

ドップラーセンサを用いた行動識別とリアルタイム性の検討 An examination of real-time motion identification using Doppler sensor

其原浩太[†] 坪川 宏[‡]
Kota Sonohara Hiroshi Tubokawa

1. はじめに

1.1 背景

近年、日本における高齢者人口の割合を示す高齢化率が増加傾向にあり独居高齢者の増加が問題になっている。また高齢化に伴い、高齢者の不慮の事故の増加が問題となっている。中でも転倒事故は交通事故より死者数が多く、東京消防庁の発表によると平成 28 年度からの 5 年間の高齢者の救急搬送される要因 82%が転倒であるということが分かっている。令和 2 年度の高齢者の転倒事故の発見場所の 59%が住宅等住居場所であり、90%以上が屋内で発生している。一人暮らしの場合、他者による高齢者の事故の発見が困難であり、事故の発見の遅れにより後遺症死亡する可能性がある。このような背景から一人暮らしの高齢者が居室内で転倒するのを速やかに検出し高齢者の状態を常に正確に検知することが必要である。そこで本研究ではマイクロ波ドップラーセンサを用いて速やかに行動認識を行うためのリアルタイム性の検討を行う。

2. 提案システム

2.1 ドップラーセンサ

本研究では 24.125[GHz] ドップラーモジュール (IPM165-A01, InnoSent 社製) を使用している。マイクロ波ドップラーセンサは、センサから照射される電波によって、動体の動きを信号として出力するモジュールである。電波が反射する際の周波数は、ドップラー効果により対象物の移動速度に比例して変化する。ドップラーセンサはその反射波を受信し、送信波と受信波の位相の信号を出力する。送信波と反射波の差分を計算し検出したドップラー波により検知範囲内で動く物体を検知することができる。ドップラーセンサを用いる利点としては電波型センサであるためプライバシーを保護できる。音波、超音波などとは異なり、電波を利用するため、周囲温度の影響もなく、障害物があっても透過して検知することができる点が挙げられる。以下の式 (1) でドップラー周波数を求める式を示す。ドップラー周波数を f_d とし、ドップラーセンサからの送信波 f_0 [Hz]、光速 c [m/s]、動体の速度 v [m/s]、センサに対する動体の移動角度 α とする。

$$f_d = \frac{2vf_0 \cos \alpha}{c} [\text{Hz}] \quad (1)$$

2.2 STFT

Short-Time Fourier Transform (短時間フーリエ変換:以下 STFT) とは、センサデータなどの信号の周波数成分が時間とともに変化する場合、その周波数成分を単位時間あたりで検出する時間周波数解析である。これは窓サイズをず

らしながら分析しフーリエ変換することで各時間における周波数成分を分析することができる。

2.3 Convolution Neural Network

Convolution Neural Network(畳み込みニューラルネットワーク:以下 CNN) とは、画像や動画の認識に使用される深層学習のひとつである。CNN は畳み込み層(Convolution 層)とプーリング層(Pooling 層)、全結合層(Fully Connected 層)から構成されるニューラルネットワークである。入力された画像を、フィルタを用いてブロックに分けて計算し、得られた特徴を検出することで学習を行っている。

3. 評価実験

3.1 実験概要

図 1 にシステムの全体図を示す。

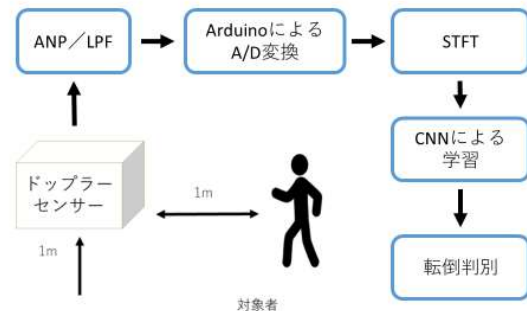


図 1:システムの全体図

本研究ではドップラーセンサから出力される信号を、オペアンプを用いて出力信号を増幅し、ローパスフィルタを用いて電源ノイズをカットする。そこから Arduino を用いて A/D 変換する。取得したデータにおける時系列毎の周波数成分を取得するために STFT を適用する。取得するデータは 5 秒とし、5 秒のデータを 1.0 秒、1.5 秒、2.0 秒、2.5 秒、3.0 秒の窓のサイズで区切ったスペクトログラムにおいて検証した。またデータを区切る時間を変化させた場合、動作検出の時間がどのように変化するか調べるため、STFT のフレーム長を 0.05 秒、0.1 秒、0.15 秒、0.2 秒、0.25 秒、0.3 秒まで変化させ、データを取得し学習させる。学習時のデータとしては、「転倒」と「非転倒」に分け、「非転倒」は「歩行」「つまづく」「立ち上がる」「しゃがむ」の動作が含まれており、STFT を行い得られたデータを CNN モデルを構築するための学習データと、テストデータに分割する。

3.2 実験環境

本研究で用いるドップラーセンサは動体の面積が広いとより検知に適するため、設置する床からの高さは人の胸の部分に相当する 1[m] とした。測定場所はドップラーセンサから 1[m] 離れた場所から行った。

3.3 評価結果

本研究では、スペクトログラムの窓サイズと STFT のフレーム長の違いにおける識別精度と転倒を識別するまでに必要な時間の検証を行う。以下表 1 に識別精度、表 2 に識別平均時間の結果を示す。表 1 の括弧内は非転倒の識別率を示す。

