先に提案の浴室内異常監視システムによる音環境の認識について

磯 永 聡*・田 中 正 吾*

Recognition of Sound Environment by a Preproposed Bathroom Monitoring System

Satoshi ISONAGA* and Shogo TANAKA*

Developing a monitoring system in a bathroom is important to prevent accidents. The authors previously proposed a bathroom monitoring system which used an acoustic sensor to measure the water level in bathtub to see whether the person is inside the bathtub. This paper shows how the monitoring system recognizes the sound environment in bathroom. Experiments demonstrate the effectiveness of the system.

Key Words: sound environment, acoustic sensor, pattern recognition, bathroom monitoring system

1. はじめに

著者らは先に、高齢化社会を迎え年々増加しつつある浴室での事故を（入浴者のプライバシーを侵害することなく）外部より監視するシステムの一つとして音響センサを利用する方法を考え、その一環として、音響センサを用いた浴槽内水位計測法を提案した^{1), 2)}。つまり、浴槽に垂直に設けた管の内側に音響センサをセットし、管内に発生する定在波を観測し水位を測る方式を提案した。これにより、入浴者が沈黙していても入浴者の行動を特定しやすくなった。

本論文では、これに加え、本来の音響センサの利点を生かし、入浴者が発生する音の特徴を認識し、入浴者の振る舞いをさらに的確に把握する方式について考察したものである。具体的には、あらかじめ浴室内で起こりうる音環境をデータベース化しておき、このデータベースと浴室内の音環境を比較することにより、入浴時の音環境を認識する方法である。

なお、音環境のひとつとして入浴者の口による発生音があるが、言葉の認識には種々の認識法が開発されているので³⁾、ここでは言葉以外の音環境の認識について検討する。

2. ハードウェアの構成

本計測システムでは、浴槽の一角に適当な長さの管を縦に設置し、管内の上部に防水加工を施したマイクロホンを設置する。このように、管内部の上部にセンサをセットしたのは、管内の定在波に加えて、浴室内の直接的な音情報を観測でき、水位計測と同時に音環境を認識することができるようにしたためである。なお、マイクロホンにより得られた音圧変動データは、アンプおよび AD コンバータを介してノート PC に送られ、そこで計測および認識がなされる。

3. 音情報の認識

換気扇の音、湯船をかき混ぜる音、体を洗うときの音、あるいはシャワー音など、入浴時に生じることが予想できる種々の音環境を認識できるためには、各音環境のもつ特徴的なスペクトルをあらかじめ作成しておき、入浴中の音環境のスペクトルと比較することが考えられる。つまり、マイクロホンにより得られた時系列データに対しスペクトルを求め、あらかじめ作成しておいた代表的な音環境のスペクトルと比較することにより、浴室内で生じている音を認識することができる。ここでは、音環境認識のための評価関数として、直観的にわかりやすい、つぎのスペクトル間のパターンマッチング角を採用する。

$$\theta_j = \cos^{-1} \left[\frac{(\mathbf{h}, \mathbf{h}_j)}{\|\mathbf{h}\| \cdot \|\mathbf{h}_j\|} \right] \quad (1)$$

ここで、 $(\cdot, \cdot)$ および $\|\cdot\|$ はそれぞれユークリッド空間内の内積およびノルム記号を表わす。また、 $\mathbf{h}$ は入浴中に得られた音環境のスペクトルを、 $\mathbf{h}_j$ ($j = 1, 2, \dots, N$) は $\mathbf{h}$ を認識するときの代表的な音環境 S_j ($j = 1, 2, \dots, N$) のスペクトルを表わす。もちろん、 $\mathbf{h}$, $\mathbf{h}_j$ は共にサンプルした周波数ごとのスペクトル値を並べた数ベクトルである。よって、(1) 式の θ_j は浴室内で得られたスペクトル $\mathbf{h}$ と j 番目の音環境 S_j のもとのスペクトル $\mathbf{h}_j$ とのパターンマッチング角を表わす。そして、 θ_j を最小とするデータベースのスペクトルに相当する音環境が現在の音環境であると判断する。

