

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：21401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12757

研究課題名（和文）独居老人の見守りを目的とした適応型異常検知システムのリアルタイム実装に関する研究

研究課題名（英文）Near-real-time implementation of an adaptive anomaly detection system for monitoring elderly people living alone

研究代表者

安倍 幸治（Abe, Koji）

秋田県立大学・システム科学技術学部・助教

研究者番号：50315652

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：独居老人の生活見守りを目標として、プライバシー侵害を抑えつつ、適切に異常検知を可能とするシステムについて研究を行った。はじめに音響特徴量を手掛かりとして一つの音響イベントを含むように音信号を適切に分割するシステムを提案した。本分割システムを用いたセグメントに対して、GMMに基づく伝統的な異常検知システムと、ニューラルネットワークを応用した3つの異常検知システムを構築した。これらの提案システムを実空間で収録した音信号に異常信号を埋め込んだ試験音を使って性能の評価を実施した。実験の結果、自動分割により、異常検知性能の向上が見られた。また、音響特徴量の抽出を自動化したシステムが最も高い性能を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、音信号を対象とした異常検知の性能向上について一定の寄与をしたと言える。各種物理センサを用いて独居老人を対象とした見守りシステムを構築する上で、プライバシーの侵害は大きな問題を引き起こす可能性がある。音信号を用いたシステムはカメラをはじめとする視覚的なモニタリングよりもプライバシー侵害が少なく、かつ死角が発生しづらいという利点がある。そのため複数のセンサを用いた総合的な見守りシステムにおいて一番初めのトリガ的役割を果たすことができる。このような運用の場合、誤検知を恐れるよりも異常検知漏れが問題となるが、本提案システムでは、設定により再現率を1に出来ており検知漏れを完全に回避できた。

研究成果の概要（英文）：The target application of this research is monitoring the daily lives of elderly people living alone. Therefore, we conducted research on a system that enables appropriate anomaly detection while minimizing privacy violations. First, we proposed a system that appropriately divides sound signals using acoustic features as clues so that they contain one acoustic event. For sound segments using this division system, a previous anomaly detection system based on GMM and three anomaly detection systems that apply neural networks were constructed. The performance of these proposed systems was evaluated using test sounds in which an abnormal signal was embedded in a sound signal recorded in a real space. The experimental results showed that automatic segmentation contributed to improving anomaly detection performance. In addition, a system that automated the extraction of acoustic features (based on DAGMM) showed the highest performance.

研究分野：音響信号処理，音響工学，情報工学

キーワード：異常検知システム 音響特徴量抽出 自動セグメンテーション ニューラルネットワーク 見守りシステム

1. 研究開始当初の背景

人的コストを抑えつつ安全性を高める上で、病院などでの不慮の事態や、公的な施設における防犯の面などにおいて不測かつ異常な事態を機械的に検出することは、重要なタスクである。また、近年、老人などの一人暮らしの割合が増加していることから、プライバシーに配慮した上で、異常事態を低コストで検出することが求められている。異常検知に用いる信号として音信号を利用する場合、カメラを用いた監視のように映像を見られることと比べ、事態の解釈やや間接的となるが心理的なハードルが低いという利点がある。また、音のセンサであるマイクロホンはカメラと異なり全方向の音を捉えることが出来るため、死角の有無という意味では、カメラを利用する場合に比べ、広範囲の情報を取得できるという利点がある。

高齢者の生活形態に配慮しつつ、上述のような音信号を用いることの利点を活かし、本研究では、音を利用して設置した環境を学習することで、任意の場所に適応し、その設置環境で滅多に起きない異常事態を自動的に検出する異常検知システムの構築を考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、音信号を機械的に分析することで設置空間の音響的特徴を学習し、異常を検知するシステムを構築することである。従来の異常検知に関する研究は、検知したい事象を予め定義することで、その特徴「のみ」を学習し、センサからの入力一致する場合に、異常として検知している。しかし、この方式では、定義してある異常しか抽出できず、想定外の異常事象を検知することができない。これまでに構築・検討してきたシステムはかなりの計算量を必要とするため、実用レベルでのリアルタイム異常検知は達成できていない。本研究では、これまでの知見を活かし、異常検知の精度を保ったまま、検知速度を実用的なレベルに引き上げることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では効率的な異常検知システムの学習を可能とするために、はじめに監視用のマイクロホンで収録した音信号を特徴量の変化に着目して分割するシステムを検討する。これにより監視環境の音響イベントごとに音信号を自動分割することを可能とする。方法としては、複数の音信号の特徴量を抽出して作成した短区間フレームの音響特徴量ベクトルを用い、ベイズ情報量基準を算出することで、ある程度の長さを持つ音響セグメントが一つの音響イベントから発生している妥当性を求める。

