



運動感覚提示システムのための LED を用いた 水中表現に関する検討

Examination on Underwater Expression Using LED for Vection Display System

中山雄介¹⁾, 青木広宙²⁾

Yusuke NAKAYAMA, and Hirooki AOKI

1) 公立千歳科学技術大学大学院 理工学研究科 (〒066-8655 北海道千歳市美々758 番地 65, m2220170@photon.chitose.ac.jp)

2) 公立千歳科学技術大学 理工学部 (〒066-8655 北海道千歳市美々758 番地 65, h-aoki@photon.chitose.ac.jp)

概要: われわれは, プロジェクタを用いた CG の投影を使わずに, 部屋全体に映像の投影を行う仮想空間表現について検討を行っている. 当該空間において身体感覚提示を行うことを目的として, 水中を模擬した陰影を LED により部屋全体に投影することで水中にいるような臨場感を与えるシステムを開発した. 本研究では, 水中動画を用いて水中での光の揺らめきを解析し LED の制御に反映させることで, 水中のリアルな表現ができるかについて検討した.

キーワード: 表現, ベクション提示, プロジェクタ

1. はじめに

VR 技術においては, 一般的に, モーショントラッキングにより得られた利用者の身体運動情報を元に, ディスプレイやヘッドマウントディスプレイに映し出されるコンピュータグラフィックス (以下, CG) を制御することで, 身体感覚の提示が行われている. われわれは, ヘッドマウントディスプレイ (以下, HMD) とコントローラーを用いて利用者に運動感覚を提示する方法について検討を行った[1]. 図 1 のように, 利用者はコントローラーをそれぞれの手に持って, 平泳ぎのように手を掻くような動きをする. 利用者の装着する HMD には, 図 2 のように利用者の肘から手までの動きが反映された映像が映し出される. 利用者の平泳ぎのような水泳動作に合わせて, 映像上の白い球体が奥から手前方向に近づいてくることで, 利用者に「自身の平泳ぎの動作によって前に進んでいる」という運動感覚を提示することができる.

以上の研究を含め運動感覚提示に関する先行研究のほとんどが, プロジェクタや HMD に映し出される CG をコントロールしていることに対し, われわれは, 図 3 に示すようなシステムを構築し, CG を使わない新しい運動感覚提示に関する検討を行ってきた[2]. このシステムがインタラクティブアートとしてインストールされた室内において, 鑑賞者が歩くと, 鑑賞者の位置に連動して図 3 の LED アレイ中の発光位置が変動する. 発光する LED チップが変動することで, 発光方向に配置されたオブジェクトの影

が移動する. オブジェクトの影は建造物のようでもあり, 鑑賞者は光による幻想的な空間を進んでいるかのような運動感覚を得る.

われわれは, 新しい運動感覚提示を目的とし, CG を使わずに LED によって空間全体に投影された影を操作する

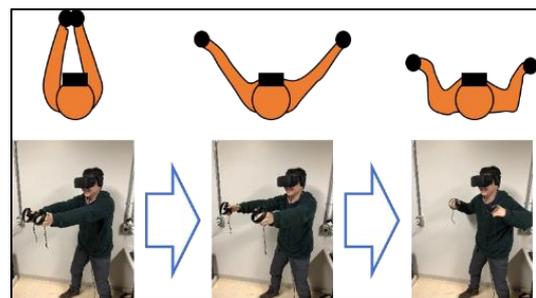


図 1 VR を用いた運動感覚提示

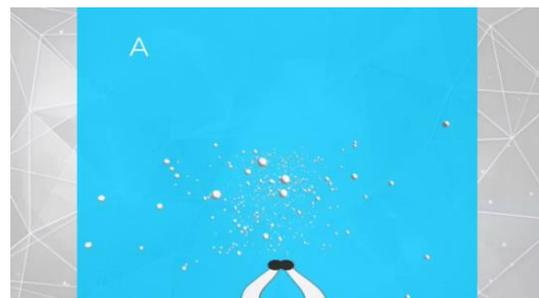


図 2 HMD に映し出される映像

ことで運動感覚提示を行うシステムを試作している[3]. 本システムでは, 利用者に水泳動作するように指示している. しかし, 壁に投影され陰影は水中を表現することを意図しているが, リアリティが低く, 臨場感を与えることができていないものと考えられた. そのため, 利用者が水中にいると認識できるように, 水中特有の光の揺らめきを部屋全体に投影できるように新しい表現方法に変更する必要がある.

そこで, 本研究では, CG を使わない運動感覚提示システムにおいて, 水中にいるような臨場感を与えるための表現方法について提案し, 妥当性について検討する.

