

論文内容の要旨

センサ・ターゲット間相対位置姿勢関係を考慮した マイクロ波ドップラセンサによる呼吸計測に関する研究

氏名 久保 肇

近年、高齢化や独居老人宅の増加等の社会的背景から事故や孤独死の発見のために居住者を自動で見守る知的な生活空間が期待され、様々なシステムが提案されている。生活者を自動で見守るためのセンサの要求として生活を妨げないということが挙げられる。マイクロ波ドップラセンサは非接触で人の動きを計測可能であり、この要求を満たすセンサである。さらにマイクロ波ドップラセンサは動きだけでなく静止中は呼吸も計測することが可能であり、生活者の見守りに置いて有用な情報を取得できると期待できる。マイクロ波ドップラセンサは非接触で計測を行うため、生活者の計測においてはセンサとターゲットの間の相対位置姿勢は常に変化しうる。さらに、呼吸信号はターゲットの静止中にしか計測されないため人の移動中と静止中では計測される信号の意味が変わってくる。しかしながら、従来のマイクロ波ドップラセンサを用いた呼吸や脈拍計測などの人体表面の微小変動の計測の研究においてはセンサとターゲットの位置関係は固定として扱われることがほとんどであり、生活で生じうる計測条件の変化については考慮されてこなかった。そこで本論文ではまず、センサとターゲットの間の位置姿勢関係の条件がマイクロ波ドップラセンサの出力信号やその信号からの情報の推定にどのように影響するのかをモデルを構築することで明確にした。続いて、人が位置姿勢を変えうる状況での呼吸波形計測と呼吸信号検出の手法を提案した。さらに、位置姿勢条件を入力として呼吸信号計測の可否を出力とするような関数を構築した。

各章の概要を以下に示す。

第1章 緒論

高齢化、独居老人宅増加といった社会的背景から日常生活において生活者を自動で見守

るシステムへの関心が高まっている。このようなシステムで用いるセンサは人の行動を妨げない必要がある。マイクロ波ドップラセンサは非接触で呼吸脈拍計測が可能でありこの要求を満たす。

マイクロ波ドップラセンサを用いた呼吸・脈拍等の体表面微小振動計測にはすでに数十年の研究の歴史があり、ライフル、アーチェリー競技のパフォーマンス分析や災害現場での生存者の探索、やけど、新生児などの接触出来ない状況下での計測などのアプリケーションが提案されている。

しかしながらマイクロ波ドップラセンサは生活の見守りには導入されていない。これには従来研究ではセンサ・ターゲットの相対位置姿勢関係は固定されているとし、位置姿勢関係条件による計測状況の変化を考慮してこなかったという点に一因がある。生活環境下では人は様々に位置姿勢を変化させるので、位置姿勢条件と計測の関係を明らかにしなければシステムの信頼性を見積もることができない。

そこで本研究では連続量である位置・姿勢と呼吸の非接触計測との数値的關係を明らかにするという未開の領域を扱う。さらに人が移動する場合、呼吸信号のみが常に観測されているわけではない。また呼吸信号の現れ方も位置姿勢によって変化する。このような状況でマイクロ波の出力信号から呼吸信号が観測されている領域を自動的に見つけることはまだ十分な議論がなされていない課題である。本研究ではこの呼吸信号の検出について新しい手法を紹介する。

第2章 計測モデルと実験機器

本章では本論文の議論を進める上で前提となる仮定と条件について説明する。

まずマイクロ波ドップラセンサによる計測に関連するモデルを図1のように構築する。マイクロ波ドップラセンサは位相が ϕ_{0diff} 離れた2信号を出力する。出力は位相変化がセンサ・ターゲット間の距離変化に比例する信号にノイズと直流オフセットを加えたものとなる。このマイクロ波ドップラセンサの出力信号に影響する条件となるパラメータは図2に示す相対位置姿勢の他、呼吸の周期、2信号の初期位相差、直流オフセット変動の分散、ノイズの分散であるとした。

続いて、本論文の実験で使用したハードウェアについて説明した。

最後に実際に使用するハードウェアや実験環境において先に挙げた条件パラメータの値がいくつになるのか計測する方法について説明した。

第3章 出力の位相変化からの呼吸波形推定

マイクロ波ドップラセンサの2出力を図3のように2次元にプロットすると、オフセット周りに回転する軌道を描く。この回転の角度が信号の位相であり、センサ・ターゲット間の距離変化に比例する。本章ではまずこの位相変化の推定手法を5通り提案する。そのうち4つはオフセットの値を推定しオフセットから出力へのベクトルの回転角を計算する