次に設置場所の異常を前述の音響イベントごとに判別する異常検知システムを構築する。構築するシステムは複数あり、それぞれの利点・欠点について検討する。比較の基本となるシステムとして、従来から検討を重ねてきたガウス混合モデル (GMM: Gaussian Mixture Model) に基づく外れ値検出による異常検知システムをはじめに構築する。その後、比較のため、深層学習に基づく、新システムを提案する。本研究で構築した自動音響セグメントシステムと組み合わせることで、計算負荷及び異常検知性能の向上が見込めると考えている。構築するシステムは、自己符号化器 (AE: Auto Encoder) に基づくシステム、敵対的生成ネットワーク (GAN: Generative Adversarial Networks) に基づくシステム、そして深層符号化 GMM (DAGMM: Deep Encoding GMM) に基づくシステムである。

4. 研究成果

(1) はじめに、異常検知作業の効率化のために、音信号の音響イベントごとのセグメント化を試みた。図1に音響信号の自動セグメンテーションシステムの概要を示す[1]。本システムは音信号の分割の指標としてベイズ情報量基準 (BIC: Bayesian information criterion) を採用しており、短時間フレームの集合としての音響特徴量ベクトル群が一塊とみなせる音信号の境界を選出して、音を分割している。分割された音の音響特徴量の正規性についてコルモゴロフ-スミルノフ検定により評価を行った結果、単純な一定区間分割に比べ、高い正規性を保っていることが示された。

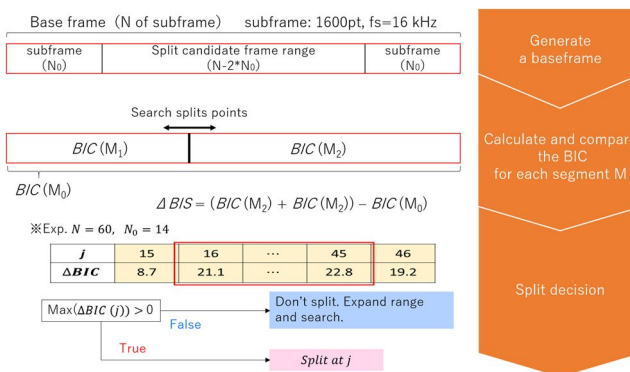
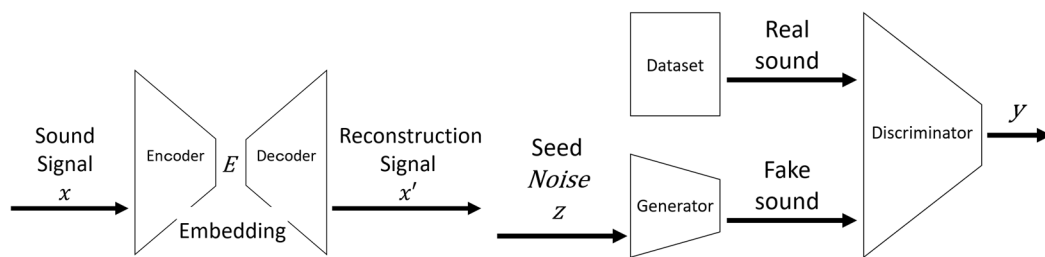


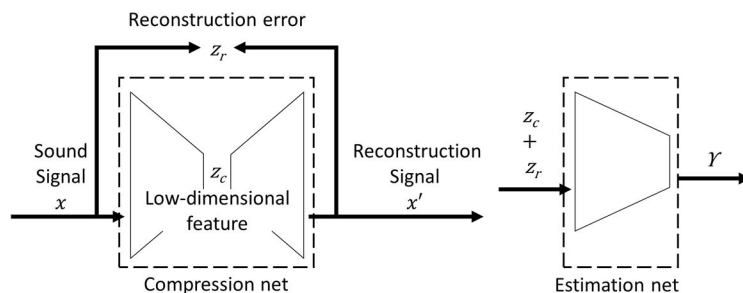
図1 自動セグメンテーションの概要図

(2) 続いて、異常検知システムの設置環境への適応力を比較・検討するために、ニューラルネットワークを用いた学習型の異常検知システムの構築を行った。構築したネットワークは自己符号化器 (以下、AE) に基づくもの、敵対的生成ネットワーク (以下、GAN) に基づくもの、そ



(a) AE の概念図

(b) GAN の概念図



(c) DAGMM の概念図

図 2 各ニューラルネットワークの概略

表 1 異常検知性能の比較その 1

| | <i>Recall</i> | <i>Precision</i> | <i>F-measure</i> |
|-----|---------------|------------------|------------------|
| GMM | 1.0 | 0.82 | 0.90 |
| AE | 1.0 | 0.14 | 0.25 |
| GAN | 0.86 | 1.0 | 0.92 |