なお、マイクロホンは水位計測も行なうため管内部に設置しているので、マイクロホンには管の気柱長を基本周波数とする定在波成分も合わせて観測される^{1), 2)}。また、管の気柱長は水位により若干上下に変動するため、当然、定在波のもつ周波数成分も水位に伴い変動する。よって、スペクトルのパターンマッチングに際しては、標準的な水位に相当する定在波成分の周波数付近の周波数帯（ある幅の周波数帯）のスペクトルは使わずに、パターンマッチングを行なう必要がある。

* 山口大学工学部 宇部市常盤台 2-16-1

* Faculty of Engineering, Yamaguchi University 2-16-1, Tokiwadai, Ube

(Received February 3, 2005)

(Revised March 14, 2005)

4. 判断の保留および閾値の決定

音環境を認識する際、音環境によっては認識が困難な場合がある。つまり、(1) 式のパターンマッチング角がいくつかの音環境で余り値が変わらない場合が起こりうる。そのような場合、 θ_j を最小とする音環境 S_j が実現していると強引に判断しないほうが良いと思われる。そこで、ここでは、パターンマッチングにより得られた $\theta_j (j=1, 2, \dots, N)$ に対し、 $\theta_{min} = \min \{\theta_j\}$ の近傍の音環境 S_j がほかにあれば、判断を保留することにする。

ところで、音環境認識ための閾値の決定であるが、音環境を正しく判定した場合は +1、誤った判定をした場合は -1、2 種類の音環境のうちどちらを採用するか判断を保留する場合は (+1/2)、3 種類の場合は (+1/3) となるようなスコアを与え、事前にトレーニングデータを用いて決めるなどすればよい。

5. 実験と結果

5.1 実験条件について

提案システムの有効性を確認するため一般的なユニットバスにて実験を行なった。浴室および浴槽のサイズは、それぞれ約 1.8m×1.8m および約 1.2m×0.8m であり、浴槽に高さ 0.4m のお湯を張った状態で実験を行なった。使用した管は長さ 1.0m、内径 35mm の透明アクリル管である。また、使用したマイクロホンはコンデンサ型マイクロホンである。さらに、データ収録に使用したノート型パソコンは Dell 社製 Inspiron8000 (CPU:PentiumIII1.13GHz) であり、AD コンバータとしてアドテックシステムサイエンス社製の AD カードを使用した。なお、データ収録時のサンプリング周期は $\Delta T=0.5\text{ms}$ とした。また、管内に生じる標準的な定在波の基本モードの周波数は 112.1Hz である。ここでは、1s 間のスペクトルを用いて音環境を認識することを考える。

5.2 データベースの作成

音環境を認識するために、浴室内で起こりうる代表的な音環境のデータベースをあらかじめ作成しておく。なお、データベースを作成する際には、管外の音響センサでデータを収録する。例として、換気扇のみがまわっている状態のセンサ出力波形を Fig. 1 に示す。また、データウィンドウ 1s のセンサ出力のスペクトルの一例を Fig. 2 に示す。1s ごとのスペクトルには当然ばらつきがあり、そのため認識をしやすくするため、これらのスペクトルのエンベロープをとり、かつ 50 個にわたり平均化した波形が Fig. 3 である。なお、スペクトルの信頼度が周波数により異なるので、ここで採用する最終的な基準スペクトルとしては、各スペクトルの標準偏差を周波数ごとに求め、この逆数を先の平均波形に乗じたものを考える。このときの最終的なスペクトルを Fig. 4 に示す。

同様なことを、静寂な場合、シャワーを使用している場合、湯面をかき混ぜた場合について行ない、それぞれ作成

したデータベースとすべき最終的なスペクトルを Fig. 5～Fig. 7 に示す。

5.3 音環境の認識

ここでは、とりあえず、静寂な場合、換気扇を回した場合、水面をかき混ぜた場合、シャワーを使用した場合を 4 つの代表的な音環境と考え、これらに対し第 4 章で述べた方法で判定の閾値を決めると、 θ_{min} の 13% 高めの値が音環境認識の閾値となった。つまり、 $1.13 \theta_{min}$ より小さい θ_j が θ_{min} 以外になければ、 θ_{min} を与える音環境が生起しているとし、 $1.13 \theta_{min}$ より小さい θ_j が θ_{min} を含めて 2 つ存在するのなら、その 2 つの音環境のいずれかとして判断を部分的に保留する訳である。この閾値を決定するときのトレーニングデータ数は 400 個であり、このときの閾値とスコアの関係を図 8 に示す。

