RBCを適用したプラズマディスプレイのちらつき改善の一方法

正 員 豊田計時 (茨城大)

非会員 松本一人 (茨城大、現(株)日立製作所)

正 員 宮田武雄 (茨城大)

An Improving Method of Flicker Problem of Plasma Display Panel using RBC

Keiji Toyoda, Member (Faculty of Engineering, Ibaraki University)

Kazuhito Matsumoto, Non-member (Faculty of Engineering, Ibaraki University, currently with Hitachi, Ltd.)

Takeo Miyata, Member (Faculty of Engineering, Ibaraki University)

PDP (Plasma Display Panel) is a self light emitting matrix display device using luminescent phenomenon with gas discharge. It has such features as thin depth, wide view angle, free from geographical distortion, and high brightness. Gray scale is controlled by sub-field driving method using binary weighted pulse width modulation (LSB to MSB sequence). Sub-field method essentially has a flicker problem for displaying moving images. When two close gray values are displayed in particular interval (field frequency), flicker phenomenon appears.

In this paper, time-amplitude co-modulation sub-field method using RBC (Redundant Binary Code) is proposed. This driving method increases conventional two level gray scale $\{0,1\}$ to three level gray scale $\{0,1/2,1\}$, combining light emitting time and amplitude, and selecting driving waveform not to produce flicker. Even if two close gray values are displayed alternately in field time, light emitting frequency is no more divided into frame frequency. Proposed driving method improves flicker problem compared to conventional sub-field method.

キーワード：RBC、プラズマディスプレイ、ちらつき、階調制御、サブフィールド法

1. まえがき

プラズマディスプレイは、放電に伴う発光現象を利用した自発光形表示デバイスであり、広視野角・高輝度等の特徴を持つ。プラズマ放電の持つ強い非直線性のため、サブフィールド法⁽¹⁾と呼ばれる駆動方式により階調制御されている。従来のサブフィールド法は、フリッカー光に対する平均輝度を表すタルボー・プラトーの法則⁽²⁾に従い、発光時間のみで輝度を制御しているが、図1に示す駆動波形のように特定の階調が特定の周期で交互に表示されるとちらつきを引き起こす⁽³⁾⁽⁴⁾場合がある。人間の目は点滅光の周波数がCFF (Critical Flicker Frequency: 臨界ちらつき周波数) 以下で、かつデューティが小さいとちらつきを感じる事が知られており、視覚特性を考慮したディスプレイに関する報告⁽⁵⁾⁽⁶⁾や視覚系の時空間モデルに関する報告⁽⁷⁾⁻⁽¹¹⁾が行われている。

本論文で提案する時間輝度併用変調形サブフィールド法は、RBC⁽¹²⁾ (Redundant Binary Code: 冗長2進符号) の冗長性を応用したコードを用い、従来2階調だった

発光レベルを3階調に増加させ、発光時間と発光輝度の組み合わせによりちらつきの起こりにくい駆動波形を選択し階調を制御する方法である。これにより、サブフィールド法特有のちらつきを減少させることが可能である。

図1 ちらつきを引き起こす駆動波形の例 (6ビット)

Fig.1. A driving waveform with flicker. (6-bit)

2. RBCによる駆動法

〈2・1〉 RBC法 提案する時間輝度併用変調形サブフィールド法は、RBCを応用したコードを用い、発光時間と発光強度の2つを組み合わせて輝度変調を行う方式である。RBCは、一般的なBC (Binary Code: 2進符号) に対し、重み付けは2のべき乗のままで符号として $\{-1, 0, 1\}$ を用いた3値2進符号である。プラズマ放電ではRBCの-1に対応する負の発光が物理的に不可能であるため、提案方式ではディジットを+1シフト1/2圧縮した $\{0, \frac{1}{2}, 1\}$ の3値の符号を用い、PDPの発光強度に対応させる。

冗長2進表現は通常の2進表現と同様、LSBから数えて*i*番目の桁は 2^{i-1} の重みを持つ。冗長2進表現で、 $X_0X_1\cdots X_{n-2}X_{n-1}(X_i\{0, \frac{1}{2}, 1\})$ は、式(1)で表せる。

$$\sum_{i=0}^{n-1} X_i \cdot 2^i \quad (1)$$

以後、このコードを $[X_0X_1\cdots X_{n-2}X_{n-1}]_{SD2}$ と表記する。

冗長2進表現では、1つの代数値に対して複数の符号に対応させることができる。例えば、'5'を4桁の冗長2進表現で表すと $[1010]_{SD2}$, $[11\frac{1}{2}0]_{SD2}$, $[100\frac{1}{2}]_{SD2}$, $[0\frac{1}{2}10]_{SD2}$, $[0\frac{1}{2}0\frac{1}{2}]_{SD2}$ の5通りになる。

