

O1-1

超音波位相検出に基づくベッドにおける生体情報検出システム

A Physiological Monitoring System Based on Observing Mattress Vibration by Using Ultrasound

○ 塚本壮輔 (広島工大) 山名祐介 (広島工大) 向井幸治 (トリニティカレッジ広島医療福祉専門学校)
 槇弘倫 (広島工大) 小川英邦 (広島工大) 米澤良治 (広島工大)

Sosuke TSUKAMOTO, Yusuke YAMANA, Hiromichi MAKI, Hidekuni OGAWA, Yoshiharu YONEZAWA
 Department of Health Science, Faculty of Applied Information Science, Hiroshima Institute of Technology
 Koji MUKAI, Department of Clinical Engineering, International Trinity College

Abstract: A system for monitoring heart rate, respiration rate, and body movement during sleep is developed. The system is based on observing the bed mattress vibration produced by heart beating etc., and consists of one ultrasound transmitter and two receivers. The ultrasound transmitter and receivers are placed in a small space which formed with aluminum supports and plywood board under bed mattress. The transmitted ultrasound is reflected on the mattress' undersurface, and the phase of received ultrasound is modulated by the mattress vibration. Since each physiological parameter has different frequency range, the parameters can be extracted by a phase detector and filters. An evaluation was performed on 6 healthy male volunteers aged 21.3 ± 0.5 years, using three types of mattresses. The results showed that the physiological parameters were monitored with an 85.8 % average accuracy for all mattresses in supine, lateral, and prone postures.

Key Words: Heart Rate, Respiration, Body Movement, Bed, Ultrasound

1. はじめに

睡眠中の心拍や呼吸といった生体情報を無拘束・無侵襲に測定するシステムの開発が多くなされている。これらのシステムは画像⁽¹⁾や静電誘導⁽²⁾などによるほかはベッド本体、マットレス、シーツ等にかかる圧力とその変動の測定に基づくもの⁽³⁾⁻⁽⁵⁾が多い。圧力測定に基づくシステムは、コストが比較的安く、既存のベッドに容易に導入できるなどの利点がある一方、測定対象となる圧力変動が小さいにもかかわらず対象者の体重の一部あるいは全部が直接印加されることから、センサの耐久性ならびに精度の点で問題があると考えられる。

これまで我々は睡眠中の生体情報を測定することを目的に、センサ内蔵型ベッドマットレス⁽⁶⁾ならびに既存のベッドにも導入可能なセンサ⁽⁷⁾の開発を行ってきた。いずれも超音波の拡散と伝搬、そしてその受信強度が呼吸等によって引き起こされるマットレスの変形によって変調されることに注目したものである。しかし対象者の体重や就寝姿勢によっては心拍の検出が困難な場合があった。これを踏まえ、センサの物理的構造を見直したが⁽⁸⁾、今回さらに信号処理においても超音波の受信強度ではなく位相に着目することで、対象者の体重の影響を受けないシステムを目指して開発を行ったので、これを報告する。

2. 方法

2-1 計測原理

図1にセンサ構造を示す。マットレスのほぼ中央下部にアルミ支持棒とベニヤ板で小さな空間を構成し、その中に超音波送信子と受信子 (T40-16/R40-16, Nippon Ceramic) を配置する。対象者の頭部方向に向かって 40 kHz の超音波を放射し、マットレス底面で反射した超音波を2つの受信子で受信する。呼吸をはじめとする体動等で上半身の重心位置が変化すると、この小空間に面したマットレス底面の傾き等も変わり、結果的に超音波の伝搬経路が変化する。これによって受信超音波の位相が変化する。心臓の拍動も、呼吸と比較して高い周波数で、体表面そしてマットレスを揺らし、受信超音波の位相変化をもたらす。

図2にセンサ回路のブロック図を示す。受信した超音波信号を送出波と乗算したのち、低域通過フィルタを通過させることで、位相のズレを電圧値とする位相-電圧変換を行う。この電圧値の変動はマットレス底面の変位を反映し、また呼吸と心拍は各々周波数帯域が異なることから、これらを帯域通過フィルタで分離する。

