

Multiple Vertical Panning を用いた立体音響システムにおける 奥行き表現の臨場感への影響*

○木村敏幸 (東北学院大学)

1 はじめに

我々はこれまでに大画面ディスプレイに適合した立体音響システム (Multiple Vertical Panning, 以降「MVP 方式」と呼ぶ) を提案し [1], 実用化の可能性も示してきた [2]. MVP 方式はディスプレイの上下に配置したスピーカアレイを用いて映像の音源位置に合わせた音を再生させることで, 視聴者に映像の音源位置から実際に音が提示されているように感じさせる立体音響システムである. しかしながら, MVP 方式による音の奥行き表現が可能であるかは全く検討されていなかった.

そこで, 本報告では, MVP 方式による奥行き表現の可能性を検討するために, 奥行き表現を伴った視聴覚提示システムを制作し, 制作したシステムを用いた臨場感の評価実験を実施する.

2 MVP 方式の原理 [1, 2]

Fig. 1 に MVP 方式の基本構成を示す. まず, Fig. 1 の上側に示すように, 映像の位置の上下に 2 個のスピーカを配置する. そして, 音源に音量差をつけて 2 個のスピーカから音を再生 (すなわち「垂直パニング」) すると, 視聴者は 2 個のスピーカの間で音が鳴っているように感じるようになる. その際, 適切な音量差を設定することによって, 視聴者は映像の位置で音が鳴っているように感じるようになる. 音が鳴っているのはディスプレイの上下に配置した 2 個のスピーカだけなので, 複数の視聴者はどこにいても常に映像の位置で音が鳴っているように感じることができる.

さらに, Fig. 1 の下側に示すように, ディ스플레이の上下に複数のスピーカ対を配置することによって, 音像を表現できる位置がディスプレイの上下方向のみならず左右方向にも拡大される. これにより, 複数の視聴者はどこにいても常にディスプレイ上の映像の位置で音が鳴っているように感じることができる.

3 制作システム

Fig. 2 に制作システムの構成図を示す. 映像ディスプレイには 55 インチの 4K テレビ (TOSHIBA: 55J20X), スピーカには市販のスピーカユニット (ダイトーボイス: AR-10N) を市販の密閉型エンクロージャ (ダイトーボイス: EX-10 BK) に取り付けたものを使用し, ソフトウェアにはゲームエンジンの Unreal Engine [3] (ver. 4.16.3) とビジュアルプログラミング言語の Max [4] (ver. 7.3.5) を使用した. Unreal Engine では, 四角錐の 3 次元 CG が奥行き方向に移動する映像を映像ディスプレイ上に表示し, 四角錐の位置情報を OSC (Open Sound Control) 信号で送信した. 一方, Max では, OSC 信号を受信し, 受信した水平及び垂直位置に従ってスピーカアレイから音を再生し, 受信した奥行き位置に従って音量を変化させた. その結果, 視聴者は四角錐の位置で音が鳴っているように感じるほか, 音量の変化による臨場感を感じるようになることが期待される. Fig. 3 に制作システムの実行風景を示す.

Max における音の再生は以下の手順により実施した. まずは受信した水平位置を基に, 下記の式によってディスプレイ上下に配置した 2 個の再生用スピーカを選択する.

$$P'_H = \Delta d \text{round} \left(\frac{P_H + 0.54}{\Delta d} \right) - 0.54 \quad (1)$$

但し, $P_H (= -0.605 \sim 0.605)$ は受信した水平位置, $P'_H (= -0.54, -0.405, -0.27, -0.135, 0, 0.135, 0.27, 0.405, 0.54)$ は選択した 2 個の再生用スピーカの水平位置を表し, 0 がディスプレイの横中心位置に相当する. また, $\Delta d (= 0.135)$ は左右のスピーカ間隔を表す.