表 1: 識別精度

		フレーム長(s)					
		0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
窓 サ イ ズ (s)	1.0	86.7 (90.0)	83.3 (96.7)	66.7 (96.7)	70.0 (96.7)	70.0 (96.7)	60.0 (100.0)
	1.5	80.0 (100.0)	80.0 (96.7)	93.3 (100.0)	90.0 (100.0)	86.7 (100.0)	86.7 (100.0)
	2.0	93.3 (96.7)	100.0 (96.7)	100.0 (96.7)	100.0 (96.7)	96.7 (96.7)	96.7 (96.7)
	2.5	93.3 (96.7)	96.7 (100.0)	96.7 (96.7)	93.3 (96.7)	96.7 (96.7)	96.7 (96.7)
	3.0	90.0 (96.7)	96.7 (96.7)	100.0 (90.0)	96.7 (100.0)	96.7 (96.7)	93.3 (93.3)

表 2: 識別平均時間

		フレーム長(s)					
		0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
窓 サ イ ズ (s)	1.0	0.41	0.64	0.88	1.17	1.39	1.35
	1.5	0.69	0.67	0.85	0.86	1.35	1.24
	2.0	0.67	0.77	0.92	0.94	1.15	1.08
	2.5	0.67	0.70	0.92	0.93	0.85	0.71
	3.0	0.69	0.68	0.88	0.96	0.90	0.70

識別精度の結果は窓サイズが 2.0 秒から 3.0 秒までのそれぞれのフレーム長の識別結果は、窓サイズ 2.0 秒から 3.0 秒では転倒は 90.0%以上、非転倒は 93.3%以上になった。しかし、窓サイズが 1.0 秒ではフレーム長が 0.05 秒より長くなると識別率が下がり 1.5 秒の識別結果ではフレーム長が 0.15 秒より長くなると識別率が下がり、フレームの長さが長くなるにつれ識別結果が下がるといった傾向が見られた。これは転倒の動作は 1~2 秒の動作であるため窓サイズが 1.0 秒場合、フレーム長が長くなると転倒の特徴が検出できず正常に識別ができなくなると考えられる。識別平均時間の結果はフレーム長が短くなると識別にかかる時間が短くなる。しかし窓サイズ 1.0 秒から 3.0 秒までを比較すると窓サイズが広くなるにつれ、フレーム長による差が小さくなっている。これは窓サイズ 1.0 秒ではフレーム長の間隔が大きいためフレーム長が長くなると動作の判定に影響が出るが、窓サイズが 3.0 秒のように広い場合、フレーム長の判定が長くなっても影響が少ないからだと考えられる。

3.4 本システムによる識別結果

30 秒間で転倒を約 5 秒、15 秒、25 秒で行ったときのスペクトログラム画像と CNN モデルを用いて転倒を識別させた結果を図 2 と図 3 に示す。窓サイズ 2.0 秒でフレームの長さ 0.1 秒でのモデルを用いて行った結果では 5 秒での転倒識別にかかった時間は 0.6 秒、30 秒での識別時間 1.4 秒、25 秒での識別時間 0.85 秒となり平均して 0.95 秒となった。表 2 の識別時間と比較すると窓サイズ 2.0 秒でフレームの長さ 0.05 秒の時では識別平均時間が 0.67 秒であるため 0.28 秒ほど長くなってしまった。

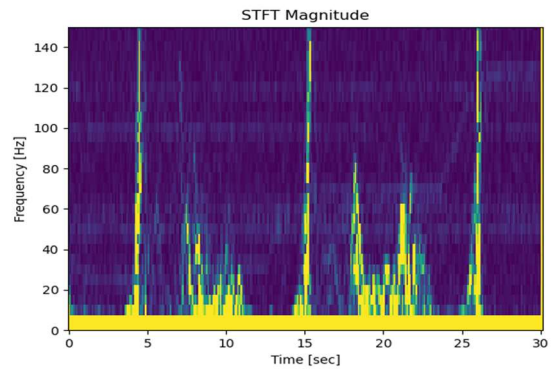


図 2: 転倒を 3 回行ったスペクトログラム画像

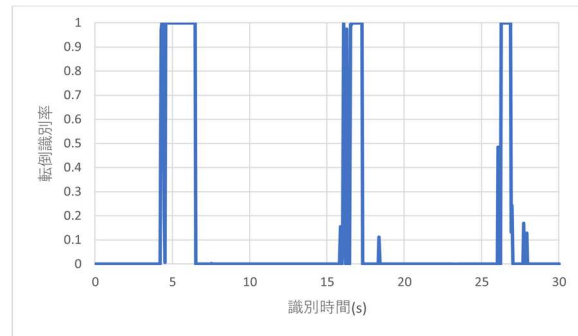


図 3: 転倒識別結果

4. まとめ

ドップラーセンサを用いた転倒動作を検出するシステムを用いて転倒識別までの時間の評価を行った。結果、識別時間は窓サイズ 1.0 秒でフレーム長 0.05 秒の時が 0.41 秒と最も早かった。しかしこの時間の識別精度は 86.7%であるため、転倒した場合正しく識別できない可能性がある。そのため転倒を早く正確に識別するには識別精度が 100%である窓サイズ 2.0 秒でフレーム長が 0.1 秒で行うのが適している。

参考文献

- [1] 東京消防庁 救急搬送データからみる高齢者の事故 2022
- [2] 木村樹, and 坪川宏. "マイクロ波ドップラーセンサを用いた高齢者屋内見守りシステムの検討." 第 82 回全国大会講演論文集 2020.1 (2020): 445-446.

† 東京工科大学工学部電気電子工学科