液晶ディスプレイの 動きぼやけ評価方法と標準化

正会員 染谷 潤†

液晶ディスプレイの動きぼやけの評価方法であるMPRTは、液晶の中間調における応答特性とホールド型表示に起因するぼやけを総合的に評価する手法である。この手法により動いている画像を追従している時にしか見えないぼやけを定量化することが可能になる。本稿では、動きぼやけの評価手法を紹介するとともにMPRTで評価した結果と主観評価結果の相関について述べる。

キーワード：液晶ディスプレイ、動きぼやけ、動画特性評価、MPRT

1. ま え が き

LCDにおける動画質劣化の主な要因である動きぼやけは、液晶の応答時間とホールド型表示の二つの原因により引き起こされていることが知られている。従来から用いられてきたLCDの応答時間は、黒から白、白から黒への遷移時間のみを計測しているに過ぎず、また、ホールド型表示に起因する動きぼやけは、人間の目の動き（追従）と表示されている画像の動きのミスマッチが原因のため、人間の目の動きを模擬した測定が必要であった。これら二つの原因を総合的に評価できる手法としてMPRT (Moving Picture Response Time) が提案され、実用化が始まっている。一方、VESA (Video Electronics Standard Association) では、MPRTを元に動きぼやけの測定に関するコンセプトがまとめられた。ここでは、MPRTの測定方法およびVESAにおける標準化について解説する。

2. 液晶の動きぼやけ

図1は、液晶の応答時間とぼやけの関係を示す図で、図1の左は、各階調間の液晶の応答特性の一例を示している。x軸が変化前の階調値、y軸が変化後の階調値、縦軸が応答時間を示し、応答時間が長いほど動きぼやけも大きくなる。右は、階調と明るさの変化の関係を示した図で、横軸が時間、縦軸が階調値および輝度を示している。ここでは、32階調の明るさから224階調の明るさに変化するまでに40msの時間を要していることを示している。一般的な液晶テレビは、1フレームの周期である16.7msごとに画像が更新されるので、液晶の応答時間は、この16.7msより短い必要があるが、図1に示された特性では、充分でないことがわかる。

図1 液晶の応答時間による動きぼやけ

図2 ホールド型表示と動きぼやけ

一方、液晶の応答時間が0msになっても動きぼやけが発生することも知られている¹⁾。これは、液晶パネルがホールド型と呼ばれる方法で画像を表示するため、動きぼやけの第二の原因である。図2は、応答時間が0msという理想的なホールド型表示デバイスにおける動きぼやけの発生原理を説明するための図である。左は、黒い背景の上を白い

† 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所

"Standardization and Evaluation Method for Motion Blur of LCD" by Jun Someya (Advanced Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation, Kyoto)

画像が左から右に動く場合の時間と表示位置の関係を示す図で、横軸が表示デバイスの水平位置、縦軸が時間を示している。図中の実線は、白い部分の中心の位置と時間の関係を示したもので、白い部分は、1フレームの間、同じ位置に表示され、フレーム単位でコマ送りのように移動する様子を表している。一方、人間の目は、実際のものが動いているかのように白い部分を追いかけるので、視点は破線で示したように左から右へとスムーズに移動する。図2の右は、左の図に対して横軸を網膜上の水平位置に置き換えて表示したものである。このように、ホールド型表示デバイスに表示された動画では、目が動画を追従しても、網膜上では左右に揺れているため、この左右の揺れが動きばやけとして見えるのである。

3. 動画表示特性の評価方法

3.1 MPRTの概要

MPRTは、2001年から液晶の動きばやけを評価する方法として議論が行われてきた。液晶の動きばやけを数値化するためには、液晶の中間調における応答時間を原因とするばやけと、ホールド型表示方法を原因とするばやけの両方を考慮する必要がある。しかし、一般的に用いられている液晶の応答時間の評価尺度では、これらの要因が含まれていないため、我々が感じるLCDの動きばやけを表すことができなかった。特にホールド型表示による動きばやけの発生は、人間の眼球の動きと表示される画像の動きの間のミスマッチが原因であり、この動きばやけを数値化するためには、眼球の動きを考慮した測定方法が必要となる。