次に, 下記の式によって音源信号 $s(n)$ に上下の音量差をつける.

$$s_U(n) = a_U s(n) \quad (2)$$

$$s_D(n) = a_D s(n) \quad (3)$$

*Effect of the depth expression on sense of presence in 3D audio system using multiple vertical panning. by KIMURA, Toshiyuki (Tohoku Gakuin University)

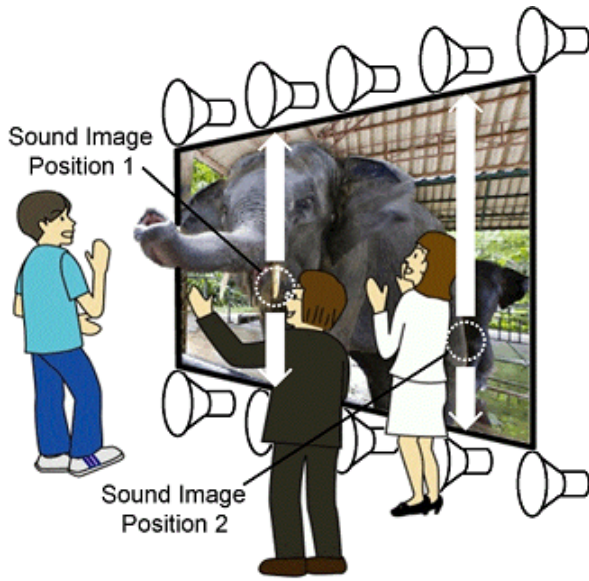
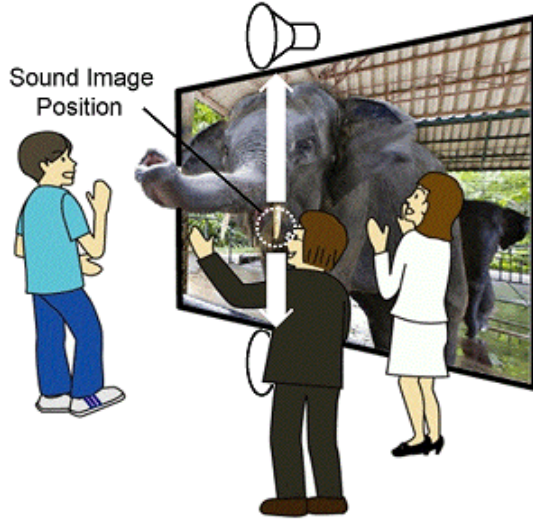


Fig. 1 Basic configuration of the multiple vertical panning (MVP) method.

但し, $s_U(n)$, $s_D(n)$ は上側及び下側のスピーカへの音信号, a_U , a_D はそれぞれのゲイン係数を表し, 音量差 $\Delta A[\text{dB}]$ から下記のように定義される.

$$a_U = \frac{10^{\frac{\Delta A}{20}}}{\sqrt{10^{\frac{\Delta A}{10}} + 1}} \quad (4)$$

$$a_D = \frac{1}{\sqrt{10^{\frac{\Delta A}{10}} + 1}} \quad (5)$$

本システムでは音量差 ΔA は先行研究 [1] に従い, 下記のように設定した.

$$\Delta A = \frac{P'_V + 0.1437}{0.1065} \quad (6)$$

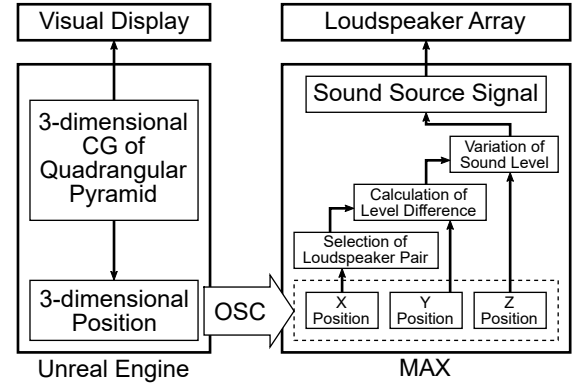


Fig. 2 Configuration of developed audio-visual display system.



Fig. 3 Image of developed audio-visual display system.

但し, $P'_V (= \frac{2.5}{0.86} P_V + 0.0654)$ は先行研究 [1] とは上下のスピーカ間隔が異なることにより設けた補正した垂直位置であり, P_V は受信した垂直位置を表す.

