

オープンスペースにおけるノイズ抑制システムの提案

高野稜平[†] 岡誠[‡] 森博彦[‡]

東京都市大学大学院工学研究科システム情報工学[†]

東京都市大学知識工学部経営システム工学科[‡]

1. 背景

近年、交通機関や製造工場、電化製品などの産業機器の使用の増大に伴い、日常生活をする上で人間が不快と感じる音である騒音が発生する問題が深刻になってきている。本研究ではこのような騒音のことをノイズと定義する。

近年になって普及し始めているオープンスペース化によって、学校の教室などでもノイズ問題が起きている。しかし、オープンスペース型教室などの開けた空間は来訪者が自由に出入りできるように空間的に開けていることが絶対条件である。よって、壁などを用いて音声を物理的に遮蔽することは困難である。そのため、このような空間でノイズを抑制するためには物理的に音声を遮蔽するのではなく、他の音を用いてノイズを聞こえにくくすることが有効であり、その手法の開発が求められている。

2. 関連研究

音声を聞こえにくくするための既存手法である耳栓や耳覆い型の聴覚保護具は各人が装着する必要がある、不特定多数の利用者に対する適用が難しい。

また、能動的ノイズ制御 (ANC: Active Noise Control) は波動の干渉を利用したもので、発生しているノイズをマイクで参照し、ノイズに対して同振幅・逆位相のキャンセル音をスピーカから放射することでノイズを制御する手法である[1]。一般的に ANC は適した音場や使い方をすれば、非常に有効的なノイズ抑制手法である。しかし、リアルタイムにノイズ制御フィルタで計算するため、ノイズと放射されるキャンセル音に多少の時間のズレが生じてしまう欠点がある。また、領域すべてに対してノイズを抑制できるわけではなく、局所的な領域でしかノイズを抑制することができないという欠点もある[2]。

サウンドマスキングシステムは、発生しているノイズに対して、周波数特性が近い無意味音を流す事によって、ノイズを聞こえにくくする制御手法である。ANC とは違い、ノイズそのものを低減するのではなく、無意味音でノイズを聞こえにくくしている。そのため、いかにして無意味音が聴取者にとって不快にならないようにするかが課題となっている。

加藤の研究[3]では、秘匿すべき情報を含む会話がかわされる場において重要とされるスピーチプライバシー (個人情報などの秘匿が必要な情報が口頭でやりとりされる場合に、その内容がそれを知る必要のない第三者へ漏洩することを防ぐこと) を確保する目的で、音声を効果的に聞こえにくくする楽曲を提示する手法を検討した。提案手法は楽曲と音声の特定周波数帯域における音圧レベルから算出される指標 (WSPD) にもとづいて楽曲を選択するものである。そこで、音声を聞こえにくく、かつ聴取者にとって違和感のない楽曲提示のできる設定を明らかにする目的で実験を行い、WSPD に基づいた楽曲選択をする手法の有用性を実証した。

3. 研究目的

本研究では、ノイズが聞こえる開けた教室などのオープンスペースの空間に対して、本研究で提案する ANC とサウンドマスキングの手法を組み合わせた新たなシステムを用いることで、人にとって不快に感じさせない音環境の空間を作り出せるか実験し、有効性を検証する。

4. システム概要

4.1 ANC システム

本研究で作成する ANC システムはマイクでノイズを参照し、高速フーリエ変換を用いて電気信号に変換し、ノイズとの同振幅・逆位相のキャンセル音を作成する。そして、PC につないであるスピーカから、作成されたキャンセル音を放射することでオープンスペースに聞こえるノイズを抑制するという構成である。

4.2 サウンドマスキングシステム

サウンドマスキングシステムの構成はマイクでノイズを参照し、参照したノイズをもとに楽曲選択アルゴリズムを用いて、ノイズを最も聞こえにくくする楽曲を選択し、スピーカから放射することでノイズを聞こえにくくする。楽曲選択アルゴリズムは、ノイズと楽曲の周波数特性と音圧レベルを用い、加重平均スペクトル距離 (WSPD) を計算し、この値が最小となった楽曲を選択する。楽曲選択アルゴリズムで用いられる楽曲は、BGM として適当と考えられるものとする。例えば、音声が含まれる無意味音でない楽曲や、極端にテンポの速い楽曲、音量差の大きい楽曲についてはあらかじめ除外する。

4.3 ANC とサウンドマスキングを適用するシステム

ANC は開けた場所に対して局所的な領域でしかノイズを抑制できないという欠点がある。また、サウンドマス

Proposal of noise suppression system in open space

[†]Ryohei Kohno, System Information Engineering, Tokyo City University

[‡]Makoto Oka, Hirohiko Mori, Department of Industrial and Management System Engineering, Tokyo City University

キングシステムは無意味音によってノイズを聞こえにくくするが完全にノイズを抑制することはできない欠点がある。そこで、空間全体に聞こえるノイズをサウンドマスキングシステムにより聞こえにくくさせながら、ANC システムにより作成されるキャンセル音でノイズを完全に打ち消す領域を発生させることで、ANC とサウンドマスキングを同時に適用する本研究の提案システムが既存の手法を用いたシステムより聴取者に不快にならない音環境を作り出すことができるという仮説を立て、実装する。

