

伝播過程におけるセンシング技術とその逆問題に関する研究

著者	広林 茂樹
著者別名	Hirobayashi, Shigeki
雑誌名	博士学位論文要旨 論文内容の要旨および論文審査結果の要旨 / 金沢大学大学院自然科学研究科
巻	平成11年6月
ページ	376-379
発行年	1999-06-01
URL	http://hdl.handle.net/2297/16242

氏名	広林茂樹
生年月日	
本籍	富山県
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博乙第177号
学位授与の日付	平成10年9月30日
学位授与の要件	論文博士(学位規則第4条第2項)
学位授与の題目	伝播過程におけるセンシング技術とその逆問題に関する研究
論文審査委員	(主査) 木村 春彦 (副査) 船田 哲男, 西川 清, 村本健一郎, 武部 幹

学位論文要旨

Abstract

This paper summarizes previous studies concerning sensing technology and the inverse problems pertaining to flow and sound fields. Information concerning the generation of gas or sound tends to be distorted during its transmission from the source to the point of observation or by the influence of environmental variables. As a result, the signals of gas or sound picked up at the point of observation are different from those at the point of generation. It is therefore difficult to accurately assess the original features of such gas and sound at a point distant from the point of generation. This paper proposes techniques to overcome these major problems from various viewpoints. This report focuses primarily on two topics: (1) sensing technology and the inverse problems pertaining to gas sensors in flow fields, and (2) analyses and the inverse problems pertaining to sound transmission in sound fields. Chapters 2 through 7 discuss flow fields, and Chapters 8 and 9 deal with sound fields. These are basic studies whose purpose is to help create models of transmission in flow and sound fields and to develop practical applications of sensing technology.

本論文は、流体場と音場におけるセンシング技術とその逆問題に関して研究をまとめたものである。ガス或いは音の発生源から観測点に達する間に起こる伝播過程や環境変数の影響によって発生情報が歪み観測信号が見かけ上変化するため、観測点では発生源の状態を把握することは難しい。そこで本論文では、様々な視点からこれら重要な問題を解決する手法を提案した。

流体場におけるガスセンサでは、温度・湿度といった室内環境変化に着目し、観測信号からその影響を取り除くことを試みた。酸化スズ系ガスセンサの出力値は媒質ガス濃度以外に室内の温度・湿度に大きく依存する。第2章では、センサ出力値から室内固有環境の影響を取り除くため、温度・湿度変化に対しガスセンサ濃度特性曲線のモデル化を試みた。特性曲線を反比例関

数の一般系で導出し、未定係数を温度・湿度の線形一次近似で近似した。その結果、一般の住環境下では温度・湿度各係数は 10%以内の誤差範囲で線形近似でき、一般家庭における実測実験ではモデル化した特性曲線が全体の大きさに対し平均 5%程度の誤差範囲で近似できることがわかった。

室内環境汚染度を定量的に計測するため、6 つのガスセンサから各出力信号を解析し、単一ガス(7 種)、複合ガス(1 種)計 8 種類の検知実験を試みた。第 3 章では各ガス毎に独立した認知ルールをプロダクションシステムを用いて構築した。反応媒質に対して 6 つのセンサ出力値をベクトル化し、6 次元ベクトル空間でガス種毎に判定領域を定め入力信号に対して、ガス種の認知とその簡易的な濃度指標値を算出した。その結果、6 次元ベクトル空間では 8 つのガス種判定領域はほぼ独立して存在することがわかった。また、判定実験では定常出力に近い低濃度域でわずかな判定ミスが確認されるものの、濃度指標値から判定を補える情報が得られることがわかった。濃度補正を与えないときの認知率は 99.9%で濃度補正を考慮するとほぼ 100%の認知率が得られる可能性を示した。

第 4 章では、複合ガスにおける混合比とその濃度を求めるため、2 種類の複合ガスについてガスセンサの特性をモデル化することを試みた。さらに、特性の異なるモデル化された 2 つのガスセンサを用いて、複合ガスを構成する単一ガス混合比とその濃度を求める手法を提案した。本手法をエタノールとアンモニアから構成される複合ガス、エタノールと一酸化炭素から構成される複合ガスにそれぞれ応用した。その結果、センサ対数抵抗値が、各ガス種の対数濃度に対し独立しておらず、非線形(曲面的)に変化することがわかった。また、この特性をモデル化し、複合ガスの混合比と濃度値を求めた結果、正確な濃度値を導出できる見通しを得た。

ガスセンサを用いた環境変動要因の同定では室内のガス残留成分が問題となっている。第 5 章では、センサ観測信号より室内残留成分を除去するため、ガス伝達場の線形性について解析した。一般に、ガス流体場は Navier Stokes の方程式に表わされるように非線形場である。しかし、本章では、流体速度が遅い場合に線形場で近似できることに着目し、線形システムによってガス伝達場をモデル化した。測定実験によって非線形成分を定量的に調べ、その可能性について検討した。その結果、一般家庭における測定実験では 90%以上で残留成分が軽減できることがわかった。

空間制御において、人の活動を認知することは重要な問題である。第 6 章では、室内空間を線形システムによってモデル化し、可燃性ガスセンサを用いて空間環境変動を解析した。その結果、

- ・ ガスセンサの応答特性から部屋固有のガス拡散係数が推定されること、
- ・ 空間伝達特性がガス拡散係数のみによって記述できること、
- ・ 推定された空間伝達特性の逆フィルタリングによりセンサ応答信号から駆動信号が求められること、