最後に, 下記の式によって音量を変化させ, 選択した 2 個の再生用スピーカから再生する.

$$x_U(n) = a_Z s_U(n) \quad (7)$$

$$x_D(n) = a_Z s_D(n) \quad (8)$$

但し, $x_U(n)$, $x_D(n)$ は上側及び下側のスピーカから再生する音信号, $a_Z (= 0 \sim 1)$ は受信した奥行き位置に対応するゲイン係数を表す. 本システムでは下記のように設定した.

$$a_Z = \frac{P_Z^{\text{MAX}} - P_Z}{P_Z^{\text{MAX}} - P_Z^{\text{MIN}}} \quad (9)$$

但し, P_Z は受信した奥行き位置, P_Z^{MIN} , P_Z^{MAX} は奥行き位置の最小値及び最大値を表す.

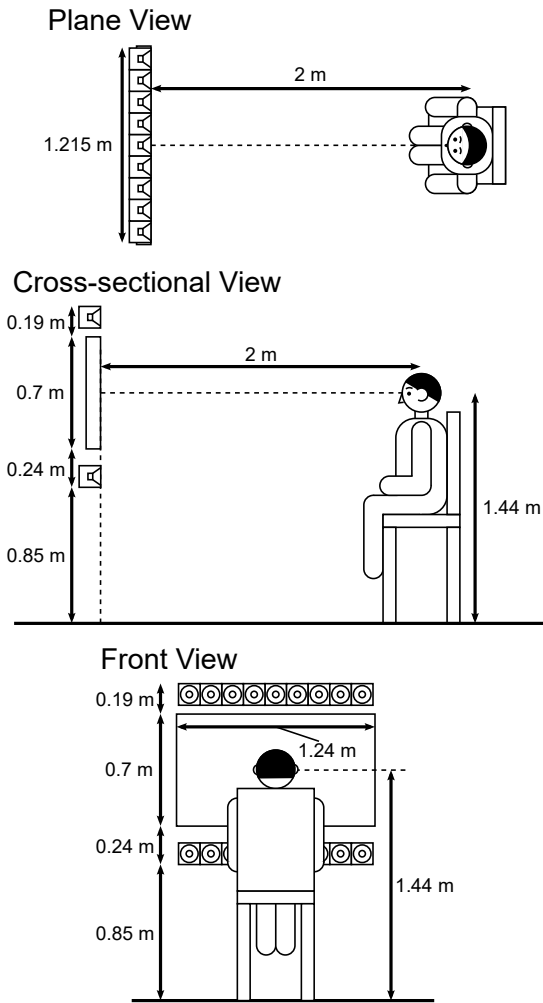


Fig. 4 Position of viewers, visual display and the loudspeaker array in the evaluation experiment.

4 評価実験

4.1 実験環境・条件

実験は暗騒音レベルが40.2 dBAである研究室内の実験室にて行った。Fig. 4に示すように、映像ディスプレイの中心から2m離れた地点に視聴位置を設定した。視聴位置の高さは視聴者の耳の位置において1.44 mとした。

今回の実験ではTable 1に示すような計4種類の実験条件を設定した。すべての実験条件において、四角錐は常にディスプレイの中心に配置し、最も遠い位置から最も近い位置に一定速度で移動させた。表中の「移動時間」は四角錐の移動に要した時間を表す。また、本実験では音には白色雑音を用いた。音量の変化がない条件では、 a_z は常に1とした。

Table 1 Experimental conditions in the evaluation experiment.

Index	Sound level variation	Moving time
(i)	No variation	5 seconds
(ii)	No variation	10 seconds
(iii)	Variation	5 seconds
(iv)	Variation	10 seconds

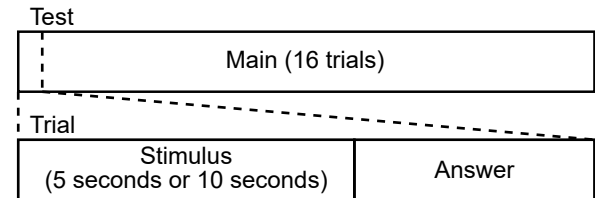


Fig. 5 Flowchart of the evaluation experiment.

