

## 異種コンピュータによる分散システムを利用した 3次元表示装置の実現 Realizing a 3D Display using a Distributed System Consists of Heterogeneous Computers

山之上 卓<sup>†</sup>  
Takashi Yamanoue

### 1. はじめに

メガネやヘッドマウントディスプレイなしで見える、同時に複数の人が別の方向から見ても見える、物体が空中に浮いて見える 3次元カラーディスプレイ、シン3次元表示装置、を実現したことについて述べる。この3次元表示装置は、カラーLEDを3次元空間に並べた表示部と、その制御部によって構成されている(図1)。

表示部は、シリアルラインで個別発光制御可能な75個の極小カラーLEDがついたテープを縦方向に向けて、これを、横方向に16本、奥方向(深さ方向)に8本並べている。画素数は75x16x8=9600素子である。

制御部は、Jetson Nanoを1個、Raspberry Pi 3を8個、Arduino Nanoを32個の合計41個の異種のコンピュータを使い、これを、LANやI2Cバスで接続した、分散システムを利用して実現している。

我々は、TwitterのTweetを表示する、着る電光掲示板を2015年に発表している[1]。この着る電光掲示板を少しずつ改良・機能拡張して、つくる[2]、IoTLT 広島 vol.7[3]、Maker Faire Tokyo 2018 [4]やMaker Faire Taipei 2018 [5]などでも発表していた。その後、メッシュLEDビジョンが[7]あることを知り、これを衣装に使うことを考え、2020年に着る電光掲示板「テレポードレッシング」を開発した[6][9]。

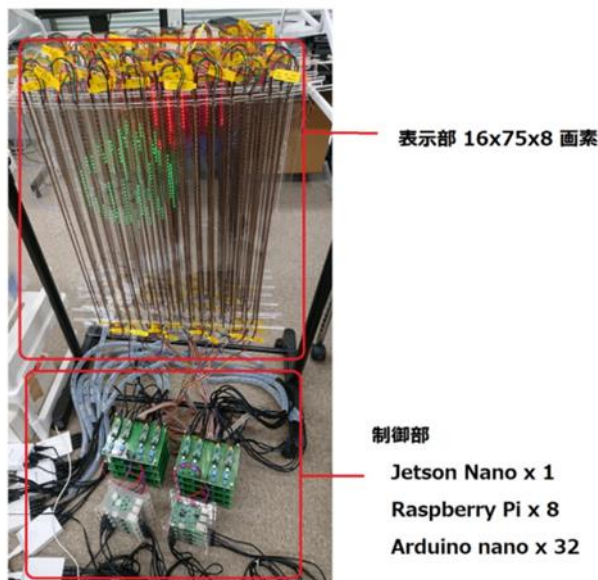


図1 シン3次元表示装置

「テレポードレッシング」は、もともと、絵が表示されていない時は、シースルーで、絵が表示されたとき、ぱっと空間に絵が浮き上がる効果を狙って作っていた。シースルーであるなら、テレポードレッシングを深さ方向に並べることによって、立体的な映像が表示できるのではないか、と思いつき、今回の3次元表示装置を開発した。

### 2. 機能と表示例

この章では、シン3次元表示装置の機能と表示例を示す。

#### 2.1 スクリプトによる基本体の組み合わせの描画

シン3次元表示装置は、単色の基本体(現時点では球体のみ)を複数空間に配置した体を表示することができる。

図2に、その例を示す。この図では、3次元表示ができていないことを示すため、3つの方向から同じ表示を撮影したものを並べている。



図2 基本体を組み合わせた体の表示

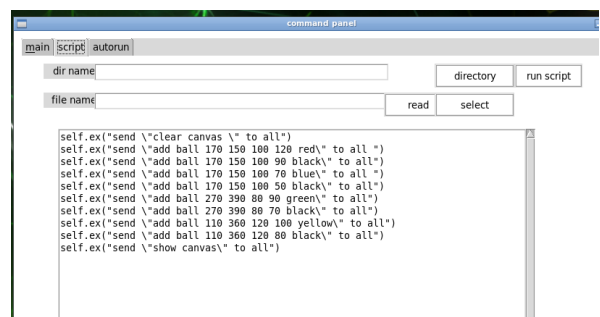


図3 基本体の組み合わせの表示を行うためのPythonスクリプトを記述するエディタ

<sup>†</sup> 福山大学 Fukuyama University

本表示装置で立体を表示するには、Jetson Nano で動かす Main Controller の Script Editor で、その立体を表示するための Python スクリプトを書いて実行する。図3にその Script Editor を示す。

