暮 潔

(株) 国際電気通信基礎技術研究所
知能ロボティクス研究所

本稿では無線ウェアラブルセンシングプラットフォーム「*B-Pack*」を紹介する。*B-Pack* は病院内において看護師の行動認識に必要なセンサデータを取得するために開発された。看護業務を妨げることがないように小型化および無線化が図られるとともに、様々な種類のセンサをテストできる自由度を有する。また、環境設置型センサとの統合のため外部コマンドによる動作の設定を可能としている。さらには、センシングのみならず、情報提示装置としての機能も備えている。

B-Pack: A Wearable Sensing Platform for Nursing Activity Recognition

Ren Ohmura Futoshi Naya Haruo Noma Kiyoshi Kogure

Advanced Telecommunications Research Institute International
Intelligent Robotics and Communications Laboratory, Kyoto, Japan

This paper presents a wireless, wearable platform, named *B-Pack*. The *B-Pack* is developed for actual use in a real hospital and for recognizing nursing activities. The *B-Pack* has wireless connectivity and extensibility to acquire various kind of sensor data without interfering with nursing activities. Also, it accepts external commands for integrating with environmental sensors. The *B-Pack* has a capability to be used as an output device for giving information to the wearer.

1 はじめに

医療事故を防止することは、多くの病院にとってもっとも重要な課題のひとつである。医療事故の原因には看護師が関与している場合が多いという調査結果があり [1]、看護業務におけるミスの原因究明や防止、また現場でのノウハウの伝達が医療現場において強く要求されている。我々は「E-nightingale プロジェクト」の名の下で、ユビキタスコンピューティング環境における看護業務の支援や教育を目的とし

た研究を行っている [8]。

看護業務の支援や、看護業務におけるノウハウを蓄積するために、まず必要となることは看護師の行動やその状況を把握することである。現在、人の行動を認識するにあたり、装着型のセンサ (以下、ウェアラブルセンサ) を用いた手法の研究が多く行われており、また、このためのデバイスの開発も多く行われている [6, 9, 7]。しかし、これらの研究で主にターゲットとされているのは通常の人々であり日常生活での行動が主であった。

一方、我々のプロジェクトでは、現場での看護師の行動を認識・理解するため、実際の病院において看護師の行動取得実験を行っている。しかし、病院という環境でウェアラブルセンシングデバイスを使用するにあたり、ウェアラブルデバイスに対する要求は日常生活を対象とする場合よりも厳しくなる。実環境における使用について、最も重要な事柄は本来の業務を阻害しないことであるため、よりいっそうの小型化や軽量化に対する要求が存在する。また、移動介助といった看護業務の内容から、看護師の肩や首に何らかのウェアラブルデバイスを装着することは困難である。このため、センサおよびその装着場所の選定を行い、また、取得ウェアラブルセンサでは取得困難な情報を補完するために環境設置型のセンシングデバイスとの連携が必要となる。

そこで我々は、看護師の行動を取得するためのウェアラブルセンシングデバイスとして「*B-Pack*」を開発した。*B-Pack* はなるべく装着者への負担が無いよう、小型化および無線化が図られている。また、さまざまなセンサを接続し、テストできるよう、拡張性が維持されている。さらには、環境センサとの統合を考慮したコマンドによるセンシングパラメータの調整や、看護師への情報提供機能も備えている。

本論文では、*B-Pack* のアーキテクチャおよび予備実験の結果について述べる。本論文の構成は以下のとおりである。2章にて、*E-nightingale* プロジェクトの概要と、ウェアラブルデバイスに求められる要求仕様についてまとめる。3章では、これらの要求をうけて開発した *B-Pack* の特徴について述べる。4章では、実際に *B-Pack* を用いた実験とその結果について示す。そして、5章では既存のウェアラブルセンシングデバイスと比較する。

2 E-nightingale プロジェクト

E-nightingale プロジェクトは看護業務におけるミスの発生要因の解析とその防止、また、効率的な業務遂行のノウハウの蓄積やその伝達をサポートするための研究開発を行っている。そして、その成果は看護業務に限らず、一般的な定型業務に応用可能とすることが可能である。

