

モノリシック LED ドライバを用いた
多階調表示可能なラインディスプレイの開発
Development of multi-gray scale line display using monolithic LED drivers

町田 優希[†] 三栖 貴行[†] 安部 恵一[†] 杉村 博[†] 奥村 万規子[†]
Yuki Machida Takayuki Misu Keiichi Abe Hiroshi Sugimura Makiko Okumura

1. はじめに

2次元の通常のディスプレイとは異なり、1次元のライン状の表示部を高速に点滅させ、サッカードと呼ばれる高速な眼球運動を利用して網膜上に生じた残像を知覚させる情報提示手法が提案されている[1][2]。この手法の特徴としては表示部が縦一列の光点列のみであるため少ないスペースでの情報提示が可能なことである。これを応用することにより、ウェアラブル端末での新しい情報提示手法としての利用や、都会の建物が密集するような場所での情報提示に期待できる。

このようなサッカードを利用した1次元ディスプレイの課題としては、約50m以内であるサッカード中に画像を知覚させるために、安定的に高速点滅させることや、知覚しやすい画像を出力することなどがある。これまでの我々の研究ではLEDドライバICを使用して、多階調の色画像を高速点滅させるラインディスプレイを開発し、1ラインの点滅周期と眼球運動の角度の関係を、実験により、明らかにした[3]。ここでは、マスター側の1つのマイコンと、スレーブ側の6つのマイコンで、I2C通信を行い、LEDを制御する手法を取った。16チャンネルのLEDドライバIC6つを1つずつ6つのマイコンで制御し、高速点滅を可能にした。しかしながら、マイコン同士の同期が不十分であり、時間経過により表示画像にズレが生じてしまう問題や、マイコンを多数用いたため、プログラムの書き換えに時間がかかるなどの課題があった。また、文献[4]では、フルカラーLEDを1つのマイコンで高速に点滅することができたが、RGBの階調は2階調で、知覚できる画像が限られていた。

本研究では、32個のLEDを安定的な動作で多階調表示可能なラインディスプレイを製作した。これを実現するために、16個のLEDを1つのマイコンと3つのLEDドライバICで点滅制御するプリント基板を製作し、2枚を縦続に、接続した。2枚の基板のマイコンの同期は、割り込み信号を用いて行った。また、Arduino unoを書き込み装置(ISP)として用いることにより、表示画像の書き換えは、マイコンを基板上に実装したまま、行うことが可能にした。実験では、表示する画像をウェーバー・フェヒナーの法則に基づいて、知覚感度を考慮した値で生成したものと、元の画像と同じ階調で表示するものを比較した。

製作したラインディスプレイの全体の構成について次章にて述べ、第3章でラインディスプレイの製作について、ソフトウェア、ハードウェア、表示画像データに分けて詳しく述べる。第4章では評価実験について述べる。

2. ラインディスプレイの構成

図1にラインディスプレイの全体の構成図を示す。

本研究で製作したラインディスプレイの構成は、画像を表示するための16個のLEDを取り付けたユニット基板と、割り込み信号を生成するための親基板に分けることができる。ユニット基板はAVRマイコン(ATmega328P)1つ、モノリシックLEDドライバ(TLC5940)3つとLED16個で構成した。親基板はタイマIC(LMC555CN)、バッファ(HD75450P)、Arduino unoにより構成する。また、ラインディスプレイの表示部のLEDを32個にするため、ユニット基板は2枚使用する。ユニット基板に搭載したAVRマイコンは、親基板で生成したパルス信号を外部割り込み信号として入力することで、動作の同期を取る。3つのLEDドライバは、直列に接続し、RGBそれぞれに使用した。また、表示画像の書き換えがAVRマイコンを実装したまま行えるようにするために、親基板には書き込み装置として使用するArduino unoを接続した。

それぞれの端子を繋いでいる矢印の色や種類については、赤色の矢印は電源線、黒色の矢印は信号線を示している。また、灰色の矢印は割り込み信号線、破線の矢印は書き込み時のみ接続されている信号線を示している。

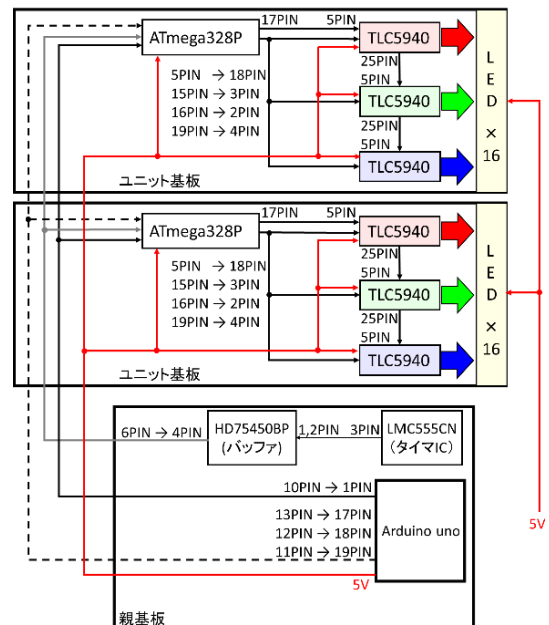


図1 全体の構成図

[†] 神奈川工科大学 工学研究科電気電子専攻 Kanagawa institute of technology, graduate school of engineering, department of electrical and electronic engineering