1つの球体は、まず、以下の send コマンドを本システムが持つ Python の関数、self.ex(...)関数によって実行して、バッファ内に表示データを構成する。

```
send "add ball <x> <y><z> <r> <color>" to all
```

ここで <x><y><z>は、球の中心座標の(x,y,z)値を表す。<r>は、球の半径を表す。<color>は、色を表す。次に、

```
send "show canvas" to all
```

を実行し、バッファ内に蓄積された立体を表示する。

図2の表示を行う Python Script を図4に示す。に示す。

```
self.ex("send \"clear canvas \" to all")
self.ex("send \"add ball 140 350 200 140 green\" to all")
self.ex("#send \"add ball 140 350 200 120 black\" to all")
self.ex("send \"add ball 230 290 100 80 green\" to all")
self.ex("#send \"add ball 230 290 100 60 black\" to all")
self.ex("send \"add ball 280 280 60 80 green\" to all")
self.ex("#send \"add ball 280 280 60 60 black\" to all")
self.ex("send \"add ball 150 150 180 60 green\" to all ")
self.ex("#send \"add ball 150 150 130 70 black\" to all")
self.ex("send \"add ball 130 60 200 50 green\" to all ")
self.ex("#send \"add ball 130 80 150 50 black\" to all")
self.ex("send \"add ball 80 450 130 40 white\" to all ")
self.ex("send \"add ball 200 450 150 40 white\" to all")
self.ex("send \"add ball 100 430 100 30 red\" to all ")
self.ex("send \"add ball 220 430 120 30 red\" to all")
self.ex("send \"show canvas\" to all")
```

図4 図2の表示を行うスクリプト

## 2.2 スクリプトによる立体アニメーションの描画

表示する立体の位置や大きさを少しずつ変えながら、短い時間で繰り返し表示することで、立体のアニメーションを表示することができる。図5に立体アニメーションの表示例を示す。この図に置いて左から右に時間が経過していて、時間が経つに従って、青い球が下から上に動いている。

図6に、この立体アニメーションを表示するスクリプトを示す。

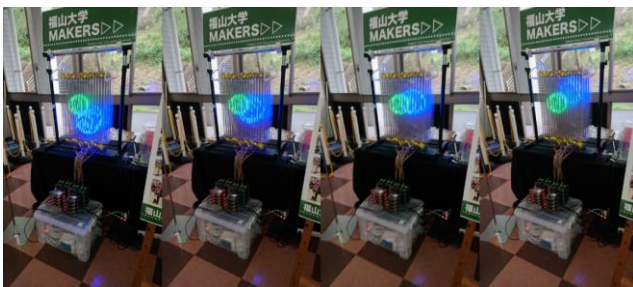


図5 立体アニメーションの表示

```
for i in range(20):
    self.ex("send \"clear canvas \" to all")
    self.ex("send \"add ball 170 "+
            str(70+20*i)+" "+str(70+10*i)+" 120 blue\" to all ")
    self.ex("send \"add ball 170 "+
            str(70+20*i)+" "+str(70+10*i)+" 100 black\" to all")
    self.ex("send \"add ball 250 300 80 90 green\" to all")
    self.ex("send \"add ball 250 300 80 70 black\" to all")
    self.ex("send \"show canvas\" to all")
    time.sleep(0.5)
```

図6 図5の立体アニメーションを表示するスクリプト

## 2.3 3Dカメラによる3次元映像の撮影と表示

本表示装置は立体カメラ (intel RealSense) で撮影した立体映像を表示する機能を持つ[8]。図7に3次元映像の撮影風景、図8にその映像の表示例を示す。