MPRTは、動いている画像を追従しながら撮影する追従カメラシステムの採用と測定する中間調が定義されているので、液晶の動きばやけを定量的に評価することができる手法となっている。

3.2 測定装置と単位

MPRTは、人間の眼が移動する物体をスムーズに追従している状態で、液晶パネルに表示された動画を見たときに感じる動きばやけを定量化したものである。実際の人間の目の動きには、跳躍運動などの複雑な動きが含まれているが、MPRTでは、目の動きをスムーズな追従に限定することで、一般的なCCDカメラを用いた測定を可能としている。また、撮影時の露光も一定期間を単純に積分する方式が採用されており、露光時間は、1フレームの整数倍を用いるようにしている。

図3は、MPRTの測定に用いられる装置の概念を示したもので、測定装置としての実用化もすでに始まっている²⁾。

動きばやけの量は、幅を用いて表現する方が直接的で理解しやすいが、LCD上に表示されるばやけの幅は、画像の移動速度やホールド時間(垂直周波数)によって変化してしまう。また、パネルの画素密度や視距離によっても見かけ上のばやけの幅は変化することになり、測定結果を直接比

図3 測定システム

	変化前の輝度						
	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
変化後の輝度	Y0						
	Y1						
	Y2						
	Y3						
	Y4						
	Y5						
	Y6						

図4 測定パターンの階調の組合せ

較して、ばやけの量を評価することができない。そのため、MPRTでは、これらの条件が異なる場合でも、数値を直接比較することが可能な「時間(ms)」を測定結果の単位に使用している。この時間は、すべての条件で正規化された値であり、測定によって得られた数値(時間)に速度などの条件を与えれば、パネル上のばやけ幅を求めることも可能である。

3.3 測定パターン

MPRTの測定には、図4に示したように二つの階調を組合せた42のテストパターンが用いられる。開始階調と目標階調に用いられる輝度は、パネルの最小輝度(Y0)と最大輝度(Y6)を元にCIE 1976で定義されている明度(L*)軸上で等間隔に6分割された明るさを用いる。

$$L0 = 903.3 \times Y0 / Y6$$

ただし $Y0 / Y6 \leq 0.008856$ の時

$$Yn = Y6 \times \left(\frac{(L0 + (100 - L0) \cdot n / 6) + 16}{116} \right)^3 \quad (1)$$

$$n \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$$

図5 測定輝度と明度の関係

図6 撮影画像のレスポンスカーブとEBET

この式によって得られる測定輝度と明度の関係を図5に示す。この方法によって得られるY0からY6までの明るさは、常に主観的に等距離を示すので、パネルのガンマ特性が違う場合でも、最小輝度と最大輝度が同じであれば、同じ明るさで測定されることになる。テストパターンに用いられる階調数を等間隔にすることも検討されたが、ガンマ特性により測定される明るさに偏りが生じるため、本手法が選ばれた。

3.4 解析方法

MPRTでは、これら42のテストパターンを左から右に一定速度でスクロールさせた時のエッジ部分を追従カメラで撮影する。撮影された画像から得られる42のEBET (Extended Blurred Edge Time) を平均したものがMPRTとして用いられている。図6は、撮影した画像から得られるレスポンスカーブとEBETの関係を示したグラフである。縦軸は、相対輝度、横軸は時間を示している。このレスポンスカーブは、撮影された画像のスクロール方向の輝度プ

ロファイルに対して、水平方向の画素位置 X_{LCD} (pixel) を測定パターンの移動速度 V (pixel/ms) で割ることによって得ることができる。このレスポンスカーブの変化前の輝度と変化後の輝度に対する10%と90%の閾値を設定し、レスポンスカーブの相対輝度が、この閾値の10%から90% (あるいは、90%から10%) に到達するまでの時間 ($t_f - t_i$) を得て、この時間を閾値の間隔0.8で割ったものをEBETとする。これは、図6に示した通り、二つの閾値を通過する直線を変化前の輝度と変化後の輝度まで延長した交点の間隔に相当する。

$$EBET = \frac{t_f - t_i}{0.9 - 0.1} \quad (2)$$

液晶の応答時間が0msという理想的なホールド型表示を行うデバイスと考えた場合、レスポンスカーブは、直線となるので、このEBETは、1フレームの周期に一致する。

このEBETは、輝度Y0からY6の組合せからなる42のテストパターンごとに求められ、この42のEBETを平均したものがMPRTとして用いられる。

$$MPRT = \frac{1}{42} \sum EBET_{i,f} \quad (3)$$

$$EBET_{i,f} = \begin{cases} i = Y0, Y1, Y2 \dots Y6 \\ f = Y0, Y1, Y2 \dots Y6 \\ i \neq j \end{cases}$$