3. ラインディスプレイ製作

3.1 ソフトウェア

本ラインディスプレイでは、2つの AVR マイコンを外部割り込み信号によって同期を取る。AVR マイコンのプログラムは、割り込み信号が外部割り込み端子に入力される毎に表示画像の縦一列分の点滅パターンを出力する。図 2 に AVR マイコンのプログラムのフローチャートを示す。AVR マイコンで出力した点滅パターンは RGB に分け、直列に接続した 3つの LED ドライバそれぞれに入力する。

外部割り込みの信号は、親基板に搭載しているタイマ IC とバッファにより生成したパルス波形を用いた。また、表示画像の書き換えを簡易に行えるようにするため、Arduino uno には Arduino ISP を書き込み、AVR マイコンの書き込み装置として使用した。これにより、AVR マイコンを実装したまま表示画像用プログラムの書き換えを行える。

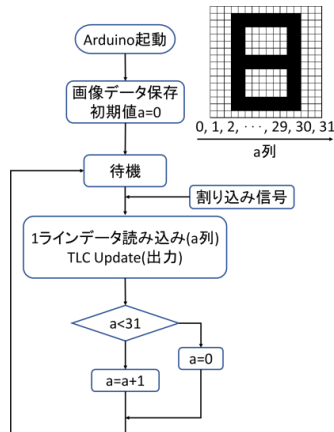


図 2 プログラムのフローチャート

3.2 ハードウェア

本ラインディスプレイの構成に用いているユニット基板には LED16 個からなる表示部を搭載している。このユニット基板を用いて LED32 個を表示部としたフルカラーラインディスプレイを実現するためには、ユニット基板 2 枚を縦続に接続する。表示部の LED には角形フルカラー LED (OSTA71A1D-A) を使用し、縦一列に並べることで、基板を連結した際に隙間ができないようにした。この、ユニット基板同士の縦続接続を可能とするため、そして、親基板から送られてくる信号や電源などを、次のユニット基板に伝達するために、ユニット基板の上部に L 字のピンヘッダ、下部に L 字のピンソケット取り付け。ユニット基板は CAD ソフト EAGLE で設計し、プリント基板を製造した。図 3 に EAGLE で設計したユニット基板のパターン図、図 4 に部品を実装したユニット基板の写真を示す。トグルスイッチでは AVR マイコンの電源を手動で入力することができる。

親基板では、割り込み信号の生成、ユニットへの電源供給、AVR マイコンのリセットを行う。割り込み信号の生成にはタイマ IC とバッファを用いる。また、親基板ではトグルスイッチにより、リセット信号、割り込み信号、LED 電源の入力、LED 電源を Arduino uno からの供給か、外部電源からの供給かの選択を手動で行うことができる。ま

た、親基板は、ユニバーサル基板上に配線し、書き込み装置として使用する Arduino uno はピンヘッダを用いて親基板の裏面に直接接続した。

図 5 に親基板の配線図、図 6 に親基板の写真を示す。図 6 にユニット基板を連結した LED32 個のラインディスプレイの写真を示す。LED には拡散キャップを装着した。

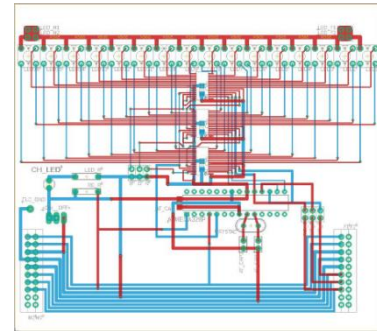
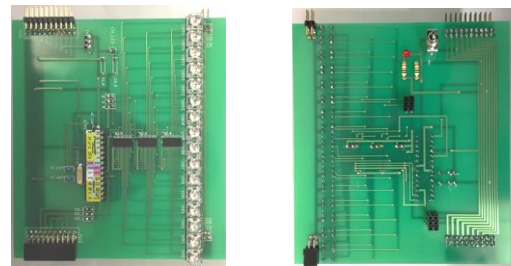


