

複数種のLCDを配置した半球ドーム型 高臨場感ディスプレイシステムの構築

神原利彦^{†1} 細川峻輔^{†1}

近年、多様な映像コンテンツを高い臨場感で人間に呈示しようという研究が盛んに行われている。例えば、両眼立体視を応用して奥行き感を呈示する3D映像技術や、人間の視野を覆い尽くすほどの広範囲な視野角を持つ曲面スクリーンの上に高解像度な映像を呈示する技術などが挙げられる。その技術で生成された映像は、非常に高い臨場感を人間に呈示できたが、プロジェクターの仕様以上の解像度を表示できないという問題点があった。そこで、LCD(液晶ディスプレイ)を凹型半球面の内側に多数並べて配置して半球面を埋め尽くし、タイルドディスプレイの技術を用いて1枚の高解像度かつ広視野角を持つ動画像を映し出す手法を提案する。

Development of a Hemispherical Dome Type Immersive Display System Arranged by Some Kinds of LCDs

TOSHIHIKO KANBARA^{†1} and SYUNSUKE HOSOKAWA^{†1}

In the field of virtual reality(VR), many visual displaying techniques were proposed. For example, there are 3D viewing system using a stereo vision technique and a technique of projecting a movie with wide view angle on a hemispherical dome type screen. Although these methods supply a immersive movie to users, there is a problem with low resolution. So, we propose a new method of constructing a hemispherical dome type immersive displaying system with a technique of "Tiled Display". By putting many LCDs along the hemispherical surface, a large mount of display system is generated. For verifying our validity, we simulate a hemispherical dome model with many LCDs, and build an experimental display system with small number of LCDs.

^{†1} 八戸工業大学
Hachinohe Institute of Technology

1. はじめに

近年、多様な映像コンテンツを高い臨場感で人間に呈示しようという研究が盛んに行われている。例えば、両眼立体視の技術を用いて奥行き感を呈示する3D映像技術や、人間の視野を覆い尽くすほどの広範囲な視野角を持つ曲面スクリーンの上に高解像度な映像を呈示する技術が挙げられる。その曲面としては、吉岡ら¹⁾が提案した球面や、柴野ら²⁾がサイバードームで提案した半球面がある。これらの手法で生成された映像は、非常に高い臨場感を人間に呈示できたが、プロジェクターの仕様以上の解像度を表示できないという問題点があった。プロジェクターから投影された光線を鏡などで拡散させて投影する方法だったために、「暗い」「局所的にピンボケ発生」という問題点があった。

そこで、筆者ら³⁾は投影式ではなく、発光素子として三原色LEDを用いて、半球面の内側に並べて配置してLED1つ1つを1画素として光らせる手法を提案し、「暗い」「局所的なピンボケ」という上記の問題点を解決した。だが、この手法で高解像度な映像を呈示するには、膨大な数のLEDを必要とし、すべての画素で同期をとって発光制御をする技術も困難であった。そこで、筆者ら⁴⁾は一種類の液晶ディスプレイ(以下、LCDと略す)を凹型半球面の内側に多数並べて配置して半球面を埋め尽くし、タイルドディスプレイの技術を用いて1枚の高解像度な動画像を映し出す手法を提案した。その手法で、LCDを配置した例を図1左に示す。しかし、この手法では、図にも表れているような大きな隙間ができる。なぜなら、半球という曲面の上に長方形平面であるLCDを強引に並べて敷き詰めているからである。そこで、筆者らは複数種類のLCDを用いて、隣り合うLCD間の隙間を小さくする改良手法⁵⁾を提案した。その手法で、LCDを配置した例を図1右に示す。スクエア型(4:3)のLCDと高さは同じで、幅が異なるワイド型(16:9)のLCDの二種類を使った方が隙間が小さくできることがわかった。しかし、この改良手法では複数種のLCDには「高さが同じ」という条件が必要であり、LCDを傾けて配置することもできなかった。