ものである。手法の違いはオフセット推定法にあり、平均、線形最小二乗、ラスタ画像へ変換してから Hough 変換、パーティクルフィルタの 4 通りを挙げた。残りの 1 つはオフセットを推定せずに出力の差分ベクトルの回転角を計算するものである。

以上の 5 手法をシミュレーションと実験にて比較、評価した。シミュレーションでは計測条件のパラメータを変化させ、各条件の計測への影響を調べた。実計測では 8 方向からの呼吸計測を行い手法間の性能比較を行った。計算量と精度を考慮すると呼吸による体表面変動計測においては線形最小二乗による推定が適当であるという結論に達した。

第 4 章 移動・呼吸信号の検出

「移動信号」、「呼吸信号」を検出する手法について説明する。マイクロ波ドップラセンサはターゲットのあらゆる動きについて信号を出力する。また、呼吸信号はターゲットが静止している状態でなければ他の信号に掻き消されて計測できない。このような条件で実際の生活者を見守る状況を考えてときに呼吸信号を計測するのであれば、現在得られている信号が呼吸によるものであるか否かを判定することは重要である。

本論文では主に呼吸信号を検出するために信号強度、周波数領域エントロピー、ヒストグラムの 3 つの特徴を用いた。これらの特徴量を入力として 2 クラス分類を行うことで「移動」、「静止して呼吸」、「静止して息止め」の 3 状態の検出を行う。

以上の検出器の性能を実計測データによって評価した。呼吸検出においては本研究で提案した特徴量を用いることによって従来の呼吸検出に用いられてきた 1Hz 以下の信号強度に比べて大幅な性能の向上がみられることを示した (図 4)。さらに、評価においてはトレーニングデータにテストデータの被験者のデータを含む場合と含まない場合で評価を行った結果、どちらも近い性能が得られることがわかった。これは識別関数のパラメータへの個人差の影響が少なく、使用時には工場等で事前に設定できることを意味する。

第 5 章 人位置姿勢からの呼吸信号計測可否の判定

センサ・ターゲット間の相対位置姿勢から呼吸信号計測の可否を判定する。ここでは相対位置姿勢パラメータを入力として呼吸信号計測の可否を出力とするような関数をデータから構築した。

被験者は位置姿勢を変えながら椅子に座って安静に呼吸した。このときにマイクロ波ドップラセンサでの計測と同時に光学式モーションキャプチャでセンサとターゲットの位置姿勢条件を計測した。各位置姿勢で得られたマイクロ波ドップラセンサの出力信号から呼吸計測の可否を判定し、位置姿勢と呼吸計測の可否からなるデータセットを用意した。

以上のデータセットから位置姿勢を入力とし、計測の可否を判定する関数を **Support Vector Machine** を用いて実現した。得られた関数を用いて図 5 のように識別面を描画することで計測可否の条件について考察を行った。計測可否は微妙な条件で変化するため可否の 2 値だけではなく計測可能性による評価も必要である。計測可能性を出力する関数は

Relevance Vector Machine を用いて構築した。

第6章 結論

本研究で得られた成果・知見についてまとめた。さらに本研究を生活環境でのより安定した計測へ結び付けるための将来課題を提案した。(3269字)