4. 主観評実験

4.1 調整法

人間が感じるLCDの動きばやけを定量化するため、調整法を用いた主観評価実験を行った。図7に評価装置を示す。評価装置としてCRTモニタの上にLCDモニタを重ね、それぞれのモニタにテストパターンを表示する。

LCDモニタには、図7の右上に示したように、常にばやけのないパターンを入力する。一方CRTには、キー操作によってエッジのばやけ幅が調整できるパターンを入力する。エッジが左から右にスクロールすることで、LCDに表示されたエッジでは、液晶の応答時間とホールド効果によって動きばやけが発生する。一方、CRTに表示されたエッジは、入力されたパターンが持つプロファイルとほぼ同じばやけに見える。被験者は、LCD上の動きばやけとCRT上の人工的なばやけが同じ幅に見えるように、CRTに表示されているパターンのばやけ幅を調整する。この被験者が生成したCRT上のエッジのばやけ幅を、被験者が知覚したばやけ幅として用いることで、被験者が知覚した動きばやけを定量化している。なお、CRTに入力するパターンのばやけの形状として、図8のようにsin関数を基にして作成されたプロファイルを用いた。図8は係数 k を0.15に設定した場合のプロファイルを示している。

図7 調整法による主観評価装置

図8 CRT用テストパターンのプロファイル

4.2 主観評価実験の概要

上述した調整方法を用いて2回の主観評価実験を行った。1回目の実験では、評価用のモニターに三菱電機製の15インチのLCDモニターRDT153Aと17インチのCRTモニターRDS17Xを用いた。被験者は、20歳代から30歳代の男性7名と女性4名の計11名である。テストパターンは、MPRTの測定と同じ42のテストパターンから構成され、それぞれのテストパターンを5pixel/frameの速度で左から右にスクロールさせた。この速度は、視距離800mmでRDT153Aを見た場合に約6.4deg/s相当する。それぞれのテストパターンで3回の実験を行い、その平均値を実験結果とした。

2回目の実験は、1回目の実験と異なるモニターの組合せで実施した。使用したモニターは、三菱電機製の17インチのLCDモニターRDT179Vと17インチのCRTモニターRDS173Xである。これらのモニターは、sRGBモードを備えているので、両者ともsRGBモードに設定して主観評価実験を行った。被験者は、20歳代から50歳代までの男性12名と女性5名の計17名である。1回目の実験と同様に42のテストパターンを用い、テストパターンを8pixel/frameの速度で左から右にスクロールさせた。これは、視距離800mmでRDT179V

を見た場合に約8.9deg/sのスクロール速度に相当する。

5. 実験結果

5.1 調整結果

図9は、1回目の主観評価結果で、横軸は、テストパターンに用いられている階調の組合せ、縦軸は、それぞれの被験者がキー操作によって発生させたCRTモニター上のぼやけ幅をスクロール速度で正規化した値である。また、バーの上に示された線は、被験者11名の実験結果から得られた95%信頼区間である。

図10は、2回目の主観評価結果である。図9と同様に横軸はテストパターンの階調の組合せ、縦軸はCRT上で調整されたぼやけ幅を示している。また、バーの上に示された線は、被験者17名の実験結果から得られた95%信頼区間である。2回の実験ともに、ばらつきは小さく、それぞれの被験者が同じように動きばやけを感じていることがわかる。

5.2 主観評価結果とEBETの比較

図11は、1回目の主観評価とMPRT-1000（大塚電子製）を用いて測定したEBETを比較した結果である。縦軸は、主観評価によって得られたぼやけ幅（pixel）、横軸は、EBET（ms）を示している。図中の直線は、42点から導き出された回帰直線である。また、それぞれの点の上下に示された直線は、95%信頼区間を示している。それぞれの点は、回帰直線付近に分布しており、また、 $R^2=0.87$ （相関係数0.934）という値が示すとおり、EBETと主観評価結果の間に強い相関があることがわかる。

