

## Wi-Fi 電波を用いた呼吸等のバイタル情報測定と姿勢変化認識

Cui HaoChen† 湯素華‡ 小花貞夫‡

電気通信大学 情報理工学部† / 大学院情報理工学研究科‡

## 1.はじめに

高齢化社会の到来により、介護・看護業界では人手不足が深刻な問題となっている[1]。呼吸数や脈拍数等のバイタル情報のモニタリング作業の省力化のため、従来患者の胸部に直接電極を貼付けたり、口や鼻に温度センサを取付けて呼吸運動を監視する等の方法がとられてきた[2]。しかし、このような接触式あるいは配線が必要なセンサは患者に不快感を与え、また姿勢変化によるセンサの剥離、介護作業の妨げになるといった問題から、近年、非接触型センサによるバイタル情報測定方式や動作認識方式が研究されている[3][4][5]。しかしこれまでに検討された方法では、多くの装置を使用し設置が複雑であったり、また、呼吸数や脈拍数等の基本的なバイタル情報の測定や人の動作の認識を別々な手法で行っているため、乳幼児のうつ伏せ状態による呼吸困難や患者自らの動作による状態の把握(起床や転倒など)に対応するための姿勢変化認識までは行っていない。

そこで筆者らは、無線電波の変動により検出されるバイタル情報や姿勢変化などを用いて老人介護や乳幼児監視等を支援するシステムの実現を目指し、今回 Wi-Fi 電波を用いて安静時の呼吸数測定ならびに姿勢変化を認識を行う方法を検討し、予備実験を行ったので報告する。

## 2.電波を利用する従来方式

Wi-Fi 等の電波を利用する主なものを以下に述べる。

## ● BreathTaking[3]

Wi-Fi 電波が測定対象者を横切るように電波の送受信機を 10 数組設置し、RSSI(総受信信号強度)を分析して、呼吸数を推測する。電波のマルチパス波(反射波、回折波など)の影響により RSSI が不安定で、測定精度が低い。

## ● 電波の CFR を用いる呼吸数計測[4]

Wi-Fi 電波が測定対象者を横切るように 1 組の送受信機を設置し、後述する CFR(チャネル周波数応答)を分析して呼吸数を推測する。マルチパス波の影響を受けにくく測定精度の向上が期待できる。

## ● FreeSense[5]

Wi-Fi 電波が測定対象者を横切るように 1 組の送受信機を設置し、人の動作が電波に与える影響を PCA(主成分分析)などの手法で分析し認識する。しかし動作の認識にしか着目してないため、バイタル情報の測定はできない。

上記の[3]ではセンサを多数設置する必要があるため、専門家でない人には扱えない。また、[3][4]ではいずれも動作認識までは行っていない。[5]は動作認識のみに着目し、バイタル情報の測定には対応していない。

## 3.電波の CFR の概要

現在の無線 LAN の変調方式の主流は OFDM(直交周波数分割多重)であり、多数の搬送波(サブキャリア)を使ってデータが伝送される。OFDM の信号から得られる CFR は、電波受信時における各瞬間のサブキャリア毎の信号強度、つまり周波数毎の信号の強さ(周波数スペクトラム)を表す。周波数が異なるサブキャリアを使うことで、一回の測定につき、サブキャリアの数分の信号強度データを測定できる。

## 4.検討方式

1 組の Wi-Fi 電波送受信機を用いて、安静状態(睡眠中など)の対象者の呼吸数の測定と、姿勢変化(寝返りなど)識別を行う。以下にそれぞれの手順を述べる。

## ● 呼吸数の測定

測定期間中の電波受信時の CFR を収集し、ローパスフィルタにより、呼吸の影響でない値を除去する。CFR の変化を呼吸時の胸部の起伏とみなし、その起伏を一つの呼吸サイクル(胸部の伸縮)とする。複数サブキャリアに対し、以上の処理を行い、呼吸サイクルの平均数と測定期間から、呼吸数を計算する。

## ● 姿勢変化の認識

姿勢変化時の CFR を仰向けで寝ている時と比較し、その変化から人の動きによる変化を読み取り、機械学習を用いて特定の動作を識別する。呼吸と姿勢を両方監視することにより、被介護者や乳幼児の見守りを支援できる。

## 5.予備実験

## 5.1. CFR による呼吸数の推定

予備実験は Wi-Fi 電波が測定対象者を横切るように 1 ペアの送受信機を設置し、外部(被験者以外)から電波への影響を抑えられる環境で行い、Linux 802.11n CSI Tool[6]を用いて、CFR を測定した。測定期間中に空の UDP パケットを一定間隔で送受信し、被験者の安静時(仰向けに寝ている状態)の CFR から呼吸数を推定し、実際の呼吸数と比較した。実験条件を表 1 に、安静時の波形(周波数 2.38GHz のサブキャリア)を図 1 に示す。

表 1 実験条件

WLAN カード	Intel Wi-Fi Link 5300
OS	Ubuntu 14.04
通信方式	802.11n
周波数	2.4GHz
帯域幅	20MHz
電波送受信機間距離	1.6 m
パケット送信速度	20 パケット/秒

A Study on Estimation of Vital Signs such as Breathing Rate and Recognition of Postural Change by Using Wi-Fi Signal Haochen Cui†, Suhua Tang‡, Sadao Obana‡

†Faculty of Informatics and Engineering / ‡Graduate School of Informatics and Engineering, the University of Electro-Communications

