光学透過型 HMD を用いた三次元音響インテンシティの計測表示システム

Measurement and Display System of 3D Sound Intensity using Optical See–Through head Mounted Display

1w153040-5　片岡 優太　　指導教員　及川 靖広　教授
KATAOKA Yuta　　Prof. OIKAWA Yasuhiro

概要：ビデオ透過型ヘッドマウントディスプレイ（VSTHMD）を用いた可視化システムは，実空間上への計測結果の重畳が可能である．AR マーカを手持ち 4 点マイクロホンと計測対象となる空間の両方に設置し，同時に認識することによって計測点と計測対象となる空間の相対座標を把握した．しかし，計測対象が大きくなるにつれ空間に AR マーカを多数配置する必要があり，広範囲の計測は困難であった．本研究では光学透過型 HMD（OSTHMD）を用いた三次元音響インテンシティの計測可視化システムを提案する．SLAM 技術によって計測点と計測対象となる空間の座標関係を逐次取得し，広範囲の計測を多数の AR マーカを配置することなく広範囲の計測が行えるようになった．

キーワード：音の可視化，音響インテンシティ，拡張現実，複合現実，Simultaneous Localization and Mapping
Keywords: acoustic imaging, sound intensity, Augumented Reality(AR), Mixed Reality(MR), Simultaneous Localization and Mapping(SLAM)

1. ま え が き

音場の可視化技術は，音の物理現象を理解する手助けとなり，特に，実測に基づいた音場の可視化技術は，音空間で実際に生じた問題を捉えるうえで重要である．これまでも様々なシステムが提案されており，平面ディスプレイへ音場情報を重畳することによって可視化を行った．しかし，固定点の二次元情報から奥行き情報を把握することは困難であり，音場全体の把握には多視点からの計測と可視化が必要であった．

そこで，本研究室では，これまで AR/MR を利用した音場の計測可視化システムを提案し，実空間上への計測結果の重畳の有効性を示してきた [1, 2]．近年，急速に発展してきている AR/MR は，視覚の奥行き方向の情報提示や視点の移動と連動した情報提示を可能とする．それゆえ，計測者は手持ち 4 点マイクロホンで対象となる空間を走査するだけで，計測結果がヘッドマウントディスプレイ（HMD）を通して奥行き情報を持つ 3DCG モデルとして情報提示される．

このような実空間への計測結果の重畳には，計測点と計測対象となる空間の座標関係が逐次必要となる．HMD とステレオカメラを組み合わせたビデオ透過型 HMD を用いた三次元音響インテンシティの可視化システム [2] では，AR マーカを手持ち 4 点マイクロホンと計測対象となる空間の両方に設置し，同時に認識することによって相対座標を取得した．しかし，カメラは空間に設置した AR マーカに対して一定の距離以上離れると，AR マーカの認識が外れるため，計測対象が大きくなるにつれ空間に AR マーカを多数配置する必要があり，広範囲の計測は困難であった．

そこで本研究では，多数の AR マーカを配置せずに広範囲の三次元音場の計測および可視化を目的として，光学透過型 HMD を用いた三次元音響インテンシティの計測可視化システムを提案する．OSTHMD に付随する SLAM 技術によって，カメラや距離センサ等の情報を利用して，実空間のマッピングと自己位置推定を同時に行うことが可能になる．それゆえ，提案システムでは，計測点の位置のみを AR マーカを用いて推定し，計測者の自己位置と向きを SLAM 技術によって推定することで計測点と計測対象となる空間の座標関係を逐次取得できるようになる．本稿では，スピーカを設置した室内での音場計測を行い，VSTHMD を使った従来システムと比較して提案システムの有効性を示す．

2. シ ス テ ム

OSTHMD と 2 種類の AR マーカを用いた三次元音響インテンシティの計測可視化システムを提案する．本システムでは Microsoft が発表した HoloLens を OSTHMD として使用する．

まず，計測者は OSTHMD を装着し，計測対象となる空間において周囲を見渡すことで，空間マップの作成を行う．次に，計測対象の空間内に 1 つ AR マーカ（空間基準マーカ）を配置し，一度マーカ認識を行い，AR マーカの中心点を空間マップの原点座標と決める．空間基準マーカ位置に対して計測データの座標情報を関連付けて保存することで，再度計測結果を重畳する際に空間マップが必要とならず任意の環境で再現できる．

AR マーカ（マイクマーカ）付き 4 点マイクロホンアレイを用いて，計測対象となる音場を手でゆっくりと走査することで計測を行う．マイクマーカを認識すること

表–1　室内全体を可視化する実験条件

システム	従来システム	提案システム
使用機器	VSTHMD	OSTHMD
大気密度 [kg/m^2]	1.167	1.163
仮想オブジェクトの間隔 [m]	0.04	0.10
暗騒音 [dB]	30.3	
音圧レベル [dB] (スピーカ正面 1.0m 位置)	80.0	