2-2 評価実験

本システムはマットレスの振動に着目していることから、3種類の異なるマットレスを用いて評価実験を行った。マットレス全面でバネ反発度が均質なスプリングコイル型マットレス (Dream Pocket Parallel F1-P, Dreambed)、腰部・踵部等で反発度が異なる同型マットレス (Serta Posture, Dreambed)、そしてポリウレタンマットレス (MaxiFloat KE-801A, Paramount) を用いた。実験には6名の健常男性 (年齢 21.3 ± 0.5 歳, BMI 21.9 ± 2.7) が参加した。実験に先立ち、実験協力者には予め口頭によるインフォームドコ

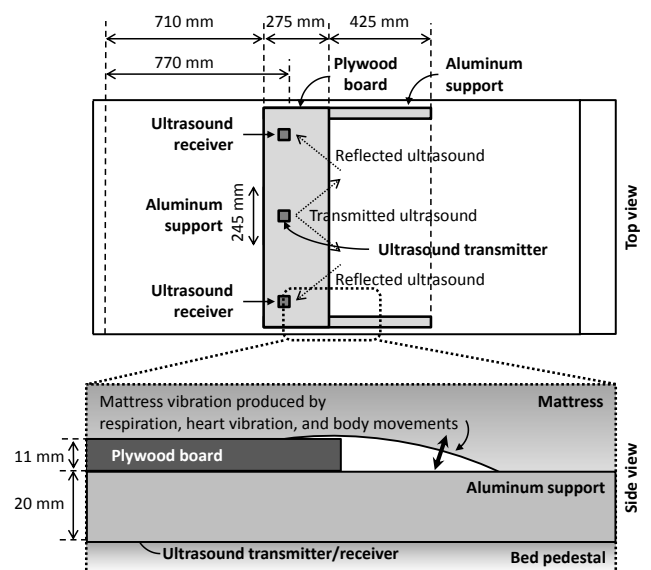


Fig. 1 Sensor structure and detection principle

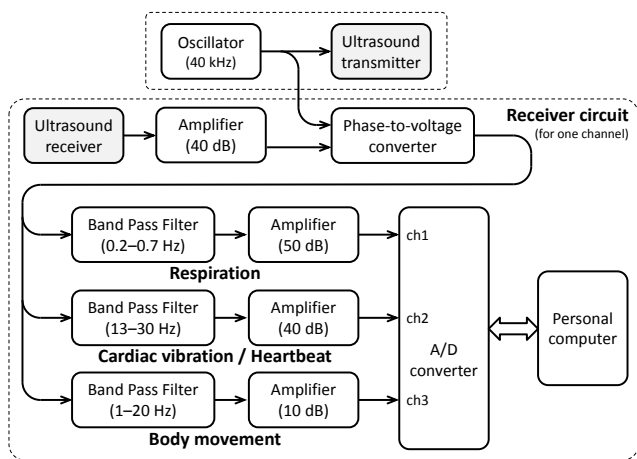


Fig. 2 Block diagram of signal processing

ンセントを得た。実験は起立姿勢から開始し、入床後直ちに仰臥位姿勢となり、続けて左右側臥位、腹臥位へと体位変換してもらった。各姿勢で90秒間安静状態（普段の就寝時と同様なリラックスした状態）をとるよう依頼した他は手足の具体的な位置の指示等は行わなかった。心拍検出率を評価するための参照として、胸部に心音センサ（TA-701T, Nihon Koden）をベルトを用いて装着してもらった。

3. 結果および考察

図3に右側臥位の際に取得された信号の一例を示す。呼吸と同期して、特に左側センサ（対象者が仰臥位姿勢のときに対象者左手方向に設置されているセンサ）の信号強度が変化している。これは以下のように考えられる：右側臥位になることで対象者の体は右手方向に片寄るが、仰臥位や腹臥位と比較して側臥位は体の安定性が低下するため、呼吸に応じて体の傾きが変化しやすい。左側センサ付近のマットレスにはさほど体重がかかっていないため、この変化の影響が大きく現れたものと推測される。

表1に左側センサにおける心拍検出率を示す。本研究においては心拍自動検出アルゴリズムは未構築であることからこれを目視にて行った。また統計処理は、受信信号が安定する、体位変換後30秒経過した60秒分のデータについて行った。右側臥位で検出率が低いことは、先に述べた呼吸の影響によるものでもあるが、同一の体位でもマットレス、さらには被験者間で検出率のばらつきが大きい。対象者の体重と検出率との間に有意な関係はみられなかったことから、対象者の体重とマットレスの種類とは無関係に検出率が変化していることになる。この結果について、今後より詳細な検討が必要である。