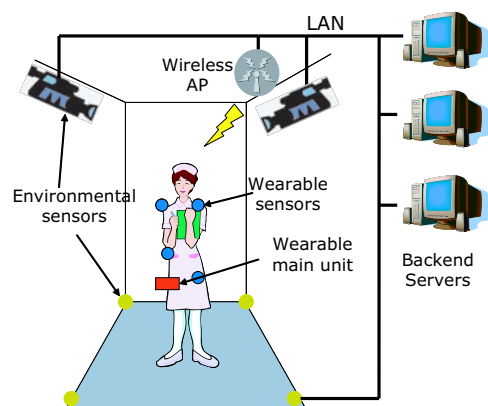


図 1: E-nightingale システム概観

これらのシステム開発の第一段階として、まず対象となる看護師の行動およびその状況を認識する必要があるが、これは、図 1 に示すように、ウェアラブルデバイスおよび環境設置型デバイスによって行う。看護師にはウェアラブルセンシングデバイスを装着してもらい、看護師個人の行動を認識する。そして、環境には環境設置型センシングデバイスを設置し、看護師の存在する場所や看護師と患者や医師らとのインタラクションなど、看護師を取り巻く状況を認識する。また、それぞれのセンシングデバイスは互いの情報を相補的に用いて認識精度を向上させる。

本論文では、ウェアラブルセンシングデバイスとして開発された *B-Pack* を取り上げる。*B-Pack* は看護師の体の各部位に装着し、その部位のセンサデータを高度な処理能力をもつウェアラブルメインユニットや環境に設置されたサーバに送信する。サーバ上ではその情報と環境設置センサから得られた情報を統合し、看護師の行動やその状況の認識を行う。また、この認識の結果、看護師がミスが発生し易いような状況に陥った場合には、看護師に対してウェアラブルおよび環境設置型の出力デバイスを通して注意を喚起し、ミスの防止を図る。これらの構想をもとに *E-nightingale* プロジェクトにおいてウェアラブルデバイスに求められる要求事項は以下の通りである。

まず、第 1 に病院という現場で看護師に装着してもらうためには、単に物理的に装着 / 利用可能であ

るというだけでなく、看護師の本来の業務を阻害するものであってはならない。このため、ウェアラブルセンシングデバイスは、十分に小型かつ軽量である必要がある。また、我々の過去の実験および看護師を対象としたアンケート結果により、体の各部位に分散配置されるセンサを接続する線が看護師にとって大きな負担となるということが判っている [8]。体の各部位の動きを正確にとらえるためには各種センサを看護師の体の各部位に分散配置する必要があり、これらを接続する方法には配慮が必要となる。

第 2 に、様々なセンサデバイス接続しテストできることが求められる。ウェアラブルセンシングデバイスを用いた装着者の行動認識の研究が多く行われているが、必要となるセンサおよびその処理のためのアルゴリズムは未だ研究段階であり確立したものではない。特に前述のように、装着する部位が限られるような状況では、装着場所および使用するセンサデバイスの種類を十分に吟味する必要がある。環境センサとの統合も範疇に含み、種々のセンサをテストしてこの研究を推進するため、ウェアラブルセンシングデバイスには拡張性が求められる。

第 3 に、環境センサとの統合の容易さが求められる。図 1 に示すように、ウェアラブルセンサと環境センサから得られるデータの統合を行い、精度の高い看護師行動認識技術を確立することも本プロジェクトの目的の 1 つである。また、状況に応じて利用するセンサデバイスを切替えることやセンシングパラメータを調整することにより、ウェアラブルデバイスが利用する資源 (電力やネットワークバンド幅など) を効率良く利用技術の開発も望まれる。

また、前述のように、「適切な情報提示」技術の確立も本プロジェクトの 1 つのトピックであり、ウェアラブルデバイスを情報提示装置として利用することも考えている。

3 B-Pack の特徴

本章では前章で述べた要求事項をもとに設計・実装された B-Pack の特徴について述べる。B-Pack の外観および仕様について、それぞれ図 2 および表 1 に示す。