本提案システムの構成は、参照されたノイズに対して、楽曲選択アルゴリズムを用いて選択された曲と共に、ANC システムで作成されるノイズのキャンセル音をスピーカーから放射することでノイズを抑制する。

5. 確認実験

本研究で作成した ANC システム、サウンドマスキングシステム、本提案システムがそれぞれ実際に、オープンスペースにおいてノイズを抑制することができるか確認するために実験を行った。

5.1 ANC システムの実験

どのような形のオープンスペースであっても、どのような周波数のノイズであっても、ANC システムを用いることで、ノイズを抑制する領域を作成できるかを確認するために、いくつかの実験を行った。

5.1.1 オープンスペースの形を変えた実験

ノイズ抑制領域の有無がオープンスペースの形や大きさに依存しないか確認するための実験を行った。500hz の純音を用いて、9m×11m の長方形の教室と 7m×10m の L 字型の教室それぞれで実験を行った結果、どちらの部屋でもノイズを抑制することができる局所的な領域が存在した。つまり、オープンスペースの形や大きさに関わらず、ノイズ抑制領域を発生させることができることがわかった。しかし、ノイズ抑制領域がそれぞれ異なる場所に発生する結果となった。そこで、ノイズ抑制領域が発生する条件を確認するために無響室で実験を行った結果、キャンセル音源であるスピーカーの正面すべての範囲でノイズが完全に消えることはなかったが、ノイズが小さくなっていることが確認できた。この結果はキャンセル音がノイズを打ち消すことによるものだと考えられる。つまり無響室では、壁に跳ね返る反射音の影響がほぼないため、キャンセル音源の正面のすべての範囲でノイズが小さくなる結果になったことが推測される。よって、教室でノイズを抑制できる領域が局所的でしか存在しないのは、反射音の影響であることが断定できた。

5.1.2 ノイズの周波数を変えた実験

ノイズ抑制領域の有無がノイズの周波数に依存しないか確認するための実験を行った。日常生活で発生するノイズの周波数は最高で 2000hz 程度であることを考え、周波数が 400hz, 500hz, 1000hz の純音をノイズとして実験を行った。周波数ごとにノイズを抑制できる領域はそれぞれ異なる場所に発生する結果となったが、どの周波数においてもノイズ抑制領域を発生させることが確認できた。周波数によって、抑制領域が異なるのはそれぞ

れの周波数の波長の長さが異なるためだと考えられる。

5.2 サウンドマスキングシステムの実験

サウンドマスキングシステムを用いて、実験を行った。実験の結果、500hz の純音であるノイズをオープンスペースのどこの場所においても聞こえにくく抑制することができた。ノイズに 1000hz の純音を用いても同様の結果が得られた。

5.3 提案システムの実験

ANC とサウンドマスキングを適用する本提案システムを用いて実験を行った結果、マスキング音によって、どこの場所でもノイズを聞こえにくく抑制し、局所的な領域ではノイズを完全に聞こえなく抑制することができた。

また、ノイズとノイズに対するマスキング音が聞こえる環境で、ノイズのキャンセル音とマスキング音のキャンセル音を放射する実験を行った。結果、マスキング音によって、どこの場所でもノイズを聞こえにくくし、局所的な領域ではあるが、マスキング音が小さく聞こえる領域があった。この領域ではマスキング音の小さな音とノイズの小さな音が混在して聞こえる領域となった。

6. 検証実験

ANC とサウンドマスキングを適用する本提案システムの有用性を検証する。

被験者には集中力が必要となる基礎的な計算問題を解いてもらう。問題を受験してもらう環境は以下の 3 条件での環境下で行ってもらい、それぞれの環境で 500hz の純音をノイズとする場合と 1000hz の純音をノイズとする場合の 2 回、実験を行う。実験は 9m×11m の長方形の教室で行う。

- ① ノイズのみを放射した状況での受験。
- ② 提案システムを用いて、マスキング音は聞こえているが、ノイズは完全に抑制されている領域内での受験。
- ③ 提案システムを用いて、ノイズと提案システムにより選択されたマスキング音と、それぞれのキャンセル音を放射することでできるマスキング音の小さな音とノイズの小さな音が混在する領域内での受験。

6.1 評価項目

評価項目を以下に挙げる。

- ・問題を解き終える時間。
- ・問題の正答率。
- ・アンケートによる主観評価

これらの項目を 3 つの環境下の実験結果で比較し、検証する。

参考文献

- [1] 梶川嘉延, “アクティブノイズコントロールの最近の話題と応用” 情報処理学会, Vol.2015-MUS-107
- [2] 西村正治, 宇佐川毅, 伊勢史郎, “アクティブノイズコントロール” コロナ社, 2006.
- [3] 加藤健人, “音声雑音を効果的に聞こえにくくする楽曲の提示方法”, 平成 26 年度東京都市大学工学研究科 システム情報工学専攻修士論文, 2013