

# 3Dディスプレイのクロストーク低減技術

## Crosstalk Reduction Technology for Stereoscopic Displays with Shutter Glasses

岩中 由紀      三田 雄志      馬場 雅裕

■ IWANAKA Yuki      ■ MITA Takeshi      ■ BABA Masahiro

シャッター眼鏡式3D(立体視)ディスプレイでは、左目・右目用画像を時間的に交互に表示し専用の眼鏡をかけることで3D映像を視聴できるが、他方の目の映像が交じり合うクロストークが課題となっている。

東芝は、信号処理によるクロストーク低減技術を開発し、高画質な3D映像を視聴できるようにした。開発した技術は液晶ディスプレイ(LCD)の応答だけでなく、バックライトの漏れ光やシャッター眼鏡の応答によって発生するクロストークを高精度に予測し、目に入る明るさが期待値と同じになるようにLCDをオーバドライブする。中間階調を多く含む自然画像において、LCDの応答だけを考慮した従来技術と比較して、この技術によるクロストーク低減効果が高いことを確認した。

Stereoscopic displays with shutter glasses employ a temporary control mechanism to provide different images to the viewer's left and right eyes, making it possible to watch three-dimensional (3D) images using dedicated glasses. However, crosstalk due to the merging of images for the other eye is a serious issue.

Toshiba has developed a crosstalk reduction technology for stereoscopic displays with shutter glasses based on image processing. This technology overdrives the liquid crystal display (LCD), setting the brightness so as to be equal to the expected value through precise evaluation of crosstalk caused not only by the LCD response, but also by backlight leakage and the shutter glasses response. Experiments on our newly developed crosstalk reduction technology have confirmed its superior performance compared with conventional methods that use only the LCD response.

### 1 まえがき

シャッター眼鏡式3Dディスプレイは、3D映画や3Dテレビで広く使われているが、他方の目の画像が交じり合うクロストークをいかに低減するかが課題である。クロストークは主にLCDの応答遅れにより発生するが、シャッター眼鏡の応答遅れやバックライトの漏れ光によっても発生する。クロストークにより3D映像には二重像やぼけが生じ、画質に大きく影響する。時には鑑賞者に視覚疲労を与える原因の一つにもなり<sup>(1)</sup>、クロストークを低減する技術が重要である。

従来はバックライトやシャッター眼鏡の駆動方法を工夫することにより、クロストークを低減していた。例えば、バックライトの発光期間を制御する方法<sup>(2)</sup>やシャッター眼鏡の開放期間を短くする方法<sup>(3)</sup>が知られている。しかし、それら従来法は画面輝度が低下したり、フリッカが発生したりする問題があるため低減効果には限界がある。東芝が従来から採用しているスキャンバックライトもクロストーク低減に効果的であるが、漏れ光によるクロストークが発生する。

信号処理によるクロストーク低減技術は従来法の限界を超えることができる。Pan氏らはLCDの応答を計測してクロストークを評価する手法を提案しているが<sup>(3)</sup>、これら評価結果を用いてどのようにクロストークを低減するかは言及していない。Jung氏らはLCDのオーバドライブを用いてクロストークを低

減する手法を提案しているが<sup>(4)</sup>、オーバドライブ量をどのように決定するかが述べられていない。

当社は、信号処理による新たなクロストーク低減手法を開発した。LCDの応答だけでなくバックライトの漏れ光やシャッター眼鏡の応答も考慮してクロストークを評価し、期待値の明るさと実際に目に入る明るさが同じになるようにLCDをオーバドライブすることによって、クロストークを低減する。補正するフレームとその直前のフレームにおいて階調値の全ての組合せに対して目に入る光の量を予測し、期待値との誤差が最小となるオーバドライブ量(補正量)を決定する。

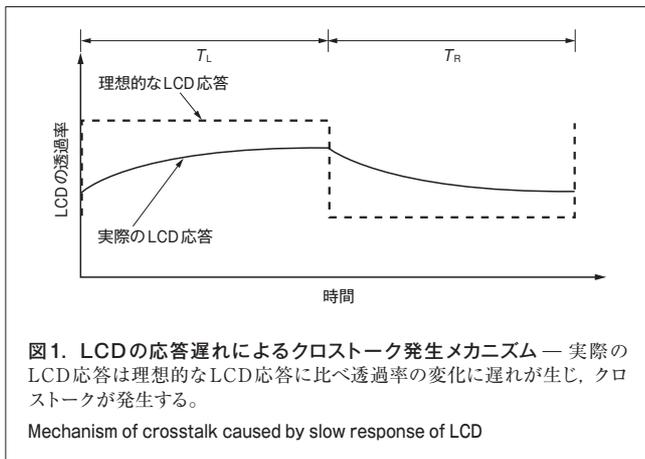
ここでは、開発した手法とその実験結果について述べる。

### 2 クロストーク低減手法

#### 2.1 シャッター眼鏡式3Dディスプレイのクロストーク発生要因

シャッター眼鏡式3Dディスプレイにおけるクロストークは、LCDの応答遅れ、バックライトの漏れ光、及びシャッター眼鏡の応答遅れにより発生する。

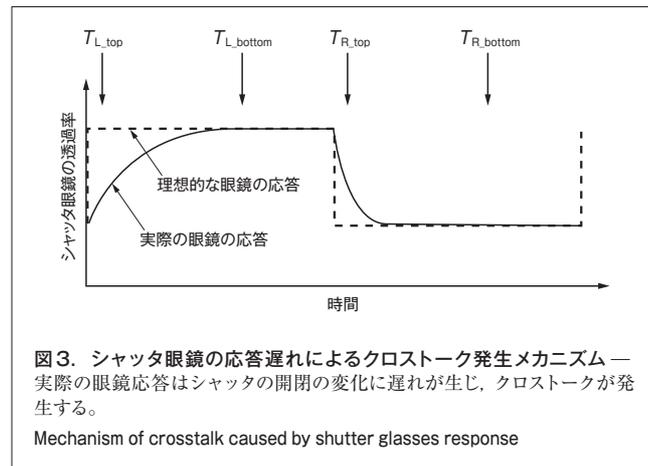