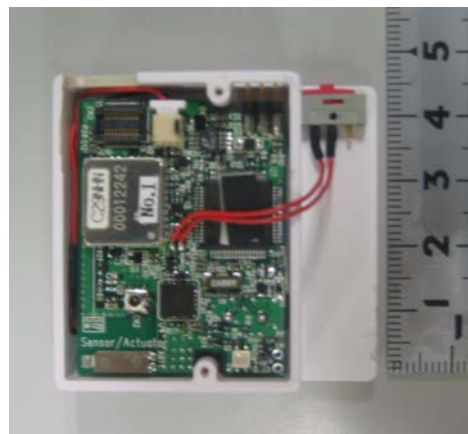


図 2: B-Pack の外観

無線通信

看護師行動を阻害しないようにしつつ各デバイス間でデータの送受信線を可能にするにあたり、その有望な方法の 1 つは無線の使用である。他にも、看護師の制服を工夫し装着している間は線を固定するなどして、デバイス間の結線を看護師の動作に影響しないようにすることも考えられる。しかし、看護師の制服は清潔を維持するために頻繁に洗濯され、この度にセンサデバイスおよび結線の装着 / 取り外しの手間がかかることを考慮しなければならない。また、同様の理由から、導電性の繊維や、結線自体を制服に縫い込んで使用することは防水技術の開発などを伴い、困難と考えられる。このため、B-Pack では無線通信を用いることにした。

しかしながら、病院での利用を考えた場合には不用意に無線通信媒体を利用することはできない。なぜなら電波による医療機器への影響の可能性があるためである。我々は検討の結果として、無線通信媒体として Bluetooth を選択した。その理由は以下の通りである。

第 1 に、安全性が高いことである。Bluetooth は、総務省の報告では非常に近接する場合を除き「ほぼ影響はない」と結論付けられている IEEE802.11b[2] と同一周波数帯域 (ISM バンド) を利用しており、その無線出力は IEEE802.11b よりも小さいため、Bluetooth の「医療機器への影響はほとんど無い」とい

うが一般的な見解である。このため、病院内においても、Bluetooth の使用は安全性が高い。

第 2 に、Bluetooth を利用する第 2 の理由として、Bluetooth はその仕様に通信路におけるエラー訂正などが含まれており、また、これらをハードウェアモジュールレベルで提供する製品が多く出回っていることである。これらのハードウェアモジュールを用いることによって、CPU では通信を行う上での複雑な制御を扱う必要がなくなる。このことは、あまり能力の高くない CPU を *B-Pack* のメイン CPU として利用することを可能とし、低消費電力化や小型化に寄与する。

第 3 の理由は、伝送速度と消費電力のバランスである。Bluetooth はもともと低消費電力での通信を目的としているため、バッテリー寿命の長期化、および、バッテリー自体の小型化も望める。一方で、バンド幅も比較的広く、Bluetooth 1.1 の規格では、最高通信速度は 700kbps 程度とされており、細粒度のセンサデータを送信することも可能なバンド幅を持っている。例えば、7 つの 3 軸加速度センサを装着し、500Hz 12bit でサンプリングしたとすれば、そのデータをアップロードするのに必要なバンド幅は $500 \times 16 \times 3 \times 7 = 168,000bps$ となり各データのデリミタなども含めると約 200kbps 強の伝送速度が必要となると考えられる¹。より低消費電力化を目指した無線通信規格に ZigBee が存在するが、この最大伝送速度は 250kbps であり、電波状況による通信の不安定さや実効速度、また、複数人の装着者が近接し電波干渉が生じ易くなる状況などを考慮すると、細粒度のセンサデータを送信するには不適切と考えられる。

これらの帰結として我々は病院内で利用するウェアラブル機器を無線化するにあたり、Bluetooth が適切であると判断した。

拡張性

B-Pack は標準のセンサとして、500Hz, $\pm 3G$ (重力加速度) までの計測が可能な 3 軸の加速度センサを持つ。さらに、拡張性についても維持されており、2 チャンネルの A/D コンバータ、1 チャンネルのカウ

¹12bit のデータを 16bit のデータにして送信した場合

表 1: *B-Pack* の仕様

CPU	H8/3687F 7.3728 MHz (Renesas Technology)
Size	35 mm(W) × 45 mm(H) × 13.5 mm(D)*
Weight	21 g*
Bluetooth	WML-C29 (MITSUMI) Ver. 1.2 Class 2
Accelerometer	H48C (Hitachi Metals)
Battery	IML-270530-2 (NEC TOKIN) 300 mAh lithium-ion
I/O (for extension)	A/D × 2 ch counter × 1 ch input capture × 8 ch PWM output × 8 ch PIO × 27 (maximum) (including interrupt × 6)