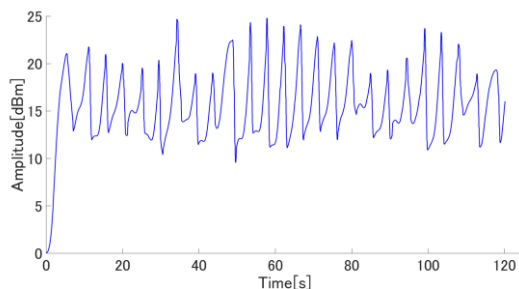


図1 安静時の波形

被験者の胸部の動き以外に電波に影響を与える要素がない環境で、電波の振幅の起伏の回数と実際の呼吸数との比較を5人分計20回繰り返した結果から求めたエラー率のCDF(累積分布関数)を図2に示す。

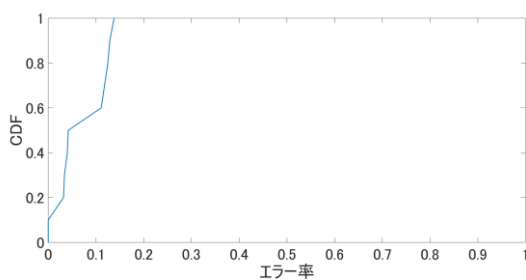


図2 呼吸数測定のエラー率の累積分布

呼吸数を、平均90.2%精度で推定でき、最大エラーが86%以下であることを確認した。電波の起伏は呼吸と強い相関があり、振幅と時間の波形の起伏を呼吸と対応付けられると考えられる。

### 5.2. うつ伏せ時の姿勢変化認識

同じ実験条件・実験環境でうつ伏せ状態のCFR(周波数2.41GHzのサブキャリア)を測定した結果を図3に示す。安静時の波形と比較して、姿勢変化後に電波の振幅に大きな差が生じている。うつ伏せの姿勢では、胸の動きの電波への影響が抑えられ、振幅が通常時より小さくなっている。

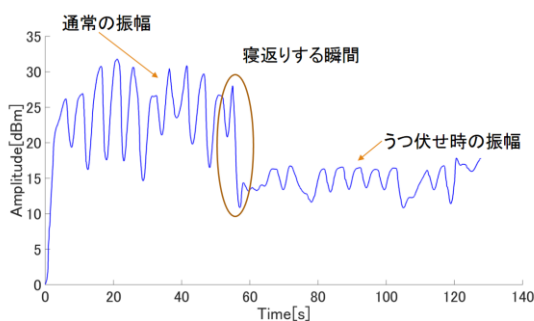


図3 うつ伏せ時の波形

うつ伏せの姿勢の測定実験を5回行い、ピークの振幅の大きさと一つ前のピークの振幅との差を特徴量として、SVM(サポートベクターマシン)を用いて機械学習させた(図4)。

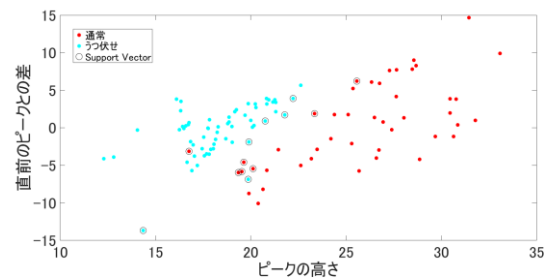


図4 安静時の仰向けとうつ伏せの識別

通常時とうつ伏せ時の2つの状態がはっきり分かれていることから、機械学習で2つの姿勢を識別することは可能であることを確認した。

### 5.3. 考察

CFRの変化から、呼吸数だけではなく姿勢変化による影響の検知と機械学習による姿勢変化認識ができることがわかった。また5.2より、複数のサブキャリアから得られるCFRに対し、適切な特徴量を選択することにより、その他の姿勢も認識可能と考えられる。安静時と動作時の波形を解析して、バイタル情報の測定及び姿勢変化の認識が可能となれば、老人の介護や乳幼児の監視への支援が期待できる。

### 6. おわりに

CFRを用いて呼吸数の測定ならびに姿勢変化の認識を行う手法を検討し、予備実験によりその可能性を確認した。今後、うつ伏せ状態の認識率を検証するとともに、他の姿勢変化の検出方法の検討及び多くの被験者による検証を行う。

### 参考文献

- [1] 福祉新聞, 2015年03月23日  
<http://www.fukushishimbun.co.jp/topics/8527>
- [2] C. A. Kushida, M. R. Littner, T. Morgenthaler, C. A. Alessi, D. Bailey, J. Coleman Jr, L. Friedman, M. Hirshkowitz, S. Kapen, M. Kramer, "Practice parameters for the indications for polysomnography and related procedures: an update for 2005," *Sleep*, vol. 28, no. 4, pp. 499-521, 2005.
- [3] N. Patwari, L. Brewer, Q. Tate, O. Kaltiokallio, and M. Bocca, "Breathfinding: A wireless network that monitors and locates breathing in a home," *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 8, no. 1, pp. 30-42, 2014.
- [4] Jian Liu, Yan Wang, Yingying Chen, Jie Yang, Xu Chen, and Jerry Cheng "Tracking vital signs during sleep leveraging off-the-shelf WiFi," *MobiHoc'15*, June 2015.
- [5] Tong Xin, Bin Guo, Zhu Wang, Mingyang Li, and Zhiwen Yu, "FreeSense: Indoor human identification with WiFi signals," <https://arxiv.org/abs/1608.03430>
- [6] Linux 802.11n CSI Tool  
<http://dhalperi.github.io/linux-80211n-csitol/>