

レーダを用いた呼吸検出アルゴリズムの検討

平澤 一浩* (CAE ソリューションズ)、 荒井 郁男 (荒井電波研究所)

Algorithms for detecting the breathing using radar

Kazuhiro Hirasawa*(CAE Solutions), Ikuo Arai, (Arai Radio Lab)

We are developing algorithms to detect respiratory waveform data received from the radar non-contact sensors. The subjects were lying or body itself has almost assumed a static. We investigated the changes in attitudes and subjects of the received waveform. Based on the survey, examined the algorithm to detect breathing.

キーワード：呼吸検出, レーダ
(breathing detection, Radar)

1. はじめに

最近では、生存者探査装置のようにレーダを用いて、人体の微小な動きをとらえ人の存在の検知をするシステムの開発以外に大きな動き自体も認識し検知を行うなど、さまざまなレーダの利用を用いた人の検知システムの開発も進められている。しかし、まだ多くのシステムにおいて、検知は、装置の操作者による識別に頼っている。これは、呼吸の検出だけを対象としても、距離により大きさが異なる上、人の向きにより反射される波形の形状が異なるなど特徴をとらえにくいためである。

一方で、生存者探査装置のように対象を限定したシステムでない限り、人が動いている場合の検知、呼吸のみの検知、さらには心拍の検知などシステムの対象とする現象が多岐にわたることとなる。そこで、筆者らは、一つのシステムで呼吸の検出および体のうごきなどをとらえるための検出アルゴリズムを検討した。

信号を処理することで、呼吸の検知や体の動きにより人の存在の検知を行う。図 1 において、 R はターゲットまでの距離、 e_t は送信波を表し、 e_r は受信波を表す。また、 E_1, E_2 は検出器の出力信号を表す。

3. 呼吸検出の原理

ここでは、図 1 のシステムにより得られた受信信号 E_1 および E_2 から生存者の情報を検出する原理を説明する。

e_t, e_r は次式で表される。

$$e_t = \cos \omega t \dots\dots\dots(1)$$

$$e_r = A \cos \omega(t - \tau) \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 $\omega = 2\pi f, \tau = 2R/c, c = \text{velocity}$ である。

一方、検出装置からの出力 E_1 と E_2 の信号は、次のように表すことができる。

$$E_1 = A \cos \omega \tau = A \cos 2\beta R \dots\dots\dots(3)$$

$$E_2 = A \sin \omega \tau = A \sin 2\beta R \dots\dots\dots(4)$$

ここで $\beta = 2\pi/\lambda, \lambda = c/f$ である。ターゲットとの距離が一定であれば、(3)(4)式より図 3 のような円となる。

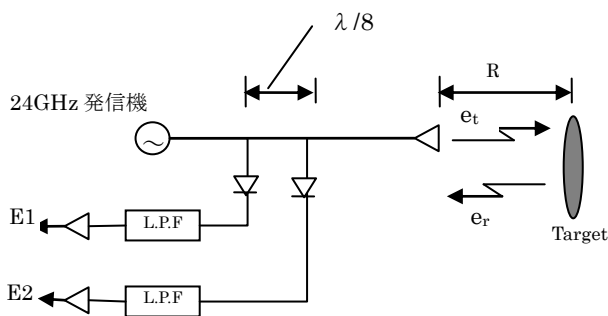


図 1 検出器構成
Fig.1 System configuration

2. 呼吸検出装置の概要

用いる呼吸検出装置は、電波を送信し、その受信波から呼吸の情報や体の動きを抽出するシステムである。図 1 に呼吸検出装置の仕組みを示す。受信アンテナより得られた

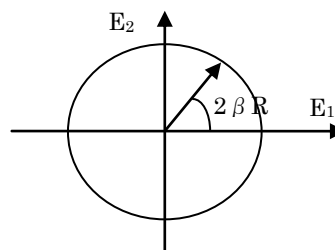


図 2 検出器の出力信号
Fig. 2 Detector Output Signal

とらえる特徴を呼吸とした場合、呼吸の動きはわずかであり、その変動 $m(t)$ は周期的であるという特徴がある。これは、検出装置の出力信号 E_1 、 E_2 は、図 2 の円周上のすべてを移動するのではなく、ある幅を持って一定の変動することを意味する。そこで、出力信号 E_1 、 E_2 から変動分、すなわち交流成分を抽出することとした。出力信号 E_1 と E_2 はおよそ次の式で書き換えることができる。

$$E_1 \approx \cos 2\beta R_0 - 2\beta m(t) \sin 2\beta R_0 \dots\dots\dots (5)$$

$$E_2 \approx \sin 2\beta R_0 + 2\beta m(t) \cos 2\beta R_0 \dots\dots\dots (6)$$

上式の第 1 項は平均的なターゲットの位置を表す直流成分であり、第 2 項はその位置からの変動を表す交流成分である。検出アルゴリズムでは、第 2 項の成分を扱う。なお、(5)式および(6)式の第 2 項をそれぞれ \tilde{E}_1 、 \tilde{E}_2 とする。