* 外装およびバッテリーを含む

ンタ、8 本のインプットキャプチャカウンタ、27 本の Digital I/O 等が新たにセンサを接続するために存在する。これらのインタフェースにフォトダイオードや温度センサ、万歩計などのセンサを追加し、そのデータを取得できるようになっている。

環境センサとの連携

B-Pack は環境センサとの連携により効率的なセンシングを行うため、外部からのコマンドによって動作する。このコマンドにより、サンプリングレートの調整や平滑化などのプリプロセスの種類やパラメータなどを外部からコントロールする。たとえば位置ロケータのような環境センサとの統合により、廊下にいる時には腕に装着した *B-Pack* のサンプリングレートは落とし、逆に足に装着した *B-Pack* のサンプリングレートを上げる。逆に部屋に居るときには腕のサンプリングレートを上げて、上半身についてのより詳細な行動データの取得と資源の効率的な利用を可能とすることが考えられる。さらには、コマンドによりあらかじめ設定されたセンシングデータが取得された際に、*B-Pack* 側からイベントを通知

し、環境設置センサのデータ取得を開始する、などの利用も考えられる。

時刻同期

行動認識において、分散配置された場所から取得されたセンシングデータの時刻を同期することは非常に重要である。このため、*B-Pack* はミリ秒単位で時刻をカウントするタイマをローカルに持っており、また、ホストと時刻を同期するためのプロトコルが実装されている。そして、*B-Pack* 上で取得されたセンサデータは *B-Pack* 上でのタイムスタンプを付加してデータをアップロードする。

双方向性

B-Pack はセンシングデバイスとしてのみでなく、出力デバイスとしての能力も有する。2章で述べたように、*E-nightingale* プロジェクトでは、看護業務におけるミスの発生を防ぐため、看護師に対し適切なタイミングで適切な情報を提供することもその目的のひとつとなっている。しかし、この情報は、例えば看護師が患者に接している最中であれば、患者に無用な心配を与えないために、対象となる看護師のみに提供されることが望ましい。例えば、体の各部位に分散して装着される *B-Pack* によって情報の種類に応じて情報を提供する部位を変えるなど、出力デバイスとしても多様な利用方法を考えることができる。*B-Pack* では Digital I/O や PWM output も拡張用のインタフェースとして保持しており、これらを利用することにより、出力デバイスとしての利用も可能としている。

バッテリーおよび外形寸法

さらに、実際のウェアラブルデバイスの利用では、その電源の確保が問題となるが、*B-Pack* では電池交換のわずらわしさを排除し、実際の利用上での利便性も維持するために、二次電池を利用している。そして、充電回路も *B-Pack* 上に持ち、パッケージを開けることなく充電器のプラグさせば充電がなされるようになっている。

以上のべたような特徴を維持しつつ、*B-Pack* は第一目標である看護師行動を阻害しないようにするため、小型化が図られており、図 2 および表 1 に示し

たように、パッケージとバッテリーを含めてマッチ箱を一回り小さくした程度の大きさとしてまとめられている。

4 実験

B-Pack の動作を確認するため、稼働時間の測定実験、時刻同期の有効性の確認実験、加速度の測定実験を行った。以下、それぞれの結果について述べる。

4.1 稼働時間の測定

実験を行うにあたり、*B-Pack* が標準で持っている加速度センサのデータを 2msec 毎に取得し、内部の CPU では 10 サンプルの平均を取る処理を行った。また、実験中 Bluetooth は常にホスト PC との接続状態 (active mode) を保ち、平均化されたデータを継続的にホスト PC に出力した。

上記の条件において 8 個の *B-Pack* の動作時間を測定したところ、平均稼働時間は約 7 時間半であり、また、8 時間以上稼働したものも存在した。この時間は日勤の看護師の勤務時間が 8 時間であることを考えると、一日の看護師の行動を測定するには多少足りないが、本結果はセンシングおよび無線通信を継続しつつつけた場合の結果であり、3章で述べたように、環境センサと組み合わせて省電力化を図って連続稼働時間を引き伸ばすことが可能である。