〈2・2〉 駆動波形決定法 RBCの選択において、フィールド内の発光期間を最短で連続にする方法と、最長で連続にする方法が考えられるが、特定の階調間で分周(6ビットの場合、最短連続では31と32の間、最長連続では16と17の間)が発生する。しかし、最初のサブフィールドを必ず発光期間にすれば、発光スペクトラムにおけるフィールド周波数成分が保存され、いかなる階調間でも分周は発生しない。よって、以下の規則(I), (II)をちらつき改善に最適な方法として提案する。

(I) 発光期間を連続にする。

(II) 最初のサブフィールドは必ず発光期間にする。

図2に従来法と提案法による'32'の相対輝度を与える変調波形を示す。(a)に示すように従来法ではサブフィールド32が発光期間、その他が非発光期間となっている。それに対し、(b)ではサブフィールド2, 4, 8, 16, 32の輝度が $\frac{1}{2}$ となり、サブフィールド1の輝度が1となっており'32'の相対輝度を実現している。これをRBCの定義に従うと式(2)で表すことができる。

$$[1\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}]_{SD2} = 1 \cdot 2^0 + \frac{1}{2} \cdot 2^1 + \frac{1}{2} \cdot 2^2 + \frac{1}{2} \cdot 2^3 + \frac{1}{2} \cdot 2^4 + \frac{1}{2} \cdot 2^5 \quad (2)$$

= 32

図3にバイナリコードから提案法に変換する手順を示すが、左端がLSB、右端がMSBの配列である。*m*ビットのバイナリコードの場合LSBからMSB方向に'0,1'の組み合わせのビット列を'1,1/2'に書き換え、それを(*m*-1)回繰り返せば提案法のコードが得られる。図4にそのフローチャートを示す。変調波形コードは*m*ビットとし、 $[a[0], a[1], a[2], \dots, a[m-2], a[m-1]]_{SD2}$ とする。①から②を

(*m*-1)回繰り返す。表1は以上のアルゴリズムを用いて作成した6ビットにおけるBCとRBCのコード対応である。

図2 変調波形の比較

Fig.2. Modulation waveform comparison.

図3 提案法への変換手順

Fig.3. Conversion sequence for proposed method.

図4 提案法のコード作成フローチャート

Fig.4. Code generating flow chart for proposed method.

表 1 BC と RBC のコード対応 (6 ビット階調)
Table 1. BC and RBC code correspondence. (6bit gradation)

1	2	3	4	5	6
B100000	B010000	B110000	B001000	B101000	B011000
R100000	R1 $\frac{1}{2}$ 0000	R110000	R1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 000	R11 $\frac{1}{2}$ 000	R1 $\frac{1}{2}$ 1000
7	8	9	10	11	12
B111000	B000100	B100100	B010100	B110100	B001100
R111000	R1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 00	R11 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 00	R1 $\frac{1}{2}$ 1 $\frac{1}{2}$ 00	R11 $\frac{1}{2}$ 00	R1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 100
13	14	15	16	17	18
B101100	B011100	B111100	B000010	B100010	B010010
R11 $\frac{1}{2}$ 100	R1 $\frac{1}{2}$ 1100	R111100	R1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 0	R11 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 0	R1 $\frac{1}{2}$ 1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 0
19	20	21	22	23	24
B110010	B001010	B101010	B011010	B111010	B000110
R111 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 0	R1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 1 $\frac{1}{2}$ 0	R11 $\frac{1}{2}$ 1 $\frac{1}{2}$ 0	R1 $\frac{1}{2}$ 11 $\frac{1}{2}$ 0	R1111 $\frac{1}{2}$ 0	R1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 10
25	26	27	28	29	30
B100110	B010110	B110110	B001110	B101110	B011110
R11 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 10	R1 $\frac{1}{2}$ 1 $\frac{1}{2}$ 10	R11 $\frac{1}{2}$ 10	R1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 110	R11 $\frac{1}{2}$ 110	R1 $\frac{1}{2}$ 1110
31	32	33	34	35	36
B111110	B000001	B100001	B010001	B110001	B001001
R111110	R1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$	R11 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$	R1 $\frac{1}{2}$ 1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$	R111 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$	R1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$
37	38	39	40	41	42
B101001	B011001	B111001	B000101	B100101	B010101
R11 $\frac{1}{2}$ 1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$	R1 $\frac{1}{2}$ 11 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$	R1111 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$	R1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 1 $\frac{1}{2}$	R11 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 1 $\frac{1}{2}$	R1 $\frac{1}{2}$ 1 $\frac{1}{2}$ 1 $\frac{1}{2}$
43	44	45	46	47	48
B110101	B001101	B101101	B011101	B111101	B000011
R111 $\frac{1}{2}$ 1 $\frac{1}{2}$	R1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 11 $\frac{1}{2}$	R11 $\frac{1}{2}$ 11 $\frac{1}{2}$	R1 $\frac{1}{2}$ 111 $\frac{1}{2}$	R11111 $\frac{1}{2}$	R1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 1
49	50	51	52	53	54
B100011	B010011	B110011	B001011	B101011	B011011
R11 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 1	R1 $\frac{1}{2}$ 1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 1	R111 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 1	R1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 1 $\frac{1}{2}$ 1	R11 $\frac{1}{2}$ 1 $\frac{1}{2}$ 1	R1 $\frac{1}{2}$ 11 $\frac{1}{2}$ 1
55	56	57	58	59	60
B111011	B000111	B100111	B010111	B110111	B001111
R1111 $\frac{1}{2}$ 1	R1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 11	R11 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 11	R1 $\frac{1}{2}$ 1 $\frac{1}{2}$ 11	R111 $\frac{1}{2}$ 11	R1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 111
61	62	63			
B101111	B011111	B111111			
R11 $\frac{1}{2}$ 111	R1 $\frac{1}{2}$ 1111	R111111			