2. 運動感覚提示システム

試作した運動感覚提示システムについて, 以下に説明する. システムの全体図を図 4 に示す. システムの利用者は, システムの正面に立ち, 平泳ぎのように両手を広げ前後に大きく動かす. 利用者の手の動きに連動して, LED アレイの中の LED チップの発光位置が変動する. LED アレイの外側はジェルビーズを充填した空のペットボトルで囲まれており, ジェルビーズを内側から照らすことで, ジェルビーズの影が壁に投影される. LED チップの発光位置の変動により, ジェルビーズの影が奥から手前に移動していく. 利用者の水泳動作にともなう陰影の移動を見ることで, 自身が空間中を前方に進んでいるという運動感覚を得ることができる.

2.1 システムの構成

システムでは, 利用者の手の動きをトラッキングするためのモーションキャプチャシステムとして, Microsoft 社製の Kinect V2 (以下, Kinect) を用いる. Kinect は, 汎用のモバイル PC (Panasonic 社 CF-NX4) に USB 接続されている. Kinect による利用者の動きのトラッキングには, Processing-4.0b8 (以下, Processing) を用いた. Processing は電子アートとビジュアルデザインのための統合開発環境である. LED アレイの制御には Arduino DUE (以下, Arduino) を用いる. PC と Arduino の間でシリアル通信を行うことで, 利用者の動きによる LED チップの発光位置を制御する.

ジェルビーズの内側は, 図 5. a に示すように LED アレイ 2 本が直角に交差しており, U の字に曲がった状態で固定されている. LED チップの点灯位置が LED アレイの端から交差の中心に移動していく. LED チップの光がジェルビーズを内部から照らすことで, ジェルビーズの影が利用者の正面の壁に対して中心から放射状に広がって像を結ぶ. 影は正面の壁だけではなく, 天井, 床, 利用者から見て左右の壁にも投影され, 左右の壁に投影された影は奥から利用者の横まで移動する. 天井に投影される影は, 奥から利用者の頭上まで移動する. 床に投影される影は奥から利用者の足元まで移動する.

2.2 動作原理

システムにおいて, Kinect のトラッキング機能により左

右それぞれの掌の座標をトラッキングすることで, 水泳動作による掌の前から後ろへの移動量を算出する. 掌の座標をフレーム毎に取得し, 以下の式(1)より掌の移動量を求める.

$$d_i = \begin{cases} |z_i - z_{i-1}| & (z_i - z_{i-1} \leq 0) \\ 0 & (z_i - z_{i-1} > 0) \end{cases} \quad (1)$$

ここで, d_i は i 番目のフレームにおける掌の移動量, z_i は i 番目のフレームにおける掌の Z 軸方向 (奥行き方向) の座

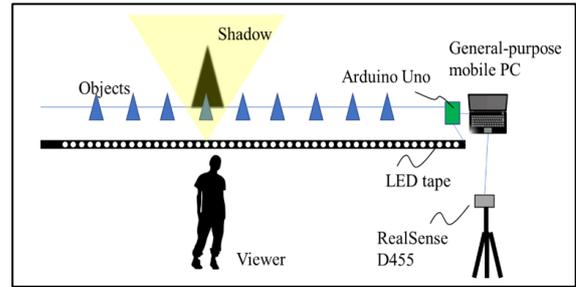


図 3 CG を使わない運動感覚提示システム

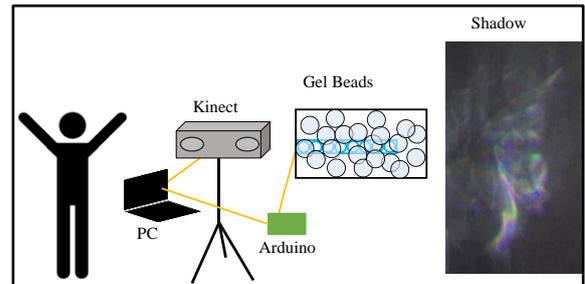
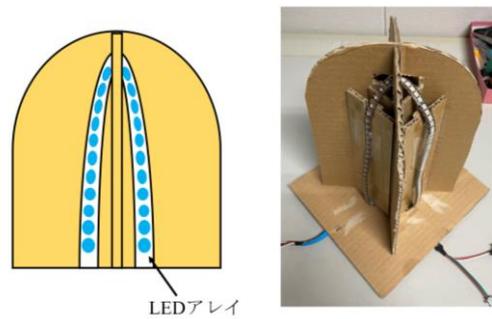


図 4 システムの全体図



a) 内部の発光部



b) ジェルビーズ

図 5 LED テープの配置とジェルビーズ

標, z_{i-1} は $i-1$ 番目のフレームにおける掌の Z 軸方向の座標を示す. フレーム毎に d_i を計算し, 負の値のときに, 掌を前から後ろに動かしていることになる. このとき, d_i の値を Arduino に送信する.