そこで、筆者らは複数種のLCDを傾けて配置できるように改良した手法⁶⁾⁷⁾を提案した。だが、配置のための探索過程において組み合わせの爆発が発生し全探索は不可能という問題点があった。そこで、本研究では枝刈りを行って探索数を減らす方法を検討する。

前述のタイルドディスプレイとは、LCDをタイルのように平面にならべて敷き詰めて、その並べたLCD群をあたかも1枚の大きなディスプレイであるかのように見立てて表示する技術である。イリノイ大学などで盛んに研究されており、非商用目的ならば自由に使用可能なSAGEというミドルウェアも同大学から提供されている。LCDの枠線が視覚的に邪

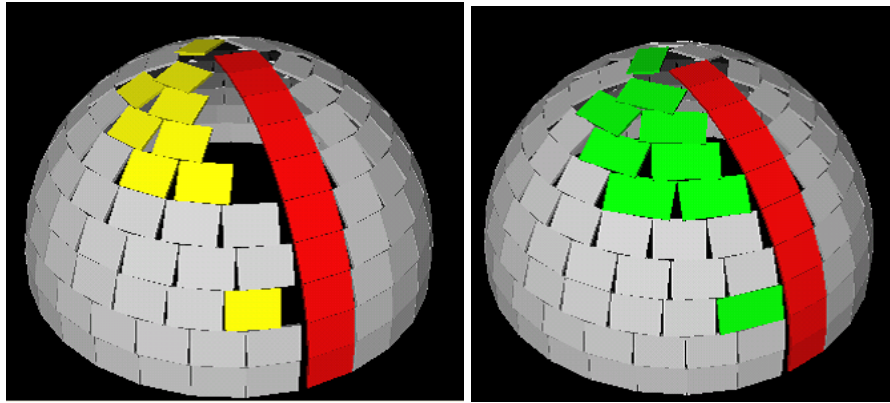


図1 多数 LCD で構築した半球面 (左: 一種類、右: 二種類)

Fig.1 A Hemispherical Surface with One Kind of LCDs(left) or Two Kinds of LCDs(right)

魔だという短所はあるものの高い解像度で表示できるという利点があるので、有効とされている手法である。例えば、江原ら⁸⁾が高解像度の衛星写真を、撮影したままの解像度で表示することに成功している。

2. 手 法

2.1 問題設定

半径 R の半球面の内側に、縦 H_i 、厚さ D_i 、横 W_i の LCD を合計 s 種類用意する ($i = 1, 2, 3, \dots, s$)。これらの LCD をタイルのように多数並べて隙間の面積が最小となる並べ方を求めることを目指す。

2.2 一種類の LCD を並べる手法

一種類の LCD を並べる手法の詳細は文献⁴⁾で述べているので、概要のみを以下に示す。まず、半球上で水平一から天頂までに至る稜線にあたる弧の上に LCD を詰めて並べる。並べられる最大数 n は次式で求められる。

$$n = \left\lfloor \frac{\pi}{4 \sin^{-1} \left(\frac{H}{2R} \right)} \right\rfloor \quad (1)$$

当然ながら、 n は整数でなければならない。なぜなら LCD を裁断して使うことはできないからである。図1に示した赤い LCD が、この稜線に沿って詰めて並べた LCD である。

次に、この並べた LCD ひとつひとつが帯状の段を形成すると考える。そして、その段に沿ってぐるっと一周まわって戻って来ると整数個の LCD を並べる。詳細な導出は省略するが、下から i 番目の段に並べることが可能な LCD の数 m_i は次式で求められる。

$$m_i = \left\lfloor \frac{\pi}{\tan^{-1} \left(\frac{W}{2R \cos \left(2i \sin^{-1} \left(\frac{H}{2R} \right) \right)} \right)} \right\rfloor \quad (2)$$