[注] :各セルの 1 行目の数字は 10 進数、2 行目の B から始まるコードは 2 進数 (LSB⇒MSB)、
3 行目の R から始まるコードは RBC (LSB⇒MSB) を表す。

3. 階調制御とちらつきの実験

〈3・1〉 階調制御の実験 タルポー・プラトーの法則は、CFF以上の周波数で点滅させた光は、その点滅光の輝度の時間平均値と同じ輝度で連続発光している光と同じ明るさになると定義している。この法則は点滅光の発光時の輝度が途中で変化する場合には触れていないが、単位時間当たりの発光輝度、時間による面積が同じなら、その波形がどうであろうと同じ面積をもつ連続光と同じ明るさに見えるはずである。

発光輝度変化してもタルポー・プラトーの法則が成立すること、すなわち提案法でも階調制御が可能であることを点滅光の階調を連続光の電流値で確認する。

PDPの代わりに明るさと電流の関係が分かっている赤色LED（ピーク波長635 [nm]、発光面積7 x 9 [mm]、光度15 [mcd] ($I_F = 20$ [mA])）を用いて表示パネルを製作し、提案法による階調の制御を行い、それに対応する連続光との関係を調べた。

LED駆動回路のブロックダイアグラムを図5に示す。各サブフィールドの出力は、RBCコードにより相対輝度選択スイッチでLEDドライバーに接続され、1または1/2の電流重みを持ち時系列的に発光する。図6はサブフィールド発生回路であり、各サブフィールドは10進カウンタで構成され、サブフィールド時間のタイミングを発生する。

図5 LED駆動回路のブロックダイアグラム
Fig.5. Block diagram for LED driving circuit.

図6 サブフィールド発生回路
Fig.6. Subfield waveform generating circuit.

- 実験方法を以下に示す。
- (I) 従来法（サブフィールド法）では、点滅光LEDにDuty100[%]で9[mA]（最高輝度70 [cd/m²]）の電流が流れるように電流制御用抵抗を調節し、階調制御する。
 - (II) 提案法（RBC法）では、相対輝度1の点滅光LEDにはDuty100[%]で9[mA]、相対輝度1/2の点滅光LEDにはDuty100[%]で5[mA]の電流が流れるように調節し、階調制御する。（電流比が1:1/2にならない理由は発光開始に約1mA要するためである。）
 - (III) 連続光LEDには1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9 [mA]の6種類の電流を流し、それぞれに最も近い明るさと思われる階調を示す点滅光LEDを被験者（20代前半男子5名）が選択する。
 - (IV) 選択された点滅光LEDの階調と連続光LEDの電流値の関係を提案法毎にグラフにプロットする。

