

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289051

研究課題名(和文) 能動音響制御を併用する低騒音で効果的な音声マスキング手法

研究課題名(英文) Effective and low-noise masking technique by use with active noise control

研究代表者

雫本 信哉 (KIJIMOTO, Shinya)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30204861

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円

研究成果の概要(和文)：個人情報、機密情報が含まれる会話音声に関して他人が意図せずとも内容を傍受可能な状況が見受けられる。本研究課題は、音声に含まれる情報の傍受を妨げるための従来のマスキングに替わる手法として、能動音響制御を利用して音声の特徴的な周波数成分を選択的・適応的に制御することで音声認識を困難とし、その上で、比較的小音量の雑音を付加することで音声のマスキングを実現する。日本語母音に対して適切に帯域制限したバンドノイズを重畳することで効果的にマスクできることを確認した。また能動音響制御を併用した手法についても効果を確認している。合わせて従来のマスキング性能を比較し、理想的なマスキングの条件を明確にした。

研究成果の概要(英文)：There are several situations that the conversation sound which contains personal information or a confidential information can be heard unintentionally by a third-party. In this research, novel approaches about masking using active noise control technique are proposed. These approaches make one's recognition difficult with changing the frequency characteristics of the target sound adaptively and/or selectively. It was confirmed that Japanese vowels can be masked effectively with the proposed band-noise. In addition, the effectiveness of the proposed method using active noise control was also confirmed. We compared the conventional masking sound performance and made the condition of an ideal masking sound clear.

研究分野：能動音響制御

キーワード：音声マスキング 能動音響制御

1. 研究開始当初の背景

日常生活の様々な場面で音声に含まれる情報の漏洩が問題となることがある。たとえば、病院の診察室、薬局、銀行の相談窓口などでの会話には個人情報、機密情報が含まれることがあるが、それにもかかわらずコストや施設の面積の制限などから十分な防音対策が施されていないために、他人が意図せずとも容易に会話の内容を傍受可能となってしまう状況が多く見受けられる。近年では個人情報保護法の施行など社会の情報セキュリティに対する意識が高まっており、情報が容易に漏洩してしまうような状況を看過することは大きな問題となる。また、情報セキュリティとは異なる面でも、たとえば作業中に(聞こうとしなくても)聞こえてくる音声によって作業効率が低下するという経験は多くの人々が共有することであり、同程度の音圧レベル(音の大きさ)の場合、単なる環境騒音よりも音声の方が作業効率の低下に与える影響は大きい。

音声などの影響を低減するための手法の一つにマスキングがある。通常のマスキングは対象音に対して相対的に大きな音圧の雑音(広い周波数帯域成分を持つ白色雑音が代表的)を重畳することで、聴覚上、対象音を認識できなくするものである。音声のマスキングに関しては、既に様々な製品化がなされており、関連する学術論文も発表されている。これらの先行研究には、対象音声(マスキ)よりも大きな雑音(マスキ)を重畳させるものと、対象音が音声信号であることから、マスキとして音声信号そのもの、もしくは環境音や音楽を音声成分に合わせてフィルタリングした信号を用いる手法がある。音声はヒトにとって意味を持つ信号であり、ヒトはある程度の雑音下でもその意味情報を補間しつつ認識できる能力を有しているため、単純なマスキングよりも音声成分に合わせたマスキング手法の方が一般に効果的であることが知られている。ただし、上記のいずれの手法も対象とする音声信号に対してマスキを重畳させる手法であることは共通しており、その結果として、対象音声の音圧レベルよりも対象後の音圧レベルの方が大きくなることは避けられない。