Arduino においては PC から受信した数値の分 LED チップの発光位置を LED アレイの端から, 交差している中心部方向に移動させる. 例として, Arduino に 3 という数値が送られてきたとき, 現在発光している LED チップから 3 つ分, 中心部に向かってひとつずつずらして発光させる. この結果, 図 7 のような陰影がシステムの上下左右の壁面に投影される. フレーム毎に LED チップの発光位置をずらしたとき, 図 7 のように赤い丸印により囲まれた陰影が右から左に移動していることがわかる. 陰影は, 利用者から見て奥から手前に向かって, 移動していくことになる.

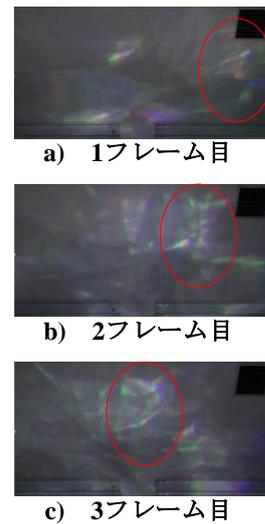


図 7 陰影の動き

3. 提案手法

本システムは, 利用者在水中という仮想空間内にて運動感覚を提示させることを意図しているため, 利用者が水中にいると認識できるような表現をしなければならない. そのため水中特有の光の揺らめきを陰影として投影できるような新しい水中の表現方法を提案する. 本研究では, 実際的水中で撮影された動画を解析し, LED の制御に反映させることで, 水中特有の光の揺らめきを表現する方法を提案する.

3.1 動画処理

実際的水中動画を解析することで LED チップの明度の変化を決定する. 水中動画には 30fps で 10 秒間, 計 300 フレームの動画を使用した.

水中動画から 160×160 ピクセルの範囲を切り出し, 図 8 のように, 1 ブロックが 20×20 ピクセルになるように縦横 8 個ずつで 64 個のブロックに分割する. ブロック毎に画素値を RGB 表色系から HSV 表色系の数値に変換する. HSV 表色系とは, 色を色相・彩度・明度の 3 要素で表現する方式のことである. 各ブロックで 1 ブロックに含まれる 20×20 ピクセルの明度値の平均を求める. これを全 300 フレームで行うことで, 各ブロックのフレームに対する明度の波形を得ることができる.

この波形に対して, FFT(Fast Fourier Transform)を行った. 図 9 のグラフは 64 個のブロックのうちのひとつを FFT した結果得られた振幅スペクトラムである. グラフより 0.1~3.5Hz までの周波数成分が主要な成分であることがわかる. ここでは, 0.1~3.5Hz 以外の周波数成分を取り除き, 明度の時間変化を波形として算出する. なお, 図 9 のスペクトラムにおいては, 直流成分の値が他の周波数成分より大きいため, 除いて示している. 水中の明度の変化を抽出するために, 直流成分の値を除き, 0.1Hz~3.5Hz の周波数成分を用いている.

3.2 LED の制御

本研究では水中での光の揺らめきを表現できているか

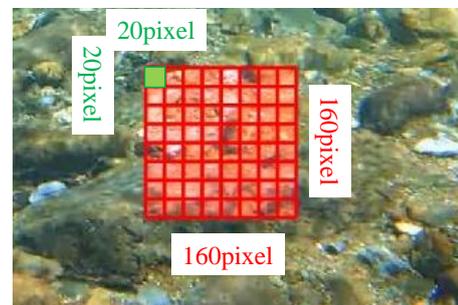


図 8 64 個のブロック

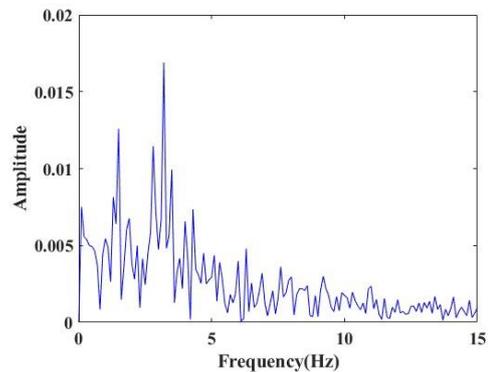


図 9 明度変化の振幅スペクトラム

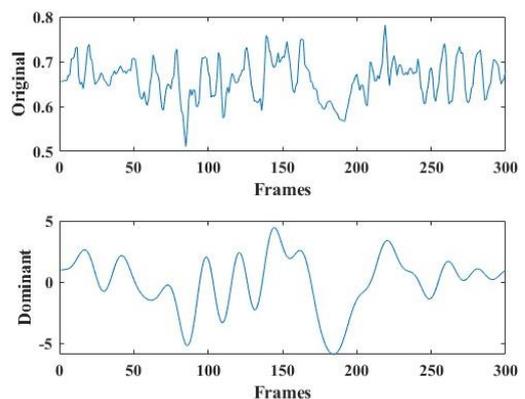


図 10 LPF 適用前 (上) と適用後 (下)