以上の条件のもとに、各音環境に対しそれぞれ 100 個ずつデータを採取し認識実験を行なった。具体的には、各音環境下で得た 1s 間ごとのスペクトルのエンベロープに重み付けをしたものに対し、音環境認識実験を 100 回ずつ行なった。そのときの認識結果が Table 1 である。なお、管内気柱に生じる標準定在波周波数を中心とした $\pm 20\text{Hz}$ の帯域のスペクトルは使用しないことにしている。表より、静寂な場合と換気扇のみが回っている場合はそれぞれ 100% 正しい認識をしているが、シャワーを使用した場合と湯面をかき混ぜた場合には一部判断の保留をしていることがわかる。こ

Fig. 1 Sensor output when the fan was turned on

Fig. 2 Frequency spectrum of the sensor output (width:1s)

Fig. 3 Average of the envelope of the spectrum

Fig. 4 Base data (the case the fan is turned on)

Fig. 5 Base data (the case of quiet situation)

Fig. 6 Base data (the case the shower is used)

Fig. 7 Base data (the case the water surface is mixed)

の判断を保留した2つの場合では、互いに割合が異なるものの、識別しづらいケースがあるということがわかった。なお、この判定結果はあくまでも1s間のスペクトルのみを使用した場合であり、前後の時間帯の認識結果を考慮することにより、さらに高精度な認識が可能となる。

参考のため、換気扇のみが回っている場合について、ひとつのデータに対しパターンマッチング角を求めてみると、静かな場合のスペクトルとは31.6[度]、換気扇のみが回っている場合とは16.5[度]、シャワーを使用している場合とは33.0[度]、湯面をかき混ぜている場合とは28.8[度]となり、音環境を十分高信頼度に認識できていることがわかる。また、判断を保留しない方法、つまり θ_{min} を実現する音環境が生起しているとする判定法では、Table 2のような結果が得られ、シャワーの場合と湯面をかき混ぜた場合とでは、それぞれ6%および9%の誤認識が生ずる。上記のスコアの計算でいくと、保留を許す方式では382.5点、保留を許

Fig. 8 The total score versus the threshold $\theta_0 = \epsilon \theta_{min}$

さない方式では370.0点となる。いずれの方式が良いかはモニタリングシステムのほかの特徴と合わせて今後の検討課題にしたい。

Table 1 Recognition rate of the sound environment

situation	true	false	reservation
a quiet situation	100	0	0
a fan turned on	100	0	0
a shower used	90	0	10
mixed water surface	75	0	25

unit : percentage

Table 2 Recognition rate of the sound environment without reservation

situation	true	false
a quiet situation	100	0
a fan turned on	100	0
a shower used	94	6
mixed water surface	91	9

unit : percentage

6. む す び

本論文では、著者らが先に提案した浴室内異常監視システムのマイクロホンにより、入浴中の音環境を認識する簡易方式を提案し、浴槽の水位情報に合わせて、かなり高精度に入浴時の音環境を認識できることを確認した。

今後は、認識率をさらに向上すること、2種類以上の音環境が同時に生じている場合の認識が可能なシステムの開発を行なうこと、位相情報も取り込んだ認識を行なうなどである。最後に、本研究に御協力戴いた本学岡本昌幸助手に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 磯永・服部・岡本・田中：浴室内監視システムにおける水位計測，電気学会論文誌，124-C-7, 1462/1470 (2004)
- 磯永・服部・岡本・田中：浴室内異常監視システムにおける音響センサ使用浴槽水位計測について，計測自動制御学会論文集，41-1, 16/24 (2005)
- 今井 聖：音声認識 情報・電子入門シリーズ，共立出版 (1995)