図12は、2回目の主観評価とEBETを比較した結果である。1回目の結果と比較できるように同じスケールでプロットした。図11と同様に、それぞれの点の上下に示された直線は、17名の被験者から得られた95%信頼区間を示している。1回目の実験で用いられたLCDモニターに対して、2回目のLCDモニターでは、EBETが15msから40msの間に集中していること、スクロール速度が速かったことから1回目より

図9 RDT153Aの主観評価結果

図10 RDT179Vの主観評価結果

図11 RDT153Aの主観評価結果とEBETの比較

図12 RDT179Vの主観評価結果とEBETの比較

も相関が低くなっているものと思われるが、それでも $R^2=0.669$ (相関係数0.818) が示すようにEBETと主観評価結果の間に強い相関があることがわかる。

6. VESAにおける動きぼやけ評価の標準化

6.1 VESAの概要

VESAは、PCの周辺機器、特にディスプレイモニタに関する標準化作業を行っている業界団体で、ドットクロックの周波数やプランキング、映像期間などを定義したディスプレイモニタのタイミングや、PCとディスプレイモニタ間の通信方法を定義したDDC-CI、DDC-CIで用いられるディスプレイモニタの仕様などを記載するEDITなどが知られている。その他、VESAには、フラットパネルの特性評価を検討するタスクグループもあり、フラットパネル向けの各種評価方法をまとめたFPDM2 (Flat Panel Display Measurements Standard Version 2) が発行されている。

2001年にVESAで、日本から提案されたMPRTを基本とした動きぼやけ評価方法の検討が開始された。日本からの提案を元にVESAの中では、動画評価の全般を取り扱う動きが始まり、Motion Artifacts全般を扱うFPDM2のアップデートファイルが作成された。このファイルには、FPDM2の309として、309-1から309-10までさまざまなMotion Artifactsが列挙されているが、現在までに完成しているのは、MPRTを元に動きぼやけの測定方法をまとめた309-1.Moving-Edge Blurで、残りは、FPDM3のための章立てが用意されているのみである。このファイルは、2005年5月19日にVESAのサイトで公開された⁴⁾。

6.2 Moving-Edge BlurとMPRT

Moving-Edge Blurは、MPRTを元に書き直したもので、本論で解説したEBETをWijと表記するなど、表記方法が異なるが、測定輝度の求め方や閾値などのコンセプトは同

一である。なお、Moving-Edge Blurでは、レスポンスカーブにオーバーシュートやアンダーシュートがある場合のWijの求め方等についても追加定義されている。

7. む す び

以上解説したように、数ある動画劣化 (Motion Artifacts) の中から液晶の動きぼやけの評価に関する検討が早くから検討され、実用化されるに至った。紹介した主観評価結果からもわかる通り、MPRTは、我々が感じる動きぼやけを表現することができているといえる。一方、VESAのFPDM2アップデートファイルに記載されているように、動きぼやけ以外にも多数の動画劣化が存在するが、確立した評価方法が存在していないのが現状である。今後、さまざまな動画劣化に関する評価方法の検討が進み、定量的な測定が可能になることを期待する。

MPRTの検討ならびに標準化活動にあたり、VESA JAPAN CommitteeのMotion Blur Measurement Task Groupのメンバに深謝する。
(2005年12月19日受付)

〔文 献〕

- 1) T. Kurita: "Moving Picture Quality Improvement for Hold-type AM-LCDs", SID'01 Digest, pp.986-989 (2001)
- 2) K. Oka, K. Kitagishi and Y. Enami: "Generalization of Parameters Representing Magnitudes of Motion Artifacts", SID'05 Digest, pp.1022-1025 (2005)

染谷 潤 1988年、千葉大学工学部画像応用工学科卒業。同年、三菱電機（株）に入社。ビデオプリンタを始め、プラズマディスプレイや液晶パネル等の画像信号処理、および動画像評価に関する研究に従事。現在、同社先端技術総合研究所映像入出力技術部映像表示技術グループマネージャ。正会員。