4. まとめ

ベッドマットレス下・ベッド基底部上に小さな空間を構成し、ここに送出した超音波を受信したときの位相変化を観測することで、心拍等の生体情報を検出するシステムの開発を行った。位相検出に基づいても心拍等の生体情報の検出が可能であることが示唆された。今後、心拍検出率を向上させる方法について検討を行うと同時に、心拍を自動検出するアルゴリズムについても開発を行う予定である。

参考文献

(1) K. Nakajima et al., "Detection of physiological parameters without any physical constraints in bed using sequential image processing," Jap. J. Appl. Physics., vol. 35, pp. 269-272, 1996.

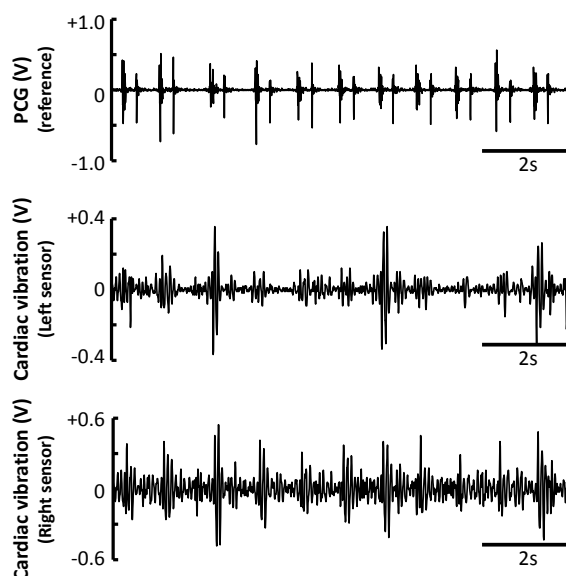


Fig. 3. Typical example of obtained signals (right side lateral positioning)

Table 1 Heartbeat detection rate and the false positive rate (indicated in the parenthesis) of each mattress and posture

Mattress type	Supine	Left lateral	Right lateral	Prone	Average
Sirpingcoil F1-P	86.6% (7.8%)	79.5% (19.7%)	70.2% (28.9%)	99.7% (0.5%)	84.0% (14.2%)
Springcoil Serta	84.2% (11.7%)	93.2% (7.7%)	70.5% (28.9%)	79.1% (31.4%)	81.8% (19.9%)
Poly-urethane	99.3% (0.6%)	89.3% (14.7%)	76.5% (17.3%)	100% (0.2%)	91.3% (8.2%)
Average	90.0% (6.7%)	87.3% (14.1%)	72.4% (25.0%)	93.0% (10.7%)	85.8% (13.9%)

- (2) A. Hart et al., "A contact-free respiration monitor for smart bed and ambulatory monitoring applications," Proc. of the 32nd Annu. Int. Conf. of the IEEE EMBS (EMBC2010), pp. 927-930, 2010.
- (3) J. H. Shin, Y. J. Chee, D. U. Jeong, and K. S. Park, "Nonconstraint sleep monitoring system and algorithms using air-mattress with balancing tube method," IEEE Trans. Inf. Tech. in Biomed., vol. 14, no. 1, pp. 147-156, 2010.
- (4) 中島一樹ほか, 枕型呼吸モニタの開発, ライフサポート, vol. 13, no.1, pp. 2-7, 2001.
- (5) S. Nukaya et al., "Noninvasive bed sensing of human biosignals via piezoceramic devices sandwiched between the floor and bed," IEEE Sensors Journal, to be published.
- (6) K. Mukai et al., "A remote monitor of bed patient cardiac vibration, respiration and movement," Proc. of the 31st Annu. Int. Conf. of the IEEE EMBS (EMBC2009), pp. 5191-5194, 2009.
- (7) K. Mukai et al., "Physiological and care monitoring of anti-decubitus mattress patients", Proc. of 47th Annu. Rocky Mountain Bioeng. Symp. & 47th Int. ISA Biomed. Sci. Inst. Symp. 2010, pp.68-73, 2010.
- (8) Y. Yamana et al., "A Sensor for Monitoring Pulse Rate, Respiration Rhythm, and Body Movement in Bed", Proc. of 33rd Annu. Int. Conf. of the IEEE EMBS (EMBC2011), pp.5323-5326, 2011.