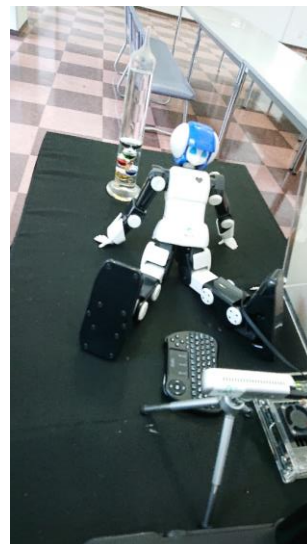


図7 3次元映像の撮影



図8 図7で撮影した3次元映像の表示

### 2.4 コンテンツの自動繰り返し再生

本表示装置は、以上に述べた様々な立体映像コンテンツを順番に繰り返し表示する機能を持っている。これは、Main Controller の、autorun タブのエディタで、立体表示を行うスクリプトを格納したファイルを load する命令や、立体映像の撮影を開始するコマンドなどを並べて実行することによって実現している。

### 3. ハードウェア

図 9 に本表示装置のハードウェア構成を示す。

Raspberry Pi 8 台を並列に動かすことにより、表示の高速化を可能にしている。Raspberry Pi と Arduino の間の I2C 通信は 4 倍速(400KHz)で行っている。1 つの Raspberry Pi は、表示部の 1 つの深さの表示パネル(75x16)の描画を担当させている。それぞれの Raspberry Pi は I2C を通じて 4 つの Arduino Nano に描画コマンドを送り、それぞれの

Arduino Nano は 1 つの深さの表示の 4 本のテープの表示を行う。

### 4. ソフトウェア

図 10 に本表示装置のソフトウェア構成を示す。

#### 4.1 Main Controller

Jetson Nano で、Main Controller を動かしている。これは、以下の機能を持つ

- エディタに記述された基本体描画コマンドをすべての Raspberry Pi に送信する。
- Real Sense で得た 3 次元映像を、表示部のそれぞれの深さに対応した bitmap 情報に変換し、この bitmap 情報を含んだ描画コマンドをその深さに対応する Raspberry Pi に送信する。

