B116 生体情報を用いた要介護者の転倒検出および予防の研究

Study for detecting and preventing elderly from falling.

○ 吉田勤彦(東北大院) 正 水野文雄(名工大) 早坂智明(東北大)
 正 坪田健一(東北大) 正 和田成生(東北大) 正 山口隆美(東北大)

Toshihiko YOSHIDA¹⁾, Fumio MIZUNO²⁾, Tomoaki HAYASAKA²⁾, Kenichi TSUBOTA¹⁾, Shigeo WADA¹⁾, Takami YAMAGUCHI¹⁾¹⁾ Department of Bioengineering and Robotics, Tohoku University, Graduate School Engineering, Sendai, Japan²⁾ Dept. Mechanical Engineering, Nagoya Institute of Technology**Key Words:** Hyper Hospital, home care support, Wearable Computer, fall, acceleration

1. はじめに

高齢者が寝たきりとなる原因の一つとして転倒・転落による負傷がある。寝たきりになると高齢者の QOL(Quality of Life)は低下し、介護が必要となる。そのために本研究では転倒の早期発見を含めたモニタリングのための加速度計測用ウェアラブルシステムを開発・評価した。さらに転倒による負傷を防止するための方法として歩調の微妙な変化からの転倒の予知を考えた。そこで、本システムを用いて歩行時の加速度情報を取得、解析し、その可能性について考えた。

2. システム概要

本システムは図 1 のようになっており、ベルトに装着することで装着者の加速度情報を得るためのウェアラブルシステム部分と家庭内に設置され、データの保存、解析を行う部分とに分かれている。加速度方向は図 2 のように左右方向を X 軸、対軸方向を Y 軸、前後歩行を Z 軸とした。また、右方向を X 軸の正方向、体軸の足方向を Y 軸の正方向、前方を Z 軸の正方向とした。各軸方向の加速度値は重力加速度を用いて補正した。

加速度センサ(Analog Devices 社製 ADXL202)からの加速度情報は CPU モジュール(アットマークテクノ社製 SUZAKU-S)によって Ethernet を用いて通信モジュール(NEC 製 VR4181A)へと送られる。その後無線 LAN を介してデータベースサーバとするデスクトップ PC(OS:Debian GNU/Linux CPU:Pentium4 2.4Ghz, メモリ容量:1GB)に加速度データを送信する。加速度データはデータベースサーバで解析および保存をされる。

加速度センサ, CPU モジュール, 通信モジュール, ハブはベルトにしっかりと固定した。単 3 電池 8 本をバッテリーとして使用し, DC/DC コンバータを用いて電圧を調整している。バッテリーを除いた本システム全体の質量は 1.0kg である。

3. 実験方法

3.1 姿勢検知実験

22 才の健康な男性 1 名の直立, 仰臥位, 右側臥位, 仰臥位から右側臥位への寝返り時の加速度を計測した。直立以外の状態ではベッドを使用した。

3.2 転倒検出実験

直立状態から前方へとゆっくり転倒させた。被験者の安全を考慮し, 厚さ 6cm のウレタンマット 2 枚を重ねて敷いた上で実験を行った。また, 転倒時の衝撃および接触によるシステムの故障を防ぐためにこの実験に限り無線を介さず, 直接 CPU モジュールからデスクトップ PC へと Ethernet を用いてデータを送信した。さらに, 転倒を検出するためのデータ解析にはデスクトップ PC を使用した。転倒の検出のためのアルゴリズムは

$$FI = \sqrt{\sum_{i=1}^{i-9} (A_i^x - A_{i-1}^x)^2 + \sum_{i=1}^{i-9} (A_i^y - A_{i-1}^y)^2 + \sum_{i=1}^{i-9} (A_i^z - A_{i-1}^z)^2}$$

(ただし A_i^x , A_i^y , A_i^z は各軸方向の i 番目の加速度値)

として FI(Fall Index)の値から転倒を検出することとした。転倒と判断するための閾値 FI_{CR} (FI Critical)を決定するために健康な男性 4 名と女性 1 名の転倒を計測した。このときの平均値は $FI = 4.44$, 最大値は $FI = 5.68$, 最小値は $FI = 3.71$ だった。そこで転倒と他の

動作を識別する FI_{CR} を 3.16 と決定した。さらに激しい運動との誤認を防ぐため, FI が FI_{CR} を超えた直後に横臥している場合を転倒とすることにした。今回 FI が FI_{CR} を超えてから 0.4 秒後から 0.8 秒後までの間の Y 方向の加速度値の平均値が 0.3 g 以下の場合に寝ていると判断することにした。上記の条件を用いて転倒検出実験を行った。この実験は 22 才から 26 才までの男性 5 名, 女性 1 名についてそれぞれ 5 回おこなった。また, 比較実験として直立状態からの準静的な横臥を各被験者に対して 1 回ずつ行わせ, 転倒と誤認するか調べた。