この問題を解決するために能動音響制御の手法により対象音声の音圧レベルを低減した上でマスキングを行うことを考える。現在までに研究代表者が実施した能動的音響制御に関する研究成果の一つに能動遮音壁がある。これは通常のパーティションに能動音響制御のシステムを加えたもので、実際に試作した能動遮音壁により、その効果を確認している。この成果を音声のマスキングに利用すれば、音圧レベルを低減した上でマスキングすることができるため、対策後の音圧レベルを対策前の音声のレベルと同等以下に抑制することが可能であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、このような音声に含まれる情報の傍受を妨げるための通常のマスキングに替わる手法として、能動音響制御を利用して音声の特徴的な周波数成分を選択的・適応的に抑制することで音声認識を困難とし、その上で、比較的小音量の雑音を付加することで音声のマスキングを実現することである。

音声認識を困難にするためには、音声成分の特徴(特徴的な周波数特性)を失わせるような制御の実現が重要となる。そのためにマスキングを前提とした新たな音響制御手法の確立を目的とする。

3. 研究の方法

(1) 母音に対するマスキング

(1-1) バンドノイズによる方法

周波数スペクトルの大局的な振幅変化であるスペクトル包絡に見られる複数の振幅ピークをフォルマント周波数と呼び、低周波側から第1フォルマント、第2フォルマント、...あるいは、 F_1 、 F_2 、...と呼ぶ。これらは声道の共鳴周波数に相当する。従来の研究によって母音の音声認識において、 F_1 と F_2 が音韻性を決定づける大きな要因であることが知られており、実際に複数話者の母音別の F_1

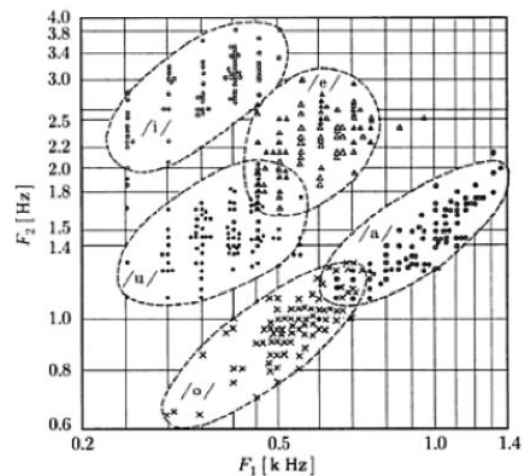


図1 日本語母音の F_1 - F_2 グラフ

と F_2 の値を取ると、図1に示すように大まかな分布傾向が見て取れる。

本研究課題では母音をマスキして音声の聴取を困難にさせるために母音の音韻性を特徴づけている第1フォルマントと第2フォルマントの関係を変化させるようなマスキ(バンドノイズ)を生成する。周波数帯域を絞ることで、従来のマスキより低い音圧でのマスキングが可能になると考えられる。

(1-2) 周波数領域制御による方法

提案手法は、能動音響制御で対象音声の音圧を低減し、その後マスキを重畳するという概略は前述の手法と同様であるが、制御後音声の周波数スペクトル包絡を平坦にすることでその後のマスキングを容易にしようとするものである。制御は周波数領域適応アル

ゴリズムをもとにしており、従来の制御系特性フィルタに改変を加えることでスペクトルの平坦化を図っている。図2に制御系のブ

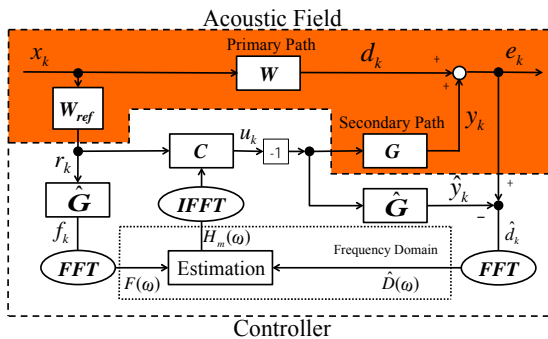


図2 制御系のブロック図

ロック図を示す。

(2) マスキング音の性能比較

現在マスキング関連の研究で用いられているマスキングの原理として、対象音声の周波数スペクトルを広くカバーしてしまうことによって音声そのものの聴取を困難とするエネルギーマスキングと、音韻性を崩すなどの方法で音声認識を妨害することで聴取を困難とする情報マスキングに大別される。本研究では、理想的なマスキャーに求められる条件を整理することで効果的なマスキング手法の確立につなげることを目的に、各種マスキャーの評価についても実施した。