以上の手法で並べた結果、LCD の総数 N は次式で求められる。

$$N = \sum_{i=1}^n m_i \quad (3)$$

2.3 高さの等しい複数種類の LCD を並べる改良手法

高さの等しい複数種類の LCD を並べる改良手法の詳細は文献⁵⁾で述べているので、概要のみを以下に示す。まず、半球上で水平一から天頂までに至る稜線にあたる弧の上に LCD を詰めて並べる。並べられる最大数 n は前節で述べたように、式(1)で求められる。そして、その詰めて並べた LCD ひとつひとつが段を形成する。次に、その各段で、半球凹面に沿って一周するように LCD を水平方向に並べる。 i 段目の段に横の長さが W_j の LCD を並べた場合の最大個数 \overline{m}_{ij} は $\overline{m}_{ij} = \left\lfloor \frac{\pi}{\theta_{ij}} \right\rfloor$ で求められる。ただし、

$$\theta_{ij} = \tan^{-1} \left(\frac{W_j}{2R \cos \left(2i \sin^{-1} \left(\frac{H}{2R} \right) \right)} \right) \quad (4)$$

である。ここで、LCD 間のすき間を意味する E_i は次式で表される。

$$E_i = \pi - \sum_{j=1}^s m_{ij} \cdot \theta_{ij} \quad (5)$$

ただし、 $0 \leq m_{ij} \leq \overline{m}_{ij}$ である。

この E_i は負になってはいけない。なぜなら LCD が重なってしまうからである。そこで、 $E_i \geq 0$ という拘束の下で、 E_i を最小にするような数の系列 $(m_{i1}, m_{i2}, \dots, m_{is})$ を全探索で求める。例えば、 $s = 5$ として、探索で $(8, 2, 1, 0, 0)$ という結果が求められたとすると、それは種類1の LCD を8個、種類2の LCD を2個、種類3の LCD を1個使うことで、隙間を最小にできるという意味になる。

2.4 任意のサイズの複数種類の LCD を傾けつつ並べる改良手法

筆者の従来手法⁴⁾⁵⁾では、LCD をロール回転させることはできなかった。そこで、ロール回転を含めた LCD の配置設計ができるようにするため、探索空間を、半球ドームの中心を起点とした方位角度 θ と仰角 ϕ との 2 つの角度軸で張られる 2 次元平面を使用する。この平面を $\theta - \phi$ 空間と呼び、この空間で LCD が占有する領域を計算すると、図 2 に示したような図形になる。図 2 の横軸が方位角 θ であり、 $-180^\circ \sim 180^\circ$ の範囲を持つ。縦軸が仰角 ϕ であり、 $0^\circ \sim 90^\circ$ の範囲を持つ。

座標の軸は長さではなく、角度なので長方形の LCD がゆがんで扇形のような図形になること、たとえ LCD が同じ面積であっても ϕ が大きい場所に移動すれば、みかけの占有領域の面積が大きくなることに注意が必要である。これは、球形の地球儀でみると面積の小さいはずの南極大陸やグリーンランドがメルカトル図法の世界地図で表記すると巨大な面積で表示される現象と似ている。

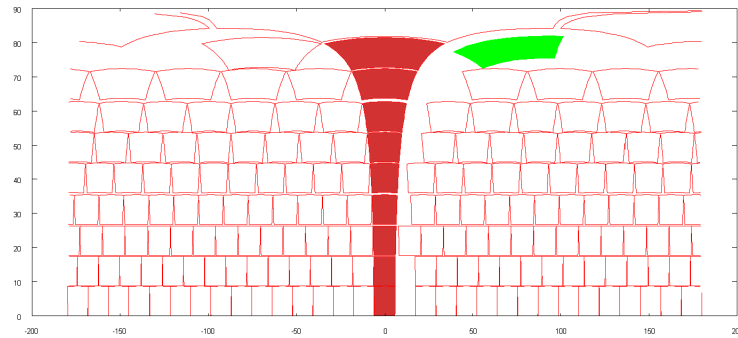


図 2 - 空間
 Fig. 2 theta-phi space

この $\theta - \phi$ 空間上に LCD が占有する領域を重ならないように並べて隙間を最小にするように並べていく。

半球の中心を原点とする世界座標系を $X_w - Y_w - Z_w$ とする。それに対し、 i 種類目の LCD の中心を原点とする座標系を $X_i - Y_i - Z_i$ とする。LCD の中心を方位角 θ 、仰角 ϕ の場所に置き、ロール角 δ だけ回転させた場合は、以下の式が成り立つ。