4.2 実験計画・手順

視聴者は5名である。実験の流れ図をFig. 5に示す。実験では、計16回の本試行を行った。試行の提示順序は視聴者ごとにランダム化した。本試行の詳細をTable 2に示す。

視聴者には提示した刺激音の臨場感を評定させた。その際、評定はTable 3に示すような5段階とした。また、評定の際には視聴者は頭部や上半身を自由に動かすことができた。

4.3 実験結果及び考察

実験条件ごとの平均評定値をFig. 6に示す。エラーバーは95%信頼区間を表す。表現手法(2水準)及び移動時間(2水準)を要因とする二要因分散分析(全て被験者間要因)[5]を実施したところ、表現手法に関する主効果が1%水準で有意である($p = 0.0076$)一方で、移動時間に関する主効果($p = 0.7772$)や交互作用($p = 0.3011$)は有意ではなかった。Fig. 6と分散分析の結果から考察すると、今回の実験では奥行き位置に応じて音量を変化させた方が、移動時間に関係なく臨場感が向上すると言える。

Table 2 Trial of the evaluation experiment.

	Element	Note
Main (16)	= 4 conditions × 4 repetitions	(i)-(iv) of Table 1

Table 3 Scale of the evaluation experiment.

Grade	Judgment
5	Excellent
4	Good
3	Fair
2	Poor
1	Bad

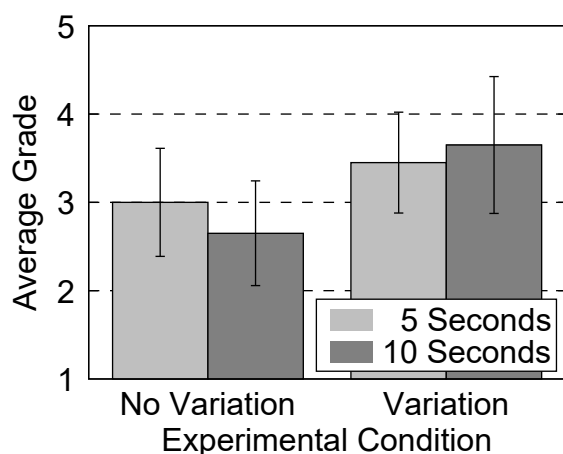


Fig. 6 Results of the evaluation experiment.

5 おわりに

本報告では、MVP方式による奥行き表現の可能性を検討するために、奥行き表現を伴った視聴覚提示システムを制作し、臨場感を評価した。その結果、奥行き位置に応じて音量を変化させた方が、移動速度に関係なく臨場感が向上することが分かった。

今回制作したシステムは奥行き位置に応じて模擬的に音量を変化させたため、今回の実験結果がすべての奥行き位置に対して適応できるかは分からない。そこで、今後は物理的な奥行き位置に対応する音量変化手法を提案し、その効果を検証する必要がある。

また、評価実験においても、ステレオホニックのような従来法や、複数の視聴位置といった条件を加えてさらに評価する必要がある。

謝辞 研究の遂行にあたり、システム制作および評価実験を担当して下さいました古田航大氏に感謝の意を申し上げる。

参考文献

- [1] T. Kimura and H. Ando, “3D Audio System Using Multiple Vertical Panning for Large-screen Multiview 3D Video Display,” *ITE Trans. on Media Tech. and App.*, 2 (1), pp. 33–45, 2014.
- [2] T. Kimura and H. Ando, “Effect of Discretization of Sound Source Position on Sense of Presence in 3D Audio Systems Using Multiple Vertical Panning,” *Trans. VR Soc. Jpn.*, 20 (3), pp. 179–188, 2015.
- [3] Unreal Engine, <http://www.unrealengine.com/>.
- [4] Max, <http://cycling74.com/products/max/>.
- [5] 森敏昭, 吉田寿夫編著, “心理学のためのデータ解析テクニカルブック,” 北大路書房, 1990, pp. 94–102.