従来法および提案法に対する連続光と点滅光の見え方の直線性比較測定結果を図7に示す。相対電流で1階調を示す連続光LEDに対し、被験者は全員同じ階調を示す点滅光LEDを選択した。従来法、提案法とも同一直線上にプロットされ、方式による違いは認められなかった。連続発光するLEDの発光開始電流は約1[mA]であり、それ以上の電流に対しては連続光と点滅光の明るさが1対1に対応することが分かる。発光開始電流を原点に移動すれば、連続光電流値の相対値が点滅光階調の相対値に対応する。これは、単位時間当たりの点滅光の発光輝度、継続時間による面積と連続光の発光輝度、単位時間による面積が同じなら両者は同じ明るさに見え、点滅光の階調と連続光の階調は1対1に対応し、階調制御に関しては従来法と提案法の違いはないことを表している。

図7 直線性の比較（6ビット）
Fig.7. Linearity comparison between conventional method and proposed method. (6bit)

〈3・2〉 ちらつきの実験 2進符号を時系列に並べ

たときに、特別な場合として発光フィールド周波数が1/2に分周され、ちらつきは発生する。ただし、ビット数で決まる特定接近階調間変化でも、繰り返し周波数が高すぎたり低すぎたりすればちらつきは発生しない。ちょうどフィールド周波数に一致したときにちらつきは発生する。これらは、雲、水面、芝生等、全体的に階調の差がない動画像を表示すると起きやすい。

ある接近階調間において ON 時間の前半集中と後半集中が発生するのはビット分解能 m で決まり、 $2^{m-1}-1$ と 2^{m-1} の階調間で発生する。6 ビット分解能では'31'と'32'の階調間を1フィールド時間(1/60[s])毎に交互表示するとちらつき現象が発生する。6 ビット分解能における'31'と'32'を提案法により交互表示し、従来法との比較を行う。

図8に接近階調交互表示の波形比較を示す。(a)は従来法であり、'31'は前半に'32'は後半に ON 時間が集中しており、1フィールド時間(1/60[s])ごとに交互表示する。(b)は提案法であり、'31'は前半に ON 時間が集中しているが、'32'は後半に集中せず分散化しており、同様に1フィールド時間(1/60[s])ごとに交互表示する。被験者(20代前半男子5名)は、従来法と提案法で駆動されたLEDを観察し、ちらつきの有無を比較評価する。実験では階調制御実験に用いたものと同一仕様の赤色LEDを用いた。

実験の結果、従来法では被験者全員が明らかに点滅していると感じ、ちらつきと認識した。一方、提案した方法では被験者全員が点滅していることがほとんどわからず、ちらつきを認識することはできなかった。

図8 接近階調交互表示比較(31⇔32)

Fig.8. Waveform comparison between conventional method and proposed method. (31⇔32)

4. 考察

〈4・1〉 階調制御に関する検討 タルポー・プラト一の法則は、CFF以上の周波数で点滅させた光は、その点滅光の輝度の時間平均値と同じ輝度で連続発光している光と同じ明るさになると定義している。この法則は周波数領域に重点をおいた表現であり、入力光刺激の振幅は一定とし、点滅光の平均輝度はデューティのみに依存することを表している。しかし、点滅光の発光時の輝度が途中で変化する様な過度変化する場合には触れていない。図7の直線性の比較は単位時間当たりの発光面積が同じなら、その波形が途中で変化しても同じ面積をもつ連続光と同じ明るさに見えることを表している。つまり、入力光刺激の振幅は一定である必要はなく、その光量積分値が重要であることを意味している。

これより、連続光の電流値と点滅光の階調が線形の関係であり、振幅と時間を併用した変調方式により階調が制御できることが分かる。すなわち、光の振幅が途中で変化する点滅光でも、その発光輝度、時間による面積と同じ面積を持つ連続光と同じ明るさに見えることが実験により確認され、従来同一振幅に限られていたタルポー・プラト一の法則の適用が拡大可能であることを意味している。

〈4・2〉 ちらつきに関する検討 図8の従来方式と提案法の'31'と'32'の階調間における繰り返し表示波形を比較考察すると、従来法では'31'が1フィールドの前半に ON 時間が集中し、'32'が1フィールドの後半に ON 時間が集中し、それらを1フィールド時間で交互表示することにより分周が起こることが分かる。提案法は1フィールド時間(1/60[s])に1回は必ず発光する規則性を持ち、非発光期間を極力なくすアルゴリズムのため、たとえば'31'と'32'が1フィールド時間で交互表示されても、分周が起きにくい変調コードとなっている。