3.3 歩行解析

測定対象は健康な 21 才から 22 才までの男性 5 名である。履物の指定は行わず, 普段着用している靴を使用した。ただし, スリッパやサンダルのような踵を覆わない靴は除いている。

直線距離 15m を自然歩行させ, 歩行開始から 4 歩目以前と歩行終了から 4 歩目以降を過渡期として除いた区間を解析対象とした。実験は各自 6 回行なった。

取得したデータはパワースペクトル解析を用いて解析した。接地時の衝撃などのノイズと思われる 20Hz 以上の値は破棄した。また, 直流成分を除去するために 0.1Hz 未満のデータも破棄し, 0.1~20Hz のデータを解析対象とした。パワースペクトル値は 0.1Hz~20Hz までの積分値が 1 となるように正規化した。さらに, 周波数については歩行の基本周波数が 1 となるように正規化した。

Fig.1 The system configuration

Fig.2 A person outfitted with the wearable computer and the direction of acceleration (front and side)

比較実験として拘束具を装着した状態での歩行についても同様に解析をした。拘束具とは片麻痺状態を模擬した物で利き足と逆側の足首に3kgの重り、10kgの重りの入ったバッグを背負わせ、さらに膝関節の動きを制限するために利き足と反対の膝に幅28cmの段ボールを装着させたものである。

4. 結果

4.1 姿勢検知実験

直立時にはY方向にのみ重力加速度による値1gを観測した。また、仰臥位時にはZ方向にのみ-1g、左側臥位時にはX方向に-1gを観測した。加えて仰臥位から側臥位への寝返り時には仰臥位時に見られる重力加速度の組み合わせから側臥位時に観測される組み合わせへの変化が観測できた(図3)。

4.2 転倒検出実験

本研究の判定条件では約70%の検出率で転倒を検出できた(図4)。転倒を100%検出できたのは6名中3名だった。最も低い検出率は40%で2名の被験者であった。準静的な横臥を転倒と誤認識することはなかった。

4.3 歩行解析

得られたデータをパワースペクトル解析し、6回の計測結果を平均化した図が図5、図6である。ただし、図5は自然歩行時、図6は拘束具装着時のパワースペクトル解析結果である。自然歩行時のパワースペクトル解析結果より、自然歩行時には前後方向において歩行の基本周波数の整数倍にピークが観測された。それに対して拘束具を装着した状態では歩行の基本周波数の整数倍にピークは見られなかった。その代わりに拘束具を装着することによって前後方向の歩行の基本周波数の半分にピークが生じた。この傾向は全ての被験者で観測された。

5. 考察

姿勢検知実験より重力加速度を計測することで要介護者が横臥状態であるかどうかを判定することができた。また、寝返りを検出することもできた。このことから要介護者の姿勢や寝返りの頻度を計測することで体調の良、不良の状態を知ることができる。

転倒検出実験により転倒を検出できることが分かったので転倒による負傷などの緊急事態を知ることは十分可能であると言える。準静的な横臥との誤認については全く認められず、この点では本研究の方法は非常に優れていると言える。

今回の歩行解析実験結果から本システムを使用し、パワースペクトル解析を用いることで自然歩行と拘束具を装着時の歩行との違いを認識することができる可能性があることが分かった。特に拘束具を装着することで前後方向において基本周波数の半分にピークが生じたことから歩行の基本周波数よりも小さい周波数に歩行の変化が見られる可能性がある。

6. 展望

今回の実験では寝返りや転倒など対象とする動作のみに着目して計測を行った。しかし、本システムの目的は長期的な要介護者のモニタリングである。このためには実際に被験者に装置を長時間装着させ、システムを評価することが必要である。長期間の使用のために全システムをウェアラブル化し、環境に左右されないシステムへと変更することを考えている。

6. 参考文献

- [1]Yamaguchi, T. et al.:The Hyper Hospital - A networked reality based medical care system -,IEICE Transactions on Information and Systems, E77-D, No.12, pp.1373-1378,(1994)
- [2]Hayasaka, T., Nakanishi, Y., and Yamaguchi T.: An Interactively Configurable Virtual World System, IEICE Transactions communications, E78-B, Vo.7, pp.963-969,(1995)
- [3] Yamaguchi, T.: Performance tests of a satellite-based asymmetric communication network for the "Hyper Hospital", Journal of Telemedicine and Telecare, Vol.3, No1, pp.78-82(1997)

[4]水野文雄, 早坂智明, 坪田健一, 和田成生, 山口隆美: ハンズフリー入力機能を持つ在宅介護支援用ウェアラブルコンピュータの開発, 第三回福祉工学シンポジウム講演会講演論文集, pp.171-172,(2003)

Fig.3 A combination of accelerations of changing postures when sleeping

Fig.4 A rate of detecting falling(S.D.±27.5)

Fig.5 A result of power spectrum analysis of natural walking

Fig.6 A result of power spectrum analysis of walking while wearing weights