4.2 時刻同期の有効性の確認

次に、3章で述べた時刻同期の問題に対し、*B-Pack* 上でタイマを持つことの有効性および各データに *B-Pack* 上でタイムスタンプを押すことの必要性を確認するため、ホスト上でのデータ受信時刻および *B-Pack* により付加されたデータのタイムスタンプの比較を行った。10msec および 100msec 毎に 4 台の *B-Pack* から同時に加速度センサの値を取得した。そして、次式

「データ受信時刻」

– 「*B-Pack* で付加されたタイムスタンプ」

により、時刻の差を比較し、それぞれの *B-Pack* に

表 2: ホストの受信時刻とデータのタイムスタンプの差

サンプリング レート	B-Pack No.	平均 (msec)	標準偏差
10msec	1	-127.64	42.90
	2	-149.86	209.51
	3	-178.88	93.97
	4	-121.18	41.57
100msec	1	-115.87	10.47
	2	-148.12	9.77
	3	-135.91	11.34
	4	-135.86	11.13

対して、この値の平均および標準偏差を計算した結果を表 2 に示す。また、この差のプロットを図 3 に示す。

表 2 から、10msec および 100msec のサンプリングレートいずれの場合においても平均で約 120 ~ 150msec 程度の遅れがある事がわかり、さらに標準偏差の値も大きく、受信時刻と B-Pack 上のタイムスタンプとの時間差がかなりばらつくことがわかる。特に、10msec のサンプリングレートの場合には、40 ~ 100 以上の値となっており、100msec のときよりもばらつきが増加している。この理由は、短い時間間隔の内に複数の通信要求が生じ、パケットの衝突が多く発生して再送などの通信制御が頻繁に起こるためと考えられる。さらに 10msec の時の 40 ~ 100msec 以上という標準偏差は、10msec というサンプリングレートを考えた場合には無視できるものではない。

また、図 3 から同一時刻においても各 B-Pack 毎に遅れは異なり、さらには、サンプリングレートが 10msec の時の B-Pack No.2 では 1 つだけ 1500msec 程度も遅れが生じる場合があることが見て取れる。ホスト上で受信する時刻は実際の値とかなりのずれが生じる場合があり、また、同一時刻に受信したとしても、各 B-Pack で別々の時刻に取得されたセンサデータである可能性が高いことがわかる。

これらのことから、特に細粒度でのセンサデータ

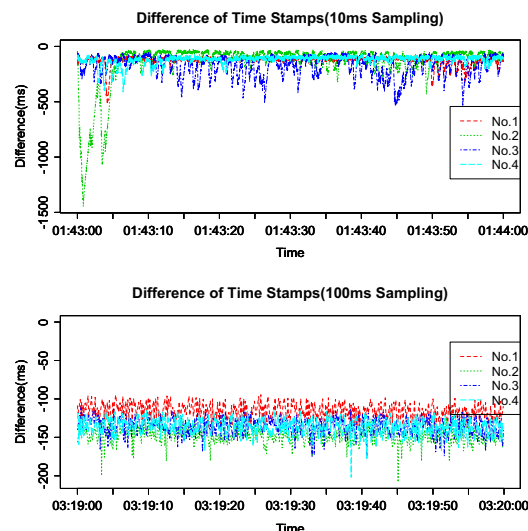


図 3: タイムスタンプの差

を無線通信を用いてアップロードする場合には、データを取得する装置上でタイムスタンプを押し、この時刻を元に同一時刻のセンサデータを判別することが必須であると言える。そして、B-Pack 上の時刻同期機能やローカルタイマを保持することの有効性が確認された。

4.3 加速度データの測定結果

次に B-Pack の加速度センサを用いて、15 分程度の行動を計測した。図 4 に示すように、被験者に両上腕、胸、腰の 4 箇所に B-Pack を装着してもらい、また、薬の仕訳や看護師が使用する包交車 (台車) を押すなどの看護師行動のほか、腕を回す、ジャンプする、などの行動も織りまぜてこの時の各 B-Pack 上の加速度の値を測定した。このときの結果を図 5 に示す。