図 3 ユニット基板パターン図



(a) 表面

(b) 裏面

図 4 ユニット基板写真

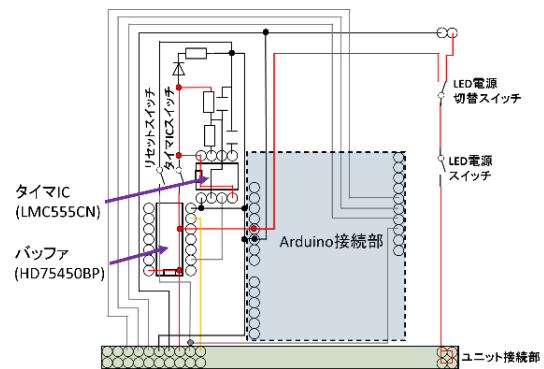


図 5 親基板配線図

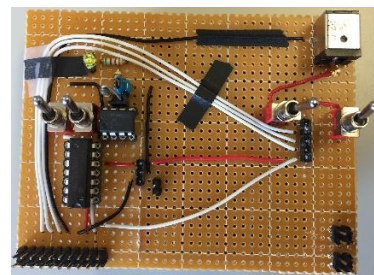
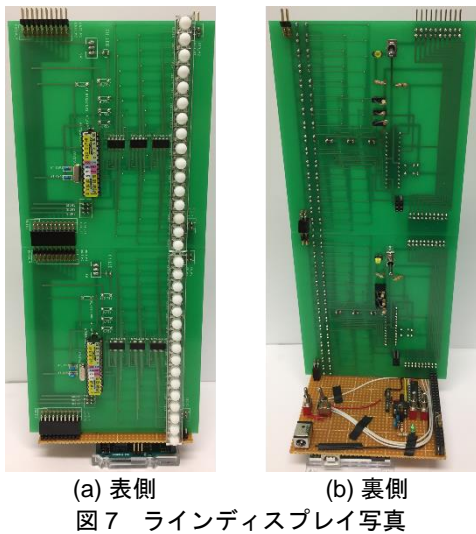


図 6 親基板写真



3.3 画像データについて

本ラインディスプレイでは、LED ドライバを用いたことにより、多階調での画像表示が可能となった。ここでは、32 階調の画像を用いる。

心理的な感覚量は刺激の強度ではなく、その対数に比例して知覚される、というウェーバー・フェヒナーの法則 $E = C \log R$ をもとに知覚感を考慮した値で点灯を行う画像データ作成した。この指数的な画像データを作成するために線形で 256 階調の画像を 32 階調で表現した。このとき、下記の式を用いて画像データの値を求めた。

$$R = \frac{255}{e - 1} (e^{\frac{E}{31}} - 1)$$

ウェーバー・フェヒナーの法則において、 R は刺激の強度であり、 E は感覚量を表している。上式において、 R は画像データとして使われる値となり、0~255 の範囲の値となる。 E は階調を表しており、0~31 の整数の値となる。また、実際の画像データには R の小数点以下を四捨五入した値を用いた。

4. 評価実験

評価実験では、表示画像のデータを線形的な値で作成したものと、知覚感を考慮した指数的な値で作成したものの、どちらがより表示画像を知覚しやすいかを調査した。

評価実験には図 8 の青いオウム(a)と赤いオウム(b)の画像を基に製作した画像データを用いた。また、サッカドを誘発するために、ラインディスプレイは 2 基使用した。

実験方法は、ラインディスプレイ 2 基を 1000mm 離して設置し、被験者には 2 基のラインディスプレイの midpoint から 1800mm 離れた距離から椅子に座った状態で観察してもらい評価を行った。このとき、被験者の視線の高さとラインディスプレイの LED 表示部の midpoint を 1200mm の高さに揃えた。また、被験者から見て左側のラインディスプレイを A とし、右側のラインディスプレイを B とし、観測の際には眼球を動かして A と B のラインディスプレイを交互に見てもらった。図 9 に被験者とラインディスプレイの位置関係を図示する。また、これらのディスプレイは 1 ラインあたり 0.48ms で点滅させた。図 10、図 11 に実際にライン

ディスプレイで表示した画像を、デジタルカメラを用いて撮影した写真を示す。この写真を撮影する際には、眼球運動と同様にカメラを回転して撮影を行った。このとき、デジタルカメラのシャッタースピードは 50ms に設定した。

画像の提示方法については、青いオウムの画像を 30 秒間提示した後、赤いオウムの画像を 30 秒間画像提示した。このとき、見比べを容易に行えるようにするため、片方のラインディスプレイに、通常的手法で製作した画像を表示し、もう片方のラインディスプレイに、知覚感を考慮した画像を表示した。また、左右の位置関係による知覚の差を減らすため、知覚感を考慮した表示画像は、青いオウムは A のラインディスプレイ、赤いオウムは B のラインディスプレイで提示した。被験者の人数は 6 人で行った。

