

Passive RFID を用いた睡眠時呼吸モニタリングシステムの提案

納谷 かごめ[†], Xiaoxuan Hu[‡], Peng Li[†], Kun Wang[‡], 宮崎 敏明[†][†]会津大学 [‡]南京理工大学

1 はじめに

睡眠時無呼吸症候群などに代表される睡眠障害の診断には、睡眠時の呼吸をモニタリングすることが求められる。しかし、現在実用化されている睡眠時呼吸モニタリング機器は、取扱いが煩雑で、しかも専用機材を被験者に装着する必要がある、被験者に負担を強いるものとなっている[1]。本稿では、Passive RFID タグ(以下、単に RFID タグまたはタグ)[2]を寝具に装着することで、呼吸モニタリングを可能にするシステムを提案する。電波を用いて呼吸数の推定を行う手法は幾つか報告されている[3][4]。文献[3]では、Wi-Fi を用いて、呼吸をモニタリングする手法を提案している。当該手法は、Wi-Fi 電波の反射波を用いているため、実装が容易であるが、周囲環境に推定精度が依存する。Hou 等[4]は、3枚の RFID タグを、被験者の胸、みぞおち、下腹部に貼り、各タグから受けた電波の位相情報を解析して呼吸数を推定している。被験者の姿勢によらず、安定して呼吸数が推定できるが、タグ自体を人体に貼り付ける必要があり、筆者等が目指す非接触による呼吸数推定法とは言いがたい。

2 提案システム

2.1. システム概要

図1に提案システムの概要を示す。複数の RFID タグ (Alian 社 ALN-9770 920MHz 帯)をブランケットに装着する。また、RFID リーダ (IMPINJ 社 Speedway Revolution R420)に接続された複数のアンテナ (Yeon Technologies 社 YAP-101CP)を、ベッドサイドに設置する。ブランケットに装着したタグの ID は、電波受信強度 (RSSI) 値と位相値とともに、アンテナを介して RFID リーダで定期的に読み取られ、それら情報はリーダーに接続された PC に蓄積される。RSSI 値と位相値は、タグとアンテナの相対位置により変化する。被験者の呼吸や寝返りなどによりブランケットに装着されたタグは移動し、その移動度合を RSSI 値と位相値の変化として観測できる。

2.2. アンテナおよびタグの配置

睡眠中の呼吸の継続的なモニタリングを安定して行うためには、複数のアンテナおよびタグをどのように配置するかが鍵となる。

(1) 2つのアンテナの設置

アンテナは、被験者の頭上(アンテナ 1)と左側(アンテナ 2)に、ベッドから約 50cm の距離に各 1 台設置した。これにより、ブランケットに装着した各タグからの電波が、どちらかのアンテナで受信できれば情報が取得できることになる。

(2) 複数のタグの使用

予備実験により、就寝時の体位により、呼吸によって、よく変位する身体の部位が異なることがわかっ

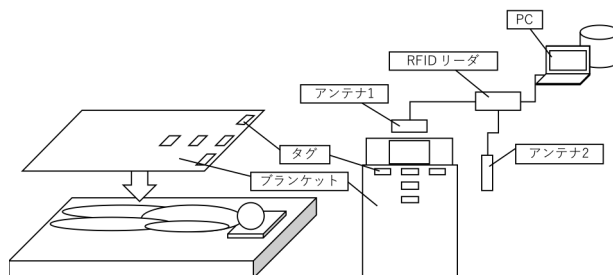


図1. 提案システム

た。そこで、それらを網羅するように、上半身、特に腹部または背中に対応する位置に3枚、両肩に相当する部分に各1枚、計5枚のタグをT字に配置した(図1参照)。

2.3. 呼吸数推定法

呼吸数の推定は以下の手順で行う。

(1) 入力データの取得

2つのアンテナを用いて5枚のタグから取得したRSSI値と位相値を入力データとする。

(2) 位相値データの外れ値修正

RSSI値には外れ値が現れず、後ほど行うフィルタリングに影響がない。一方、位相値データには図2(a)のような外れ値が現れたため、前処理として、外れ値の修正を行う。具体的には、位相値データを p として、 $2 < |p(i-1) - p(i)| < 4$ (radian) のとき、3ラジアン足すまたは引く。

また、 $4 < |p(i-1) - p(i)|$ (radian) のとき、6ラジアンを足す、または引く。図2に、外れ値修正前後の波形の一例を示す。

(3) 呼吸波形の選別

位相値波形には、①寝返りなど、身体の大きな動きに影響を受けた波形 ②体勢やその時々によるタグの位置により呼吸の影響を受けない波形 ③呼吸の影響を受けた波形の3つがある。①、②の波形からは呼

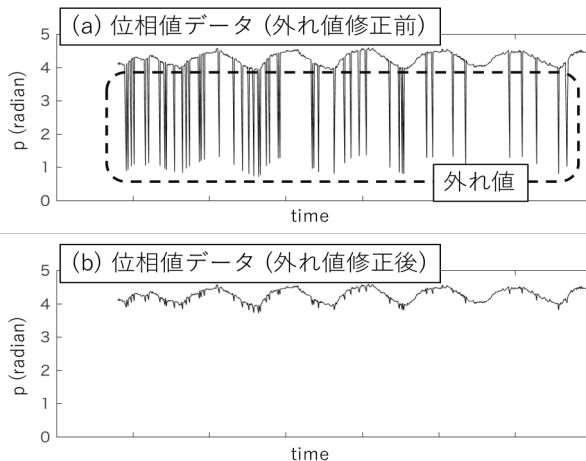


図2 外れ値の修正前後の位相値データの一例

An Approach to Bedtime Breath Monitoring Using Passive RFIDs
Kagome Naya[†], Xiaoxuan Hu[‡], Peng Li[†], Kun Wang[‡], and Toshiaki Miyazaki[†]