$$\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

ただし、行列 T は次式で表される。

$$T = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \delta + \sin \theta \sin \phi \sin \delta & -\cos \theta \sin \delta + \sin \theta \sin \phi \cos \delta & -R_2 \sin \theta \cos \phi \\ \sin \theta \cos \delta - \cos \theta \sin \phi \sin \delta & -\sin \theta \sin \delta - \cos \theta \sin \phi \cos \delta & R_2 \cos \theta \cos \phi \\ \cos \phi \sin \delta & \cos \phi \cos \delta & R_2 \sin \phi \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

この式を用いて、 10° 反時計方向にロール回転させた 1 枚の LCD の占有領域を図 2 に、緑色で示す。

2.5 探索アルゴリズム

筆者の手法⁶⁾⁷⁾では、LCD のロール回転を可能にする改良を加えてはいるものの、探索の次元数が増えているため、組み合わせの爆発が生じており、全探索は不可能であった。そこで、本論文では以下の改良アルゴリズムを提案する。

まず、従来手法⁴⁾で最も面積の大きな LCD 一種類を用いて配置する。この配置を初期状態とする。初期状態 (状態 1) から、 $\theta - \phi$ 空間における領域面積が最大となる隙間 s_1 を見つけ、その隙間と隣接する LCD を種類 k_2 以降の別の LCD 2 つに置き換えて隙間面積が最小になる組み合わせを探索で見つけ出す。この置き換えで配置は状態 1 から状態 2 に遷移し、使用している LCD の個数 n_2 は n_1 から一つ増やす。以降、状態 i における面積最大隙間 s_i を見つけては、隣接する LCD ひとつと s_i を種類 k_2 以降の LCD 2 つに置き換えて、隙間面積を最小にする組み合わせを見つけ出し置き換える。状態を i から $i+1$ に更新し、 n_{i+1} は n_i から一つ増やす。もし、どう組み合わせても、隙間 s_i の面積が減らない場合は置き換えず、2 番目に大きな隙間に対し置き換えを試みる。置き換えのための探索においては、ロール回転を加えた探索⁶⁾を行う。 $\theta - \phi$ 空間においてロールさせた例を図 2 の緑色領域に示す。この探索ループ p は LCD の個数が増加し、上限に達して $n_i = n_{max}$ となったら終了する。

2.6 映像の表示手法

タイルディスプレイと呼ばれる研究分野では、多数の LCD をタイルのように並べて、それらを 1 枚の大きなディスプレイとして表示させる研究が盛んに行われている。本研究でも、その研究で公開されているソフトウェア SAGE を基に改造して表示に使用する。

配置された各 LCD は各 PC に接続され、LCD と同じ台数の PC すべてが高速ネットワー

クで1台のサーバPC接続される。サーバPCからの映像情報が巨大な解像度の動画を部分的な動画に分解し各PCへと伝達されLCDに表示される。

配置したLCDのそれぞれをクライアントPCに接続する。そしてLCDの台数と同じ台数のクライアントPCを高速ネットワークで接続する。サーバPCからの巨大な解像度の動画は、部分的な動画に分解されて、ネットワーク経由でクライアントPCへ送られ、各LCDで表示される。

タイルディスプレイの研究のほとんどが同面積かつ同解像度のたった一種類のLCD多数を平面状に格子の目のように並べることを前提にしている。本研究のように、面積も解像度も異なる数種類のLCDを、曲面状に並べて表示させた研究例はほとんど無い。