表 2 異常検知性能比較その 2

| | <i>Recall</i> | <i>Precision</i> | <i>F-measure</i> |
|-------|---------------|------------------|------------------|
| GMM | 0.97 | 0.96 | 0.96 |
| DAGMM | 0.97 | 0.97 | 0.97 |

して深層符号化 GMM (以下, DAGMM) に基づくものの三つである。作成したシステムの概要図を図 2 に示す。AE を用いた異常検知は, AE が学習させた入力信号しか自己復元できないことを利用する。設置環境の日常信号で学習を行わせた場合, 発生頻度の低い異常音の場合には, 再構成信号の復元度が低下することを利用して異常を検知する。GAN を用いた異常検知では, 入力された信号が本物か偽物かを判別する識別器の出力を利用する。GAN の生成器は学習させた日常信号を生成するようにトレーニングされるため, 異常音は識別器にとっては偽物とみなされることとなる。最後に, DAGMM について説明する。DAGMM は大別すると二つのネットワークから構成されており, 一つは, 入力信号を自己符号化器に通すことで, 適切な低次元表現を得ることを目的とした圧縮ネットワークである。もう一方は, 圧縮した特徴量の群を用いて, 適切な混合ガウス分布をなすように各正規分布への負担率を推定する推定ネットワークである。概念としては, 先行して構築した GMM モデルをベースとした異常検知システムにおいて, 設置環境に最適な特徴量を自動的に設定可能な異常検知システムと考えられる。

最初に, 先行研究で提案した GMM に基づく異常検知システムに自動音響セグメンテーションを導入し, その性能と AE 及び GAN をベースとする異常検知システムとの比較を行った。その結果を表 1 に示す。表から分かるように異常音の検知割合を示す再現率 (Recall) は GMM と AE が GAN よりも高くなった。しかし, 日常音が異常になってしまう誤検知を評価した適合率 (Precision) を見ると, AE では値が他の手法に比べ極端に低く, 性能が悪いことが分かった。全体的な性能を表す F 値を見ると GMM と GAN は同程度の性能となっているが, GAN は異常の検知漏れがやや高いことが示された[2]。その後, DAGMM を構築し, GMM ベースの異常検知

システムとの比較・検討に絞り、検討を進めた[3]。その過程でシステムのハイパーパラメータの最適化について検討を行った結果、GMMに基づくシステムにおいて誤検知を減らすことが可能であることが示された。結果、表2に示したとおり、どちらも極めて高い異常検知性能を示しており、DAGMMシステムにおいてもGMMと同等、もしくはやや性能が高い結果となった。この結果は、従来のGMMのみを用いた外れ値検出の結果よりも高いものとなっており、音響セグメンテーションによる適切な音信号の分割が予想以上に効果の高いものである可能性を示唆しているものと考えている。

本研究のもう一つの目的といえるリアルタイム実装については、異常検出処理における部分は、ほぼリアルタイムに処理が可能な演算時間を達成することができている。しかし、設置環境の学習処理については、音響特徴量の算出、分割、日常音モデルの学習処理が想定よりも負荷が高くなってしまった。この部分の処理の精度は、検出性能とトレードオフを持つため、現状別スレッド処理としてモデル更新を定期的に行う運用を行っている。

- [1] 安倍幸治, 小田原乃斗, 西口正之, 高根昭一, 渡邊貫治, “ベイズ情報量基準に基づく音信号の区間分割に関する検討”, 日本音響学会 秋季研究発表会, 2021.
- [2] Koji Abe, Ryota Aoishi, Masayuki Nishiguchi, Kanji Watanabe, “Study on Acoustic Anomaly Detection for Watching over Daily Life of Elderly People,” Proc. of the 12th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2023), 601-602 (2023).
- [3] 青石涼大, 安倍幸治, 西口正之, 渡邊貫治, “DAGMM を用いた生活音の異常検知システムに関する検討”, 日本音響学会秋季研究発表会, 3-P-19 (2023).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Koji Abe, Ryota Aoishi, Masayuki Nishiguchi, Kanji Watanabe |
| 2. 発表標題 Study on Acoustic Anomaly Detection for Watching over Daily Life of Elderly People |
| 3. 学会等名 Proc. of the 12th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 青石涼大, 安倍幸治, 西口正之, 渡邊貴治 |
| 2. 発表標題 DAGMM を用いた生活音の異常検知システムに関する検討 |
| 3. 学会等名 日本音響学会秋季研究発表会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 青石涼大, 安倍幸治, 渡邊貴治, 西口正之, 高根昭一 |
| 2. 発表標題 自己符号化器を用いた異常検知システムの構築と評価 |
| 3. 学会等名 電気関係学会東北支部連合大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 安倍幸治, 小田原乃斗, 西口正之, 高根昭一, 渡邊貴治 |
| 2. 発表標題 ベイズ情報量基準に基づく音信号の区間分割に関する検討 |
| 3. 学会等名 日本音響学会 秋季研究発表会 |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|