[†]The University of Aizu, Japan

[‡]Nanjing University of Posts and Telecommunications, China

吸情報を取り出すことができないので、③の波形のみを呼吸数の推定に用いる。呼吸波形であれば周期性が見られることから各データに周波数解析を施し選別を行った。データは一律にサンプリングされていないため Lomb-Scargle 法を用いてパワースペクトルを計算する。結果が $[ps, f]$ (ps : パワースペクトル, f : 周波数) に格納されるとき、

$$Max(ps) - 2ndMax(ps) > 0.0001 \quad (5 < f < 15)$$

となるものを、呼吸情報を含む波形として呼吸数の推定に用いることとする。

(4) 波形の合成

呼吸周期を、より明確に捉えるために、行程(3)で周期的なデータが内在するとして選別した位相値データ、RSSI 値データを、アンテナ 1, 2 ごとに、時間軸上で足し合わせ、合成波形を得る。

(5) ノイズ除去

行程(4)で得た各合成波形にカットオフ周波数 10Hz の IIR ローパスフィルタを適用し、呼吸とは関係のない高周波ノイズの除去を行う。

(6) 呼吸数の推定

ノイズ除去したアンテナ 1 および 2 から得た位相値合成波形および RSSI 値合成波形、計 4 波形の 1 分間のピーク数(局所最大値と局所最小値)をカウントし、それらの平均を 1 分あたりの平均呼吸数として推定する。

以上が、本稿で用いた呼吸数推定法である。図 3 に、上述した各行程を経て得られる位相値合成波形および RSSI 値合成波形の一例を示す。

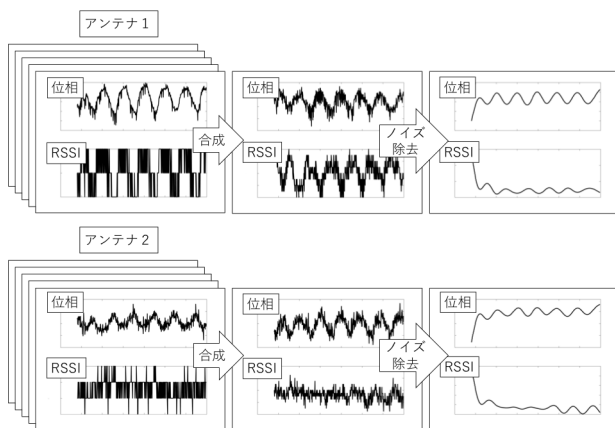


図3. 呼吸数推定の各行程での波形の一例

3 評価

評価実験では、睡眠中に考えられる 4 つの体勢(仰向け、左向き、うつ伏せ、右向き)において、提案システムを用いた呼吸数推定値と実際の呼吸数の誤差を見る。実験環境は 2.1 章で述べた通りである。4 つの姿勢(仰向け、左向き、うつ伏せ、右向き)をそれぞれ 10 回ずつ、合計 80 データを測定した。睡眠中は覚醒時よりも呼吸数が少なくなることから、メトロノームに合わせて 0.1Hz (6 回/分) で深呼吸をした。表 1 に 1 分間の呼吸数の平均推定結果を、体勢ごとに示す。体格による影響を確認するために、同一条件で二人の被験者に対して実験した。被験者 1 は痩せ型、被験者 2 は中肉中背である。表 1 より、被験者の体型によらず、提案システムは安定して呼吸数を

推定できており、その推定誤差は、一分間あたり 0.5 回以内に収まっている。

4 おわりに

アンテナをベッドサイドに、RFID タグをブランケットに装着することによって被験者に直接機器類を装着することなく、当該 RFID タグから取得した電波の位相値、RSSI 値を用いて、ベッド上の被験者の呼吸数を推定するシステムを提案した。実験により、提案システムは、被験者の体型や睡眠中の体勢に影響されず、呼吸数を安定して推定できることがわかった。今後は、呼吸数を逐次推定する手法を開発し、体勢が自由に変化しても睡眠時の呼吸数が連続的かつ高精度で推定できるようにする予定である。

表 1. 1分間の平均推定呼吸数

被験者 1				
仰向け	左向き	うつ伏せ	右向き	全体
6.2	6.2	6.1	6.0	6.1
被験者 2				
仰向け	左向き	うつ伏せ	右向き	全体
6.2	6.0	6.5	6.2	6.2

謝辞

本研究の一部は、戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE No. 162302008) により実施した。

参考文献

[1] M. Saletu, P. Anderer, G. Saletu-Zyhlarz, W. Prause, B. Semler, A. Zogh-lami, G. Gruber, C. Hauer, and B. Saletu, "Restless legs syndrome (rls) and periodic limb movement disorder (plmd): acute placebo-controlled sleep laboratory studies with clonazepam," *European Neuropsychopharmacology*, vol. 11, no. 2, pp. 153-161, 2001.

[2] F. Adib, H. Mao, Z. Kabelac, D. Katabi, and R. C. Miller, "Smart homes that monitor breathing and heart rate," *The 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 837-846, 2015.

[3] F. Adib, H. Mao, Z. Kabelac, D. Katabi, R. Miller, "Smart Homes that Monitor Breathing and Heart Rate," *The 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'15)*, pp.837-846, Apr. 2015.

[4] Y. Hou, Y. Wang, Y. Zheng, "TagBreathe: Monitor Breathing with Commodity RFID Systems", *IEEE 37th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, pp. 404-413, Jul. 2017.