で計測点の座標情報と回転情報を取得し，重畳された音場情報に対して一定の距離以上離れると，自動的に計測結果が重畳される．したがって，計測者は 4 点マイクロホンアレイを計測対象となる空間内において自由に動かしながら計測ができる．ただし，ドップラ効果などの影響が小さい範囲の速度でマイクロホンアレイを動かす必要がある．

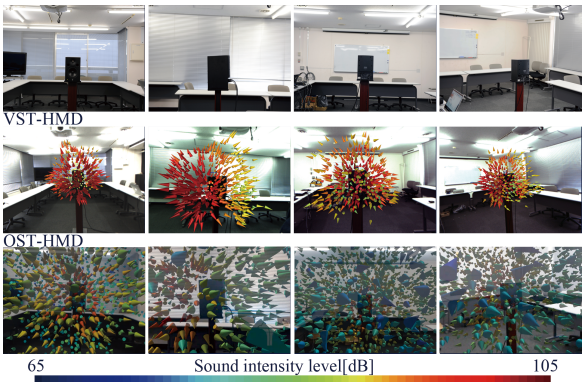
マイクロホン間隔 5 cm の 4 点マイクロホンアレイから取得された音響信号はオーディオインターフェースを通して PC に送信され，三次元音響インテンシティとして算出される．三次元音響インテンシティはクロススペクトル法を用いて 2 点間のインテンシティを求め，それらを合成することによって算出される．算出結果は，即座に User Datagram Protocol（UDP）通信で Wi-Fi を経由して OSTHMD に送信される．計算結果の送信間隔は計測者が解析時間を下回ることがなければ任意に決めることができる．計測結果が重畳可能ならば，先にマイクマーカによって取得した座標情報，回転情報と併せて円錐型 3DCG オブジェクトを作成し，実空間上に重畳する．円錐型 3DCG オブジェクトの色はインテンシティレベルを表し，円錐の頂点方向がインテンシティの向きを表す．

ただし，本手法は，マイクロホンアレイを走査して音場を計測するため，可視化可能な音場は定常的であると仮定可能な音場にて計測する必要がある．したがって，スピーカのように制御可能な音場や，エンジン音などの定常的な雑音に対して適用が可能である [2]．

3. 比 較 実 験

提案システムの有効性を示す目的で，1 つの空間基準マーカを使うという条件のもと，VSTHMD を使った従来システムと提案システムを使って計測表示し，計測範囲の比較を行った．室内に設置したスピーカ（YAMAHA MSP7 STUDIO）から定常的な音場を仮定できるホワイトノイズを再生した．実験室は早稲田大学 59 号館 415 教室（5.4 m × 8.7 m × 2.3 m）を使用する．サンプリング周波数を 44100 Hz，解析時間を 92.9 ms，そして分析周波数を 707–1414 Hz とした．ほかの計測の条件を表–1 に示す．

従来システムは AR マーカとして 7 cm 四方の立方体をスピーカの上に設置し，本システムでは同様の位置に



図–1　室内の三次元音響インテンシティ分布．
中段: 従来システムによる可視化
下段: 本システムによる可視化

平面の AR マーカを設置し実験を行った．

計測した三次元音響インテンシティ分布の視点映像を図–1 に示す．上段に計測対象となる実験室の映像，中段に従来システムを使って計測した可視化結果，下段に提案システムを使って計測した可視化結果の 4 方向からの映像を示す．従来システムの計測範囲は，立方体のマーカを中心に 0.6 m の範囲であることが分かった．ただし，AR マーカの位置推定は，光量や距離の影響を受けやすいため，AR マーカのサイズや形状，材質によって計測範囲は異なる．一方，提案システムは計測前に SLAM によって実験室内の空間マップを作成し，空間マップ内に存在する平面の AR マーカを一度認識するだけで実験室内の音場を計測，可視化，および音場の保存が可能である．以上のことから，従来システムでは立方体マーカのように空間基準マーカの配置方法を工夫して計測範囲の拡大を行っていた一方，提案システムは単一の空間基準マーカを一度だけ認識することで空間基準マーカに縛られない広範囲の可視化を実現した．

4. む　す　び

本研究では，OSTHMD と SLAM による空間認識を用いた三次元音響インテンシティ計測表示システムを提案した．SLAM とマイクマーカにより座標関係を逐次取得することで，広範囲の三次元音場の計測，可視化を可能にした．VSTHMD を使った従来システムと比較実験を行うことで，本システムの有効性を示した．今後は本システムの精度の向上を目的とし，4 点マイクロホンアレイの走査によって生じるドップラ効果や計測者によって生じる音場の影響などを検討する．

参 考 文 献

[1] W. Teraoka, Y. Kataoka, Y. Oikawa and Y. Ikeda, “Display System for Distribution of Virtual Image Sources by using Mixed Reality Technology,” Inter-noise 2018, Aug. 2018.
[2] Atsuto Inoue, Yusuke Ikeda, Kohei Yatabe and Yasuhiro Oikawa,“Visualization system for sound field using see-through head mounted display,” Acoust. Sci. & Tech., (accepted).