エネルギーマスキングに属するマスキング音として代表的な帯域制限ピンクノイズ（マスキャー1）に加え、対象音声スペクトルに基づいて算出するマスキャー（マスキャー2）を比較対象とする。また情報マスキングに属するマスキャーとしては時間反転マスキャー（マスキャー3）を対象とする。さらにエネルギーマスキングと情報マスキングの両方の性質を持つマスキャーとして環境音模擬マスキャー（マスキャー4）を対象とする。これらのマスキャーを用いて聴取実験を行い認識率の変化とマスキング後の違和感を調査する。

(3) 能動遮音壁との併用

本課題実施以前より、パーティションに能動音響制御機能を加えた能動遮音壁についての研究を進めている。本研究課題では、能動遮音壁にマスキング機能を加えた場合の実用可能性を検討する。図3にフィードバック制御、フィードフォワード制御、マスキングを併用する能動遮音壁のコンセプトを、図

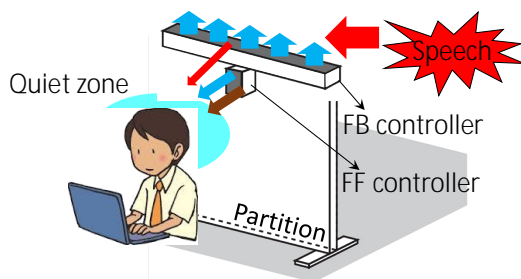


図3 能動遮音壁のコンセプト

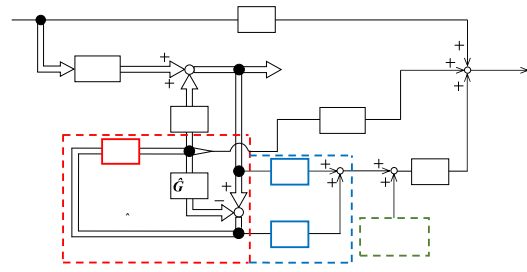


図4 能動遮音壁のブロック図

4に能動遮音壁のブロック図をそれぞれ示す。

4. 研究成果

(1) 母音に対するマスキング

(1-1) バンドノイズによる方法

単音節に対して聴取実験を実施した。実験は、静かな一般居室においてヘッドホン (SONY MDR-CD900ST) により PC から出力した単語音声と提案法の出力音声（マスキャーと ANC 制御音）を同時に提示する形式で、提示順はランダムに行なった。被験者は正常な聴力を持つ男子学生6名である。

提案法における聴取実験結果を正答率で確認すると、30.6%であった。従来手法である帯域制限ピンクノイズを用いた場合の正答率は 58.1%であり従来法の帯域制限ピンクノイズをマスキャーとする音声マスキングをマスキング性能で上回り、かつ音声の母音部分の音韻性を変化させるといったバンドノイズの働きを確認することができた。

一方、4音節の単語について行なった聴取実験では、従来法を越える性能を見出すことはできなかったが、親密度の高い単語に対して従来法にある程度近いマスキング効果を確認できた。単語の場合には、全体として聞き取るため一部の音節が聴取できなくとも全体として聞き取ることが可能であるためである。これらの結果より、提案法は聴取の際にうるささを感じさせないというメリットを持ちながら、従来法にある程度近いマスキング効果を発揮する音声マスキング手法であると言える。さらにバンドノイズの出力帯域を可変にするなどマスキャー出力において変更を行なうことで、従来法を上回るマスキング効果を発揮することが期待出来る。

(1-2) 周波数領域制御による方法

本手法によって日本語母音に対して制御を試みたところ、従来の制御結果に比べてスペクトルの平坦化が確認できている。本手法は母音限定の手法ではないため、今後も継続的に研究を進め、単語に対して更に会話音声に対する効果を確認する予定である。