図 5 中央付近で 4 つの B-Pack の加速度の値が大きく振れているが、これらの変動が 4 つの B-Pack 上できちんと同期されて同一時刻のデータとして取得されていることがわかる。なお、このときのデータは被験者が「腕を回す」という行動を取ったときのものである。その他被験者に「ジャンプする」が行動をとった時に現れるパルス的に突出したデータも 4 台の B-Pack で同期が取れ、同一時刻のデータ

が適切に取得されていることが確認できた。

5 関連研究

現在、人の行動認識やを目的として、多くのウェアラブルセンシングデバイスの開発がなされている [6, 9, 7]。Crowe らは [4] の中でウェアラブルデバイスの無線を用いた場合のデメリットについて、無線を用いてセンサデバイスを分散させた場合、電源が分散し各デバイス電池交換の手間が無視できなくなるので、複数のウェアラブルデバイスを装着する場合には結線して単一の電源で動作させることが望ましい、と述べている。B-Pack はそれぞれ独自の電源をもつものの、二次電池を使用し、充電も充電器を B-Pack にそのまま接続するだけで良いというように簡便化することでこの問題を緩和している。

一方で無線化されたウェアラブルセンシングデバイスも最近注目されてきている。[10, 5, 3]、Tapia らは Bluetooth と同じ 2.4GHz 帯を用いる無線を用いたセンシングデバイスとして MITes を開発している [10]。MITes は装着者の行動認識のため、3軸の加速度計が接続されているのみである。一方、B-Pack は3軸の加速度センサとともに、温度センサなどのセンサを追加して使用する為の拡張性を保持している。また、電源として利用されているのは一次電池 (CR2032) であり、前述の電池交換の問題が残されている。

原田らは Bluetooth を用いたウェアラブルセンシングの為にプラットフォームとなるデバイスを開発している [5]。B-Pack と同様にセンサデバイスの追加が可能となっており、また、電源としても二次電池が用いられているが、デバイス上には充電のための回路は実装されておらず、充電の度に電池を取り外す必要が生じる。また、装着者の体に分散配置した場合のセンサデータの時刻の同期問題については言及されていない。

また、総じてウェアラブルセンシングデバイスのほとんどは日常生活における通常の人々の行動認識を目的としており、一方で、B-Pack は病院という現場での看護師の行動認識を目的に開発された。B-Pack は実際に病院内で看護師が利用が可能となるように、