がわかった。また、日常生活の変動を測定した実測実験では、人の活動量に比例した駆動信号が得られた。これにより可燃性ガスセンサを用いた振り舞い認知において、センサ応答信号の残留成分を除去することで、従来法に対し精度改善の見通しが得られた。

一般に流体における伝達系は Navier Stokes の方程式で記述される非線形場である。しかし、室内気流の状態変化が小さい場合には、非線形場で近似できることが知られている。第 7 章では、室内空間におけるガス伝達系を線形システムによってモデル化し、可燃性ガスセンサの応答信号から人間活動の生活活動による空間環境変動としてとらえられるガス発生事象信号の抽出を試みた。はじめに、センサ応答信号から最小位相ケプストラムのロータイムウインドウイング処理によって、室内のガス発生源からセンサに至る伝達特性を抽出できることを明らかにした。その結果、ガス伝達系の最小位相特性に着目したブラインド・デコンボリューションによって、観測信号から過去に発生したガスの室内残留成分の影響を軽減して、ガス発生に伴う事象信号の概略が復元できることがわかった。これらは一般家庭におけるモニタリング実験によって確認された。

散乱体による散乱音場の研究は、頭部伝達関数の推定や室内伝達関数の変動予測などに重要である。特に R. Lyon は球体散乱音場伝達関数が、最小位相特性を有すると予測した。第 8 章では、剛球および軟球による散乱音場の位相特性を数値的に解析し、R. Lyon の予測を検証した。その結果、

- ・ 剛球散乱音場における散乱波は、球体前方では最小位相特性を有し後方では非最小位相であること、
- ・ 球体後方では遠方になるに連れ all-pass 成分が減少し、次第に最小位相特性に漸近すること、
- ・ 軟球散乱波は観測点によらず最小位相特性を示すこと、

を明らかにした。また球体散乱波を全零モデルで近似し、散乱波の位相特性の変動を零点の軌跡によって解析した。反射波と回折波からなる散乱波は、球体後方では反射波に比べ回折波のエネルギーが大きく、観測点が球体前方へ移動するにつれて反射波のエネルギーが大きくなる。これによって、球体後方から前方になるにつれ複素周波数平面上で虚軸上の零点が非最小位相から最小位相に変化することがわかった。散乱波は低周波数領域を除けば最小位相特性になり、球体散乱波の実測実験によっても確認された。

残響のある室内で観測された信号から音源波形を回復する研究は、機械故障診断や拡声系会議通話の明瞭度向上にとって重要である。第 9 章では残響音場伝達関数の逆フィルタリング処理を施すことなく残響時間情報のみから原音声波形回復の可能性を検討した。室内インパルス応答のパワーエンベロープを指数関数で近似し、残響信号のパワーエンベロープ逆フィルタ処理によって音声信号の包絡線を復元した。その結果、残響音場における変調雑音信号による実験では、残響時間約 1 秒で変調周波数 10Hz の場合、回復信号と残響信号の各変調度の差を用いた変調度改善指標では 60%改善された。残響音声回復実験でも、原音に対する回復信号と残響信号の比率が 3dB 回復できることがわかった。また、残響音声の帯域分割処理によって、帯域毎のパワーエンベロープも改善されることがわかった。

以上、流体場ではガスセンサを用いて環境変化を検知するモニタリングシステムを構築することを試みた。まだ発展途上にあるガスセンサは、環境依存性やガス種選択性などの問題が大きく、前半の流体場におけるガスセンサでは、これら問題点を解決し、さらにモニタリングシステムに応用するための基礎研究として、ガスセンサ観測信号からガス発生事象信号の抽出を試みた。後

半の音の伝播問題では散乱音場と残響音場を例に取り、伝達関数を解析しその統計的な性質を明らかにすることによって、音響伝達関数の極零表現と変動予測理論、並びに、室内伝達系の測定を必要としない残響信号回復理論と手法、両者の開拓を行った。本研究は、ガスセンサを用いた環境変動モニタリングシステムによる人の活動検知や残響音場における音源信号回復に有効であると期待できる。

学位論文審査結果の要旨

平成10年6月29日に第1回学位論文審査委員会を開催、7月2日に口頭発表、その後に第2回審査委員会を開催し、慎重審議の結果以下の通り判定した。なお、口頭発表における質疑を最終試験に代えるものとした。

本論文は、流体場と音場におけるセンシング技術とその逆問題に関する研究を行っている。具体的には次のように要約できる。(1)環境変化の主な変動要因である温度・湿度に対しその応答をモデル化し、複数の特性の異なるガスセンサ群から検知ガス種ごとに認知ルールを導出したプロダクションシステムによりガス種検知システムを構築した。(2)環境変動モニタリングシステムにガスセンサを応用するための基礎研究として観測信号から人の活動に起因するガス発生事象信号を検出する手法を提案した。(3)散乱音場において伝達関数を解析し、その統計的な性質を明らかにすることによって、音響伝達関数の極零表現と変動予測方法を示した。(4)残響音場において室内伝達系の測定を必要としない残響信号回復手法を提案し実証した。

以上の研究結果は、ガスセンサを用いた環境変動モニタリングシステムによる人の活動検知や、残響音場における音源信号回復に代表されるセンシング技術や逆問題に大きく貢献するものであり、博士(工学)の学位を授けるに値するものと判定した。