評価実験の結果、図 10 の青いオウムでは 6 人の被験者の内 4 人が知覚感を考慮した表示画像の方が見やすいと答えた。また、図 11 の赤いオウムの画像では 6 人の被験者の内 5 人が知覚感を考慮した表示画像の方が見やすいと答えた。この実験結果から、ラインディスプレイにおいて、知覚感を考慮した表示の方が知覚しやすいことが分かった。

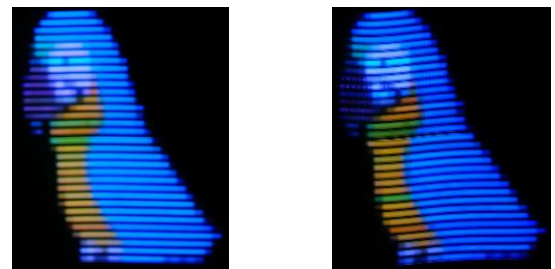
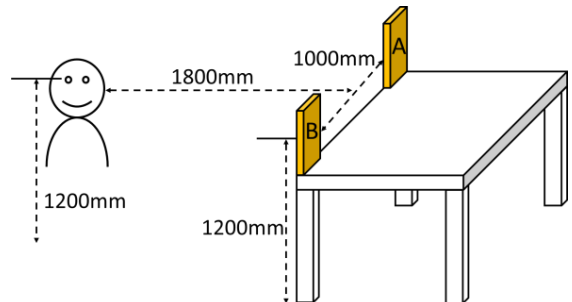
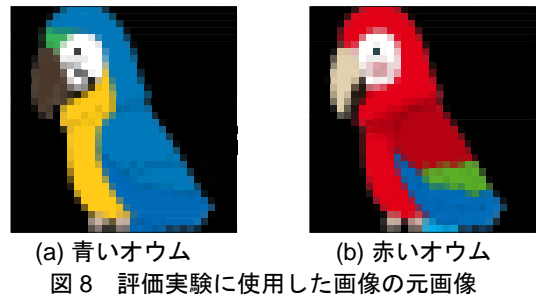


図 10 青いオウムの表示画像写真



(a) 線形的に作成した画像



(b) 知覚感度を考慮して作成した画像

図 11 赤いオウムの表示画像写真

参考文献

- [1] 渡邊 淳司, 前田 太郎, 姓名, “サッカーボールを利用した新しい情報提示手法の提案”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.6, No.2 pp.79~87 (2001).
- [2] 渡邊淳司, 前田太郎, 舘暲, “サッカーボール前中後に渡って提示される連続点滅光点刺激の知覚と眼球運動との時間関係”, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol.J86, No.7, pp.1350-1357, (2003).
- [3] 金澤宏介, 奥村万規子, “眼球運動と LED 残像を利用した情報提示システムの知覚評価”, IPSJ SIG Technical Reports, Vol. 2017-CDS-18, No27, pp.1-7, (2017).
- [4] 川崎直紀 他 “眼球運動を利用したラインディスプレイの高速化と基板化”, 電子情報通信学会, 回路とシステム研究会, CAS2018-116, 2019年1月24日.

5. まとめ

本研究では、LED32個を用いたフルカラー表示可能なラインディスプレイの製作と、知覚感度を考慮した表示に関する評価実験を行った。製作したラインディスプレイは、LED16個で情報提示を行うユニット基板と、割り込み信号の生成、ユニットへの電源供給を行う親基板から構成した。LED32個を表示部とするため、ユニット基板は2枚使用し、親基板で生成した割り込み信号により同期を取った。これにより、安定した動作を実現することができた。また、Arduino uno を書き込み装置として使用することにより、AVRマイコンを実装したまま表示画像の書き換えを行えるようにした。

評価実験では、知覚感度を考慮した画像データについて、青いオウムの画像と赤いオウムの画像の2種類の画像を用いた。また、実験は6人の被験者を対象にして行った。その結果、青いオウムの画像では6人中4人が知覚感度を考慮した画像の方が見やすいと答え、赤いオウムの画像では6人中5人が知覚感度を考慮した画像の方が見やすいと答えた、この結果から、知覚感度を考慮した表示画像生成は有効であると言える。

6. 今後の課題

本研究では、2枚のユニット基板の同期を取り、LED32個を表示部とするラインディスプレイを製作した。より大規模な、また、高精度な画像の表示を可能とするため、さらに複数のユニット基板の同期を取り、表示部に48個以上のフルカラーLEDを用いたラインディスプレイの開発を進める。

今回の知覚感度を考慮した表示画像についての評価実験は、少人数を対象として行ったものなので、知覚に対する影響を更に解明するためにも、被験者を増やして評価実験を行い、また、定量的な評価も行っていく。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご助言を頂きました神奈川工科大学 非常勤講師 有限会社マイクロチップ・デザインラボ 後閑哲也氏に心より感謝の意を表します。

本研究は JSPS 科研費 JP18K04170 の助成を受けたものです。