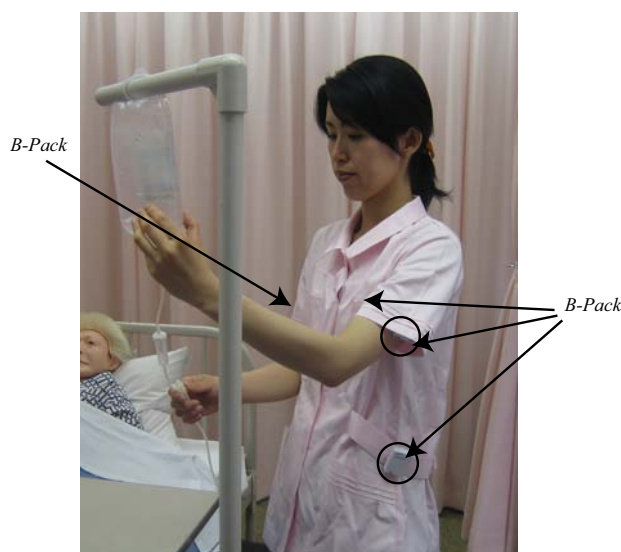


図 4: B-Pack を装着した被験者

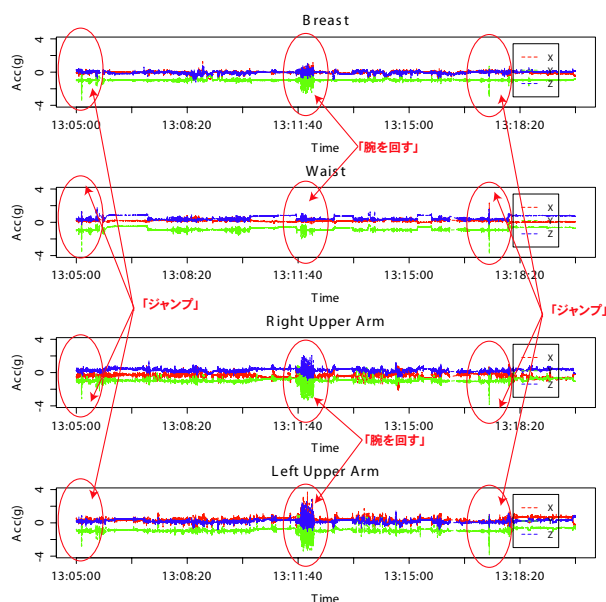


図 5: 4 つの B-Pack を用いた行動の測定結果

無線化やそのサイズ、重さ、メンテナンスの容易さや拡張性の維持、などを基準に注意深く設計している。さらに、上記ウェアラブルデバイスの多くは、センシングを行うことがその機能として注目される場所であるが、*B-Pack* では出力デバイスとしての動作も目論まれて設計を行った。

6 まとめと今後の課題

本論文では、ウェアラブルセンシングデバイスのプラットフォームである、*B-Pack* について紹介した。*B-Pack* は実際の看護師行動を病院内において測定することを目的として設計された。看護師行動を阻害しないために、無線化や小型化が図られ、また、体の各部位の同一時刻のデータを収集するために、独自のタイマを付与し、データを収集する PC との時刻同期が行えるようになっている。さらには、将来的な環境センサとの統合を目論み、センシングパラメータの調整などを外部から行うことができるような機能が付与されている。

今後、今回開発した *B-Pack* を用いて、看護師の行動認識に必要なセンサを調査して特定するとともに、環境センサと統合して看護師の行動認識システムの開発を進めていく予定である。

謝辞

本研究は情報通信研究機構 (NICT) の研究委託により実施したものである。

参考文献

- [1] <http://www.mhlw.go.jp/topics/2001/0110/tp1030-1.html#2-1>.
- [2] http://www.soumu.go.jp/s-news/2002/020702_3_1.html.
- [3] Arto Ylisaukko-oja, Elena Vildjiounatie, J. M.: Five-Point Acceleration Sensing Wireless Body Area Network - Design and Practical Experiences, *Proceedings of Eighth International Symposium on Wearable Computers(ISWC2004)*, pp. 184-185 (2004).
- [4] Crowe, J., Hayes-Gill, B., Sumner, M., Barratt, C., Palethorpe, B., Greenhalgh, C., Storz, O., Friday, A., Humble, J., Setchell, C., Randell, C. and Muller, H.: Modular sensor architecture for unobtrusive routine clinical diagnosis, *International Workshop on Smart Appliances and Wearable Computing* (2004).
- [5] Harada, T., Nagai, T., Mori, T. and Sato, T.: Realization of Bluetooth-Equipped Module for Wireless Sensor Network, *Proceedings of First International Conference on Networked Sensing System(INSS2004)*, pp. 24-27 (2004).
- [6] Kern, N. and Schiele, B.: Multi-Sensor Activity Context Detection for Wearable Computing, *European Symposium on Ambient Intelligence*, Eindhoven, The Netherlands (2003).
- [7] Laerhoven, K. V., Aidoo, K. A. and Lowette, S.: Real-time Analysis of Data from Many Sensors with Neural Networks, *Proceedings of Fifth International Symposium on Wearable Computers(ISWC2001)*, pp. 115-122 (2001).
- [8] Noma, H., Ohmura, A., Kuwahara, N. and Kogure, K.: Wearable Sensors for Auto-Event-Recording on Medical Nursing - User Study of Ergonomic Design -, *Proceedings of Eighth International Symposium on Wearable Computers(ISWC2004)*, pp. 8-15 (2004).
- [9] Randell, C. and Muller, H. L.: The Well Mannered Wearable Computer, *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 6, No. 1, pp. 31-36 (2002).
- [10] Tapia, E. M., Marmasse, N., Intille, S. S. and Larson, K.: MITes: Wireless Portable Sensors for Studying Behaviour (2004). <http://ubicomp.org/ubicomp2004/adjunct/demos/tapia.pdf>.