を確認するため、 8×8 のマトリクス状に並んだ LED を Arduino により制御する。LED チップに、対応したブロックのフレームに対する明度の値を Arduino に書き込む。1/30 秒間隔で各 LED チップに明度を設定して光らせる。明度の時間変化を波形として算出した際、直流成分の含まれる 0.1Hz を取り除いているため、図 10 の LPF 適用後のグラフのように一部が負の値となる。LED の明度は 0~255 までの整数で設定する必要がある。明度の値が正の値となり、また、明度の変化を認識しやすいようにするために、以下の式(2)により明度を決定する。

$$v_{LED} = 2v + 20 \quad (2)$$

4. 実験

20 代男性 10 人を被験者として、本研究で検討した新しい水中の表現方法が今までのシステムと比べ、水の中にあるような臨場感を与えることができるか比較する実験を行った。被験者が想定する水中での光の動きと、実際の水中における光の動きとの間に違いが出ないように、比較の前に被験者には解析に使用した水中動画を見てもらう。今までのシステムによる表現方法と提案手法による表現方法をそれぞれ 30 秒ほど見てもらい「どちらのほうが実際の水中動画に近い光の動きになっているか」というアンケートに回答してもらった。アンケートの結果、10 人中 5 人が「提案手法による表現方法のほうが水中動画に近い」と回答した。

被験者からは提案手法による表現方法の改善点として、「水中動画の光は線のようにになっているが、壁に映る陰影の形が斑状になっていない」、「提案手法では光の形が薄くてわかりづらい」、「提案手法による表現では、光のチカチカ（明滅のこと）が少なすぎる」などの提案があった。

5. 考察

被験者に行ったアンケートの回答から、今までの表現方法と、本研究で提案した手法による表現方法では半数の被験者が提案手法による表現方法のほうが水中動画に近いと感じたことがわかった。しかし、被験者からは、光の揺らめき方は水中動画に近いが、壁に映る光の形が水中のものとは違うという意見があった。今後の課題として、図 11 のような水中動画における斑状の光が揺れ動くような陰影を再現するため、LED の明度変化方法と陰影の生成方法を変更する必要がある。また、今回の提案手法では HSV 表色系の明度情報のみを使用したがる、色相・彩度の情報を使うことで、より水中動画に近い表現ができるものと考えられる。



図 11 水中動画における斑状の光

6. おわりに

本研究では、CG を使わない運動感覚提示システムにおいて、水中にいるような臨場感を与えるための表現方法について提案し、妥当性について検討した。水中でのリアルな光の揺らめきを表現するため、実際の水中で取得された動画を用いた。水中動画の RGB 表色系を HSV 表色系に変換し、フレームに対する明度の波形を取得する。取得した波形から主要な低周波成分を残し、高周波を除去することで LED の明度変化を算出した。

アンケートにより、試作中の水中の表現方法と、本研究で提案した手法による表現方法を比較した結果、被験者の半数が提案手法による表現方法のほうが光の揺らめき方が解析に使用した水中動画に近いという回答があった。しかし、被験者からは光の揺らめき方は水中動画に近いが、壁面に映る光の形が水中の斑状と異なるという意見も挙げられた。今後の課題として、斑状の光の揺れを再現するような陰影の生成方法と、HSV 表色系の色相・彩度の情報を使った LED の明度変化方法について検討する必要がある。

参考文献

- [1] 青木広宙, “仮想現実環境における水泳動作中の疑似力触覚生起に関する検討”, 電気学会論文誌 C, 2021, Vol. 141, No. 9, p.956-961.
- [2] Hirooki Aoki, “Interactive Media Art by Applying Depth Sensing”, Proceedings of 2022 International Power Electronics Conference, 2022, Vol. 2022, Issue. IPEC-Himeji 2022- ECCE Asia, p.1140-1143.
- [3] 中山雄介, 青木広宙, “影投影による運動感覚提示システムに関する検討”, INTERACTION2023, 2023.