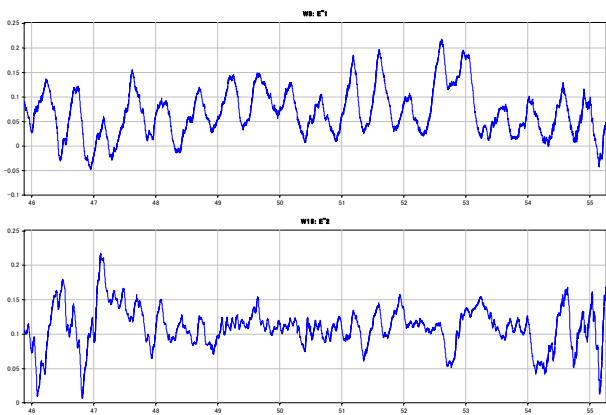


図 3 出力信号 \tilde{E}_1 、 \tilde{E}_2 の例

Fig. 3 Example Output Signal

4. 受信波形の分析

検出器の波形の分析を行った。取得波形の例を示す。図 4 は呼吸を検出している波形である。そのスペクトルを図 5 に示す。呼吸を検出している状態は、0.5Hz 以下の周波数にパワーが存在していることがわかる。対象者が手を動かした状態の波形は、図 6 になっている。このときの波形はどのようなになっている。この波形のスペクトルを図 7 に示す。

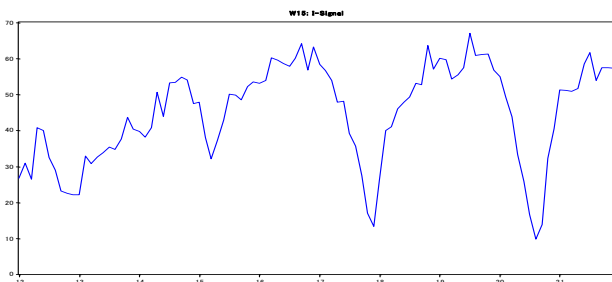


図 4 呼吸波形の例

Fig. 4 Example Breath Wave

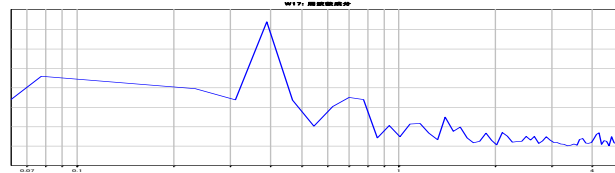


図 5 周波数成分

Fig. 5 Frequency Component of Fig. 4

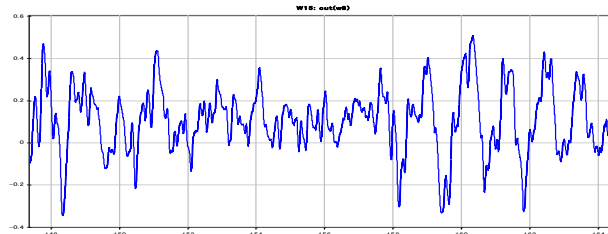


図 6 手を動かした場合

Fig. 6 Example Output Signal

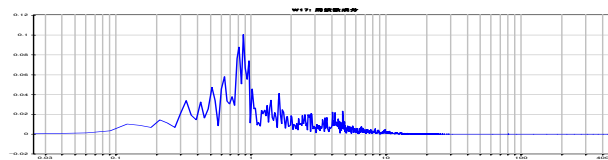


図 7 周波数成分

Fig. 7 Frequency Component of Fig. 6

いくつかの実験と既知の情報から呼吸の周波数は、0.1Hz から 0.5Hz 以下にみられ、微小な体の動きは、10Hz 以下に現れることが分かった。しかし、呼吸と同じ周波数帯にパワーが存在したとしても、呼吸以外でも同じ周波数帯にパワーが存在する可能性がある。呼吸は、その動きが十分に小さいため、対応する周波数帯に現れるパワーも小さい。そこで、パワーの閾値も合わせて用いることで、判断することとした。一方で、微小な体の動きは、十分にパワーを持つことから、下限の閾値を設定し、判断することとした。

しかし、呼吸の閾値は対象とする人物の姿勢がアンテナに対して斜めに向いているなどの状況で異なることが分かっている。

5. おわりに

受信した波形から呼吸の特徴成分を抽出するアルゴリズムを検討した。また、対象者の状況に合わせて、呼吸・体の動きの識別を可能とするアルゴリズムの検討を行った。今後は、実用化のために閾値の設定を含めた環境への自動的な対応手法の検討を進める。また、受信波形から心拍の成分の抽出を精度よく行えるアルゴリズムの検討を進める。

文 献

- (1) Ikuo Arai: "Survivor Search Radar System for Persons Trapped under Earthquake Rubble", APMC2001, 2001 Asia-Pacific Microwave Conference, pp.663-668 (Dec.2001)"