'31'と'32'の接近階調間の1フィールド時間繰り返し表示を従来法で行った場合と、提案法で同じ接近階調間を表示した場合の各変調波形に対するLEDに流れる電流波形のスペクトラム表示を図9に示す。従来法では、60[Hz]成分がほとんどなくなり、30[Hz]成分が増加しているが、提案法では60[Hz]成分が保存されていることが分かる。従来法で発生した30[Hz]成分はCFF以下であり、人間の目にとってちらつきの大きな原因となり、被験者は増加した30[Hz]成分のため明らかに点滅していると感じ、ちらつきと認識したのである。一方、提案法では60[Hz]成分が保存されCFF以上の条件を維持しているため、被験者は点滅しているとは感ぜず、ちらつきを認識できなかったのである。

提案法は、全階調に亘りフィールド時間間隔で接近階調間の交互表示を行っても分周が起こらず、ちらつきがほとんど発生しないことより、ちらつき改善に大きく貢献していることが分かる。

図9 接近階調間('31'と'32')交互表示のスペクトラム
Fig.9. Spectrum for driving waveform of close gradation between 31 and 32.

5. むすび

RBC (Redundant Binary Code: 冗長2進符号) の冗長性を応用した符号化により、発光時間と発光輝度を組み合わせた時間輝度併用変調形サブフィールド法を提案した。従来の2値2進サブフィールド方式では原理上必ず発生するちらつき問題に対して、3値2進RBC方式による改善した駆動波形により、ちらつき発生が改善されることを示した。提案法を実現させるためのセル構造の実用化にあたり、1/2輝度の発光領域を持つパネル構造の検討が今後の課題である。

謝辞

RBC動作の考察に関して討論頂いた本学工学部塚元康輔講師に感謝致します。

(平成8年8月30日受付, 平成9年5月1日再受付)

文 献

- (1) 亀山茂樹・吉川和生・脇谷雅行: 「256階調表示フルカラーACプラズマディスプレイ」, 信学技報, EID92-86, pp.7-11, (1993-1)
- (2) 池田光男: 「視覚の心理物理学」, 森北出版, pp. 190-193 (1975)

- (3) 仲森智博: 「PDPの技術課題」, 日経エレクトロニクス, No.647, pp.94-104 (1995.10.23)
- (4) 泉 岳・中村智樹・五十嵐 清・御子柴 茂生: 「マトリクスディスプレイにおける false pixel 現象と動画の画質劣化」, EID92-5, pp.25-30 (1992)
- (5) B.E. Rogowitz, : "S20-1 Invited Human vision and Display Design", JAPAN DISPLAY '92, pp.743-746 (1992)
- (6) 畑田豊彦: 「視覚の機能を多方面から測り、ディスプレイの画質を見直す」, 日経エレクトロニクス, No.584, pp.104-113(1993.6.21)
- (7) 臼井支朗・神山齊己・石井宏幸: 「網膜の情報処理モデル」, CAS90-88, pp.33-40(1990)
- (8) 松井利一: 「マルチチャネル構造時空間視覚モデルの定式化とフリッカー画像知覚特性の再現」, 信学論D-II, Vol.J77-D-II, No.10, pp.2101-2111(1994)
- (9) 村越一支・高田 誠・倉田 是: 「空間周波数応答特性モデル」, 信学技報 NC94-29, pp.41-47(1994)
- (10) 高橋隆史・平井有三: 「視覚系時空間受容野の自己組織形成」, 信学技報 NC94-18, pp.33-40(1994)
- (11) 豊田計時・宮田武雄: 「マトリクスディスプレイの視知覚特性に関する一考察」, 電気学会光応用・視覚計測合同研究会資料 LAV-95-14, IM-95-88, pp.73-78 (1995.11)
- (12) K. Hwan, : "Computer Arithmetic / Principles, Architecture, and Design (1979)", John Wiley & Sons, Inc. (堀越彌 訳): 「コンピュータの高速演算方式」, 近代科学社 (1980)

豊田 計時 (正員) 昭和57年茨城大学工学部電子工学

科卒業。以後10年間民間企業にて電子機器の設計開発に従事。平成8年茨城大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年研究生、現在に至る。博士(工学)。ノイズを伴った信号処理とその関連技術の研究に従事。

松本 一人 (非会員) 平成8年茨城大学大学院工学研究

科博士前期課程修了。同年(株)日立製作所入社。おおみか工場勤務。現在に至る。

宮田 武雄 (正員) 昭和43年東北大学大学院博士課程

修了。同年ミツミ電機(株)入社、同社開発センター長を経て、昭和51年茨城大学工学部助教授、昭和56年同教授、現在に至る。工学博士。主として、半導体素子と回路を含むシステムの研究に従事。電子情報通信学会、IEEE 会員。