3. 実験

3.1 LCDの配置シミュレーション

節2.5で述べた手法を実装した。だが、わずか数回のおきかえで探索処理が終了してしまっただ。原因を調べたところ、隙間領域が細い線のような部分でつながっているために一見隙間面積が小さいはずの場所が大きいものとみなされる問題点があった。この問題点を解決するために、細線化の処理を検討中である。

3.2 実機実験

本手法の妥当性を証明するために、少ない数のLCDを用いた実機実験を行った。LCDの枚数が9と少ないので、擬似的な半球を構成するために、図3左に示したような、斜めの部分は重なりを許す設計とする。図3右に、5台のLCDまでを取り付けたLCDパネルを示す。この9枚のLCDでタイルディスプレイシステムを構築するために、Atom搭載のマザーボード9枚をクライアントPCとして、1枚のマザーボードをサーバPCとして、システムを構築する実験を行った。ミドルウェアとしては、イリノイ大学のSAGEを使用した。

4. 結論

タイルディスプレイの手法を応用し、複数種のLCDを半球凹面上に並べて超高解像度の曲面ディスプレイシステムを構築する手法を提案した。配置シミュレーションで、複数種のLCDを使えば隙間を減らせることを確認した。

配置シミュレーションの問題点を解決し、隙間を最小にする最適配置を導くことと、実機実験で提示した映像に対する効果を確認することを今後の課題とする。

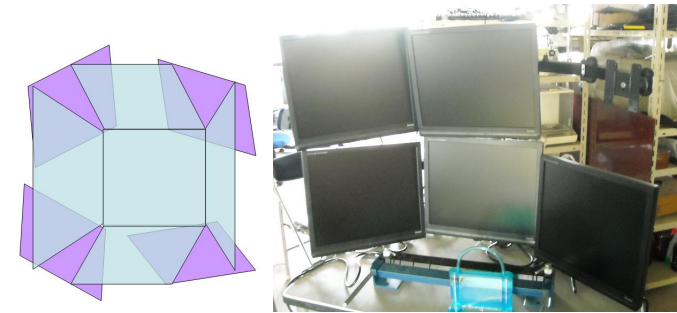


図3 実機システムの一部
Fig.3 a part of real display system

参考文献

- 1) 吉岡、矢野、岩田：「HDTVを用いた実画像球面没入型ディスプレイ」映像情報メディア学会技報, Vol. 26, No.73, pp. 21-24, 2002
- 2) 柴野、HAREESH、星野、河村、柏木、澤田、竹村：「サイバードーム視覚ディスプレイシステムの開発」第8回日本VR学会大会論文集, pp. 87-90, 2003.
- 3) 神原利彦、沖澤和：「三原色LEDによる高臨場感ディスプレイの開発」電子情報通信学会技術報告, Vol.108, No.421, pp.73-76, 2009.
- 4) 神原利彦：「半球凹面状の高解像度ディスプレイの開発」電子情報通信学会ソサイエティ大会エレクトロニクスソサイエティ講演論文集, p.185, 2009.
- 5) 神原利彦：「半球凹面状の高解像度ディスプレイの開発」電子情報通信学会ソサイエティ大会エレクトロニクスソサイエティ講演論文集, p.83, 2010.
- 6) 神原利彦、於本祐希：「複数種のLCDを傾けて配置した半球ドーム型高臨場感ディスプレイシステムの構築手法」2012年電子情報通信学会総合大会エレクトロニクス講演論文集 2, p.52, 2012.
- 7) 神原利彦、細川峻輔：「複数種のLCDを傾けて配置した半球ドーム型高臨場感ディスプレイシステムの構築手法」電子情報通信学会ソサイエティ大会エレクトロニクスソサイエティ講演論文集, p.57, 2012.
- 8) 江原、加藤、青木：「タイルディスプレイを用いた高解像度天体観測画像のリアル表示システム」日本VR学会第13回大会, pp. 250-251, 2008.