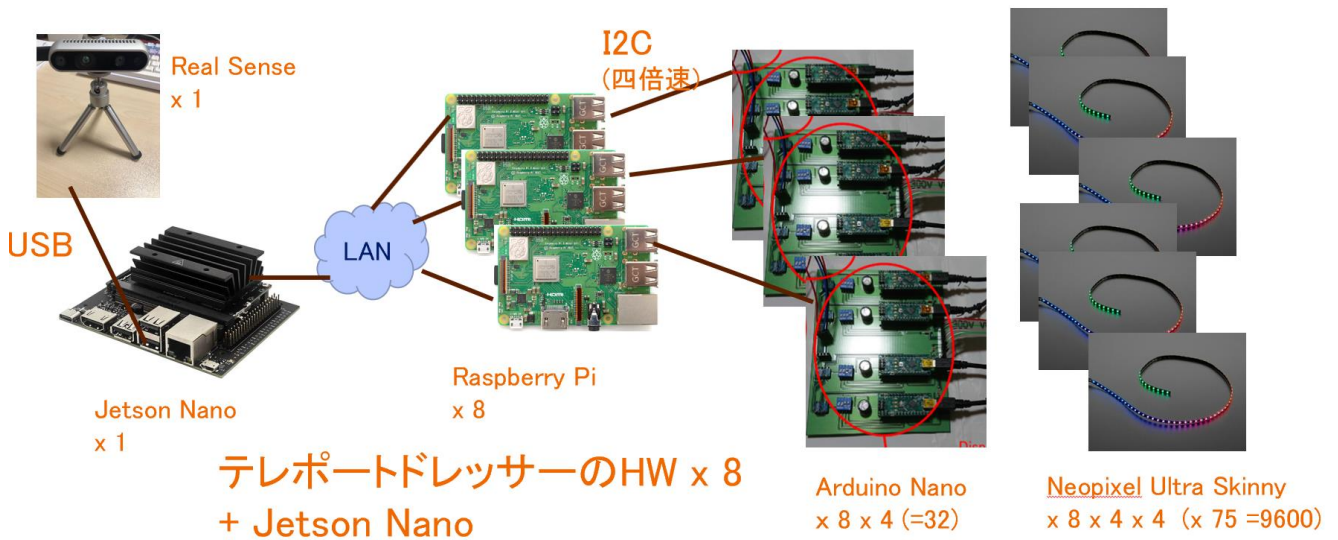


図 9 本表示装置のハードウェア構成

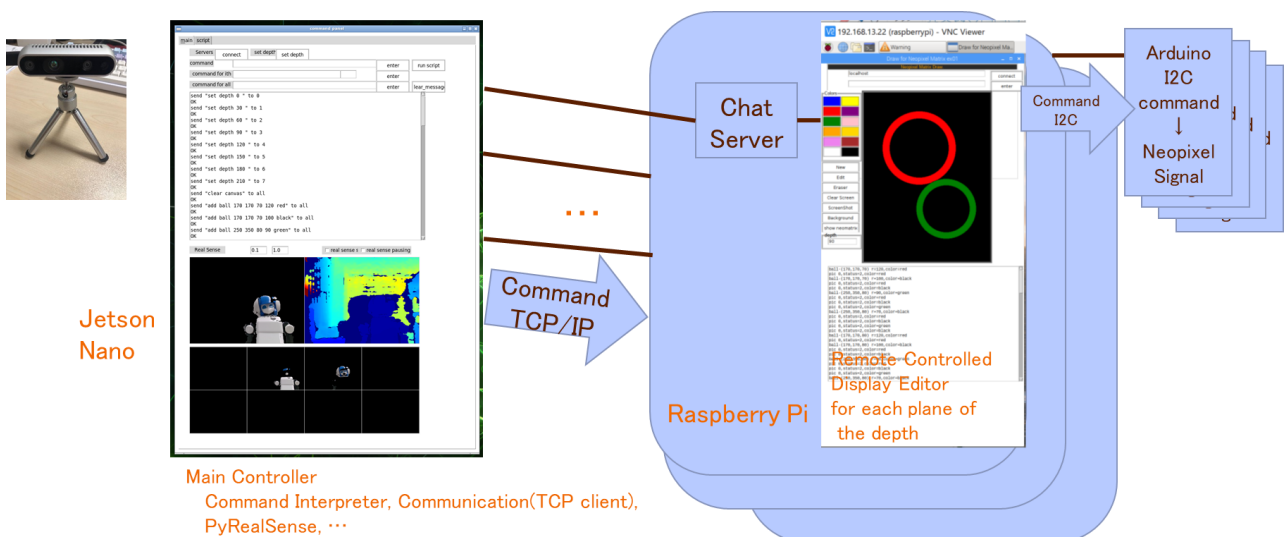


図 10 本表示装置のソフトウェア構成

## 4.2 Raspberry Pi の表示プログラム

それぞれの Raspberry Pi では、その Raspberry Pi が担当する深さの表示部分の描画を行う。

基本体の表示のコマンドを受信したときは、自分に設定された深さから、基本体の、その深さの表示イメージの bitmap を作成し、この bitmap を、その Raspberry Pi に接続された 4 つの Arduino Nano が担当する表示イメージに分解し、それぞれのイメージを、I2C のコマンドとして、そのイメージの描画を担当する Arduino Nano に送信する。

3次元映像の、その深さの bitmap 描画コマンドを受け取った時は、その bitmap を、その Raspberry Pi に接続された 4 つの Arduino Nano が担当する表示イメージに分解し、それぞれのイメージを、I2C のコマンドとして、そのイメージの描画を担当する Arduino Nano に送信する。

## 4.3 Arduino Nano の表示プログラム

本システムの Arduino Nano は、Raspberry Pi から I2C を経由して受け取った bitmap 描画コマンドの情報を、表示部のスマート LED(Neopixel)が受け取るシリアル信号に変換し、表示部に送っている。

## 5. Raspberry Pi の自動 Shutdown 機能

本表示装置の電源を切るとき、1 台の Jetson Nano と 8 台の Raspberry Pi の shutdown コマンドを実行する必要がある。これをそれぞれ手動で行うのは大変なので、Jetson Nano が停止したら、8 台の Raspberry Pi は自動的に Shutdown するようにしている。

Raspberry Pi では、起動時に、Jetson Nano の起動状態を、ping コマンドを使って常時監視するプログラムの実行を開始している。Jetson Nano から ping コマンドの反応がなくなったら、Jetson Nano が停止したと判断し、自分の Shutdown を行う。

この機能は、Portable Cloud に Raspberry Pi Cluster を付加したシステムの Simultaneous Shutdown function と同じものを利用している[11]。

## 6. 関連研究

### 6.1 メッシュ LED ビジョン

タテイシ広美社は、メッシュ LED ビジョンシステムを販売している[7]。これは、正面から見たら普通の LED ビジョン同様に映像コンテンツを見ることができるのに、内側からは、外の景色を眺めることができる、透過性のある LED ビジョンである。