(2) マスキング音の性能比較

マスキング対象音声として、日本語の単語及び日本語でのニュース音声を用いて認識率と聴取時の違和感に関して聴取実験を行った結果、マスキャー3は比較的小さい音量でマスキング効果を発揮するがマスキング後の違和感が大きく実用時に問題となる可能性を確認した。一方残りの3マスキャーについ

ては比較的似たような傾向があり masker 音量がそれほど大きくない場合には masking 後の違和感小さくかつ認識率を小さくできることを確認した。ただ、十分な masking 効果と十分小さい違和感を両立するような理想的な masking 効果とまでは言えないためさらなる研究が必要となる。

(3) 能動遮音壁との併用

能動遮音壁によって、制御対象領域での消音が実現できれば、masking を併用することで、オープンオフィスなどでの実用化が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

1) 王循, 木庭洋介, 石川諭, 雫本信哉, "ハイブリッド ANC システムを用いた能動的遮音壁", 日本機械学会論文集, Vol. 80, No. 814, 2014. 査読あり

2) Xun Wang, Yosuke Koba, Satoshi Ishikawa and Shinya Kijimoto, "An adaptive method for designing a robust IMC structured feedback active noise controller", Noise Control Engineering Journal, Vol. 63, No. 6, 2015, pp. 496-507. 査読あり

3) 王循, 木庭洋介, 石川諭, 雫本信哉, "ハイブリッド ANC システムを用いた能動的遮音壁(ウォーターベッド効果による増音の抑制及び各種音場における減音効果の考察)", 日本機械学会論文集, Vol. 81, No. 827, 2015. 査読あり

4) 王循, 木庭洋介, 石川諭, 雫本信哉, "ハイブリッド ANC システムを用いた能動的遮音壁(ロバスト性能を確保できる適応型フィードバック ANC システムの提案及び適用)", 日本機械学会論文集, Vol.82, No.835, 2016. 査読あり

〔学会発表〕(計 8 件)

1) Akihiro TAKAHASHI, Shinya KIJIMOTO, Satoshi ISHIKAWA and Yosuke KOBA, "Sound Masking Using Active Noise Control", Proc. of the 3rd Japan-Korea Joint Symposium on Dynamics & Control, pp. 127-130, 2013

2) 高橋晃裕, 雫本信哉, 石川諭, 木庭洋介, "能動的音響制御を併用する音声 masking 手法", 日本機械学会 環境工学総合シンポジウム 2014, CD-ROM 論文集 No. 113, 2014

3) Xun Wang, Yosuke Koba, Satoshi Ishikawa and Shinya Kijimoto "Development of indoor hybrid active noise

barrier", 22nd International Congress on Sound and Vibration (ICSV22) 招待講演 2015

4) Xun Wang, Yosuke Koba, Satoshi Ishikawa and Shinya Kijimoto, "Hybrid active noise barrier with sound masking (Experiment for verifying the noise attenuation performance in an office room and evaluation of maskers by listening experiments)", International Congress on Noise Control Engineering (inter-noise 2015), 2015

5) 藤田佑一郎, 王循, 木庭洋介, 石川諭, 雫本信哉, "各種 masker による音声 masking 効果及び心理的影響の比較(第2報: 心理実験による masker の評価)", 日本機械学会 第25回環境工学総合シンポジウム 2015, 講演番号 103, 2015

6) 石川尚ノ助, 雫本 信哉, 石川 諭, 王循, "能動音響制御を用いた周波数スペクトル変形による音声 masking 手法", 日本機械学会九州支部第 69 期総会・講演会, 2016

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

雫本信哉 (KIJIMOTO, Shinya)

九州大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 30204861

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

石川諭 (ISHIKAWA, Satoshi)

九州大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 60612124

木庭洋介 (KOBA, Yosuke)

九州大学・工学部・技術専門職員

研究者番号: 20380602