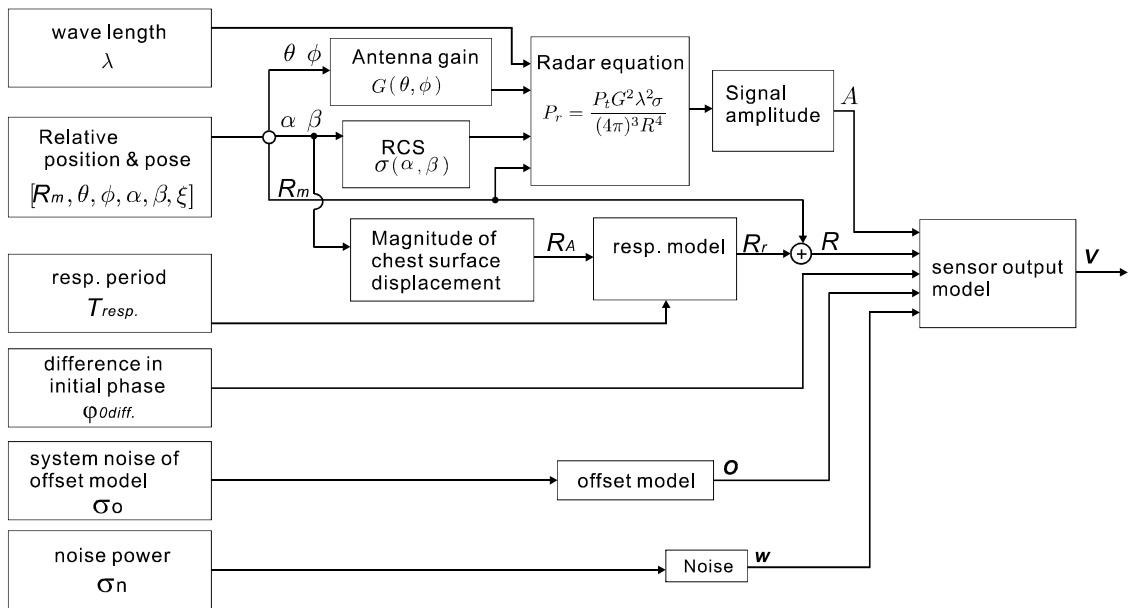


図1. モデルの構成

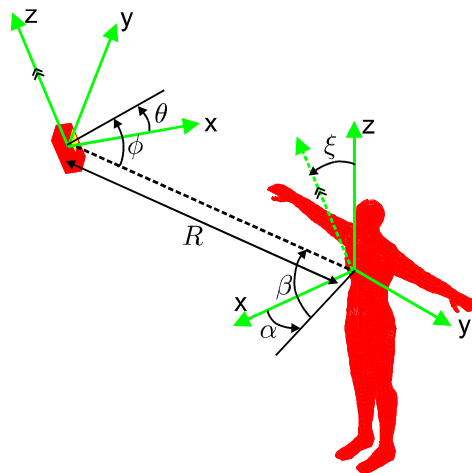


図2. センサ・ターゲット間の相対位置姿勢パラメータ

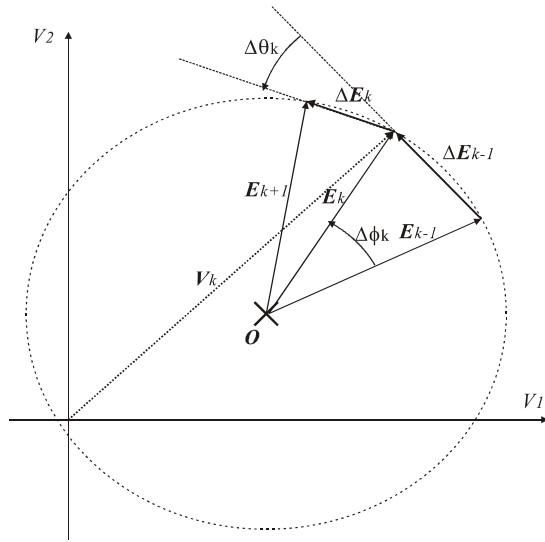


図3. 出力信号の2次元ベクトル表現

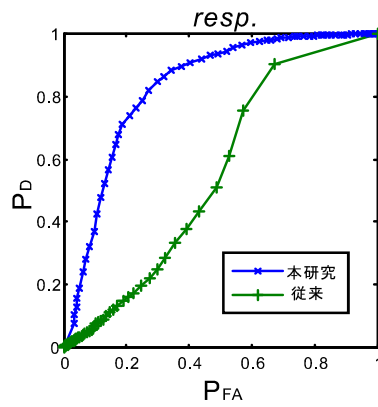


図4. 本論文による呼吸検出と従来の呼吸検出のROC曲線による比較

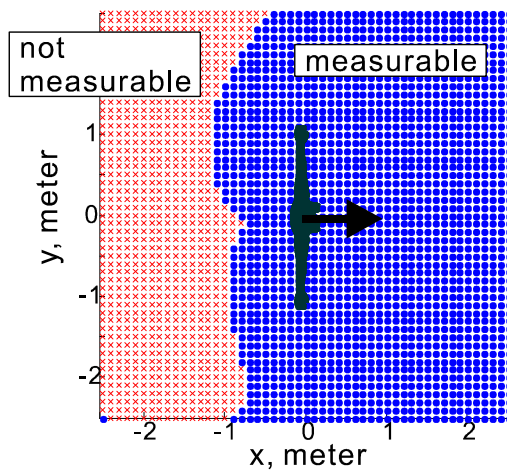


図5. 人の周りの水平面における呼吸計測可否の識別面