テレポートドレッサーは、メッシュ LED ビジョンシステムのように、それが光っていない時は、透き通っていて、光っているときは、絵が浮かび上がることにより、好きな柄の衣服を着ることができるシステムである。

本 3次元表示装置は、この LED ビジョンの透過性に注目し、テレポートドレッサーを深さ方向に並べて、3次元空間に LED を配置することで、3次元対を視覚できるようにしたものである。

### 6.2 LED キューブ表示装置

Evan Rust は 16x16x16 のカラー LED Cube について述べている[10]。これも、Neopixel を使った 3次元表示装置で

ある。この表示装置は本 3次元表示装置よりも高速で立体を表示できている。本 3次元表示装置の描画速度は改善可能だと思われる。

### 6.3 空間再現ディスプレイ (Spatial Reality Display)

Sony は裸眼で視聴できる高精細空間再現ディスプレイを開発している[12]。このディスプレイは視聴者の目の位置を認識し、左右の目に、その位置にふさわしい立体像が浮き上がるようにして表示するものである。このディスプレイは高精細な立体映像を視聴することができるが原理上、複数の人が 1つのディスプレイから、同時に立体像を見ることはできない。

## 7. おわりに

メガネやヘッドマウントディスプレイなしで見える、同時に複数の人が別の方向から見ても見える、物体が空中に浮いて見える 3次元カラーディスプレイ、シン 3次元表示装置、を実現したことについて述べた。この表示装置は異種コンピュータを LAN や I2C で結んだ分散システムを利用して開発した。今後はより高精細な 3次元映像を表示したり、音楽と組み合わせたコンテンツを視聴したり、大型化して、3次元映像の中に入っていけるような表示装置にしたりすることが考えられる。

### 謝辞

本 3次元表示システムは、「Proto Pedia (<https://protopedia.net>)」の「ヒーローズリーグ」において「トランジスタ技術賞」を受賞した。本表示装置の元になったテレポートドレッサーは、2020年レッドハッカソンオンラインの栗田雄一賞を受賞した[6]。関係者の皆様に感謝する。

### 参考文献

- [1] 山之上卓, 吉村圭一郎, 小田謙多郎, 下園幸一, "Twitter と連携した着る電光掲示板", 情報処理学会, 研究報告インターネットと運用技術 (IOT), vol. 2015-IOT-28, No.11, pp.1-7,2015-02-26.
- [2] つくるけ, <http://www.tsukuruke.info>, 2017
- [3] 広島版 IoT 縛りの勉強会! IoTLT 広島 Vol.7, <https://iotl.compass.com/event/71795/>, 2017
- [4] Maker Faire Tokyo 2018, <http://makezine.jp/event/makers2018/m0345/>
- [5] Maker Faire Taipei 2018, <https://www.fukuyama-u.ac.jp/blog/8849/>
- [6] "オンラインハッカソンをやりたい", 週刊 ASCII, <https://weekly.ascii.jp/elem/000/004/015/4015561/>
- [7] 株式会社タテイシ広美会社, "メッシュ LED ビジョン", <https://t-kobisha.co.jp/solution/solution2/>
- [8] Jetson Japan User Group, からあげ, 北崎恵凡, 古瀬勉, 鶴長鎮一, 中畑隆拓, "Jetson Nano 超入門 改訂第 2 版", ソーテック社, 2021.
- [9] Takashi Yamanoue, "Yet Another Wearable LED Matrix Sign System for Campus Guiding", SIGUCCS '22: Proceedings of the 2022 ACM SIGUCCS Annual Conference March 2022 Pages 25–29,
- [10] Evan Rust, "Display Mesmerizing Animations Within This 16x16x16 LED Cube", <https://www.hackster.io/news/display-mesmerizing-animations-within-this-16x16x16-led-cube-ce760a62a6d4>
- [11] Takashi Yamanoue, "Experience of Classes with the Portable Cloud Computing System and a Raspberry Pi Cluster," SIGUCCS '24: Proceedings of the 2024 ACM SIGUCCS Annual Conference, March 2024, Pages 14–19, <https://doi.org/10.1145/3599732.3641317>
- [12] Sony, "空間再現ディスプレイ (Spatial Reality Display)", <https://www.sony.jp/spatial-reality-display/products/ELF-SR1/>