

逆システム型音場制御の残響成分の変化に対する頑健性の調査

酒井 賢人[†] 竹内 太法^{††} 立蔵 洋介[†]
[†] 静岡大学工学部 ^{††} 静岡大学創造科学技術大学院

1. はじめに

逆システム型音場制御は、室内伝達特性を打ち消す逆フィルタを設計し、複数の受音点に対してそれぞれ独立した音源を提示する手法である。逆フィルタの設計にはインパルス応答の測定が必要だが、空間の 3D スキャン技術の発達に伴い、残響時間さえ分かればインパルス応答の空間的補間が可能となる [1]。目的空間の残響時間が未知の場合を想定し、逆フィルタ設計時の残響時間と目的空間の残響時間のずれが再現精度にいかに関与を与えるかを調査する。

2. 逆システム型音場制御

逆システム型音場制御は図 1 に示すようなシステムであり、元音源 X に逆フィルタ H を畳み込み、スピーカ S から再生することで空間の伝達特性 G を打ち消し、マイク Y に元音源を提示する。各スピーカから各マイク間のインパルス応答を取得し、得られたインパルス応答を基に逆フィルタを設計する。本実験はスピーカ数がマイク数より多い優決定条件下で行うため、得られる行列について MP 一般逆行列を求め、窓関数をかけて両端を収束させることで逆フィルタを設計する [2]。逆フィルタ長は制御に重要であり、長く設計することで複雑な伝達系の制御を可能にする反面、再生音の遅延や計算コストの増加を招く。逆システム型音場制御の精度を数値で評価するために、新たに再現精度 acc を定める。

$$acc = 10 \log_{10} \frac{\sum_{n=0}^N (\sum_{m=1}^M |x_m[n]|^2)}{\sum_{n=0}^N (\sum_{m=1}^M |x_m[n] - \hat{x}_m[n]|^2)}$$

ただし、 N は出力信号の点数、 M はマイクの本数、 $x_m[n]$ は入力信号、 $\hat{x}_m[n]$ は出力信号を表す。

3. 再現精度の比較実験

逆フィルタ構築時の残響時間と逆フィルタ適応時の残響時間のずれが及ぼす再現精度の影響を調査した。本実験では計算機シミュレーションを用いるため、特定の空間的条件のみを変動させながらインパルス応答を生成することが可能である。容積 336m³、室温 24℃、湿度 34%、マイク 2 個、スピーカ 4 個の空間を構築した。空間の残響時間のみを 0.6 秒から 1.0 秒まで 0.1 秒刻みで変化させ、インパルス応答を生成し、計 5 つの逆フィルタを設計した。ただし、逆フィルタ点数は全て 32768 点、サンプリング周波数は 16000 Hz とした。単位インパルス元音源として、残響時間のみを 0.6 秒から 1.0 秒まで変化させた空間に対して作成した逆フィルタを用いて音場

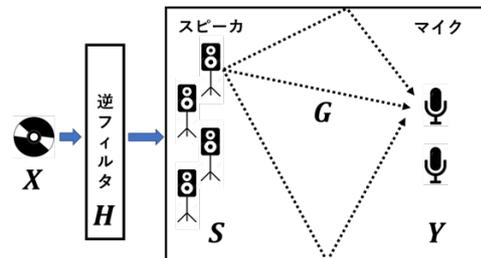


図 1 逆システム型音場制御

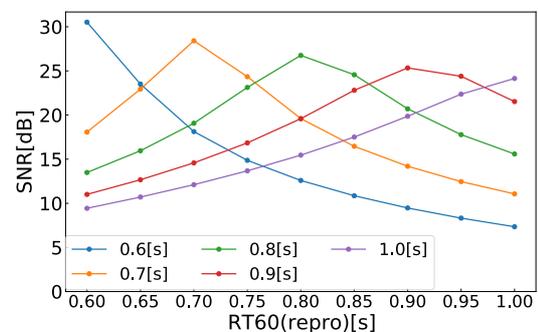


図 2 再現精度の比較結果

制御を行い、再現精度を計算した。

図 2 に各残響時間(0.6 秒から 1.0 秒)で設計した逆フィルタを用いて再現精度を導いた結果を示す。横軸は逆フィルタ適応時の残響時間、縦軸は再現精度を示す。設計時の残響時間が 0.6 秒と 1.0 秒の再現精度を比較すると、1.0 秒で設計した逆フィルタを用いた方が再現精度の低下を緩やかに抑えることができている。これは逆フィルタを 32768 点に固定して設計することで、それ以上の点数を必要とする複雑な伝達系を表現できずに緩和しているためである。また、先の 2 つのフィルタによる再現精度の最大値を見ると差は約 8 dB であり、0.6 秒で設計した逆フィルタを 0.7 秒の空間で適応した場合の精度の低下量と等しい。以上から、残響成分の変化に頑健な逆フィルタを設計するためには、残響時間を長めに設定し、かつ短い逆フィルタ長で設計すればいいと考えられる。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 19K12079 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 吉野 他, 平成 30 年度電気関係学会九州支部連合大会講演論文集, 04-1A-03, 2018
- [2] 伊里 他, 計測と制御 21 巻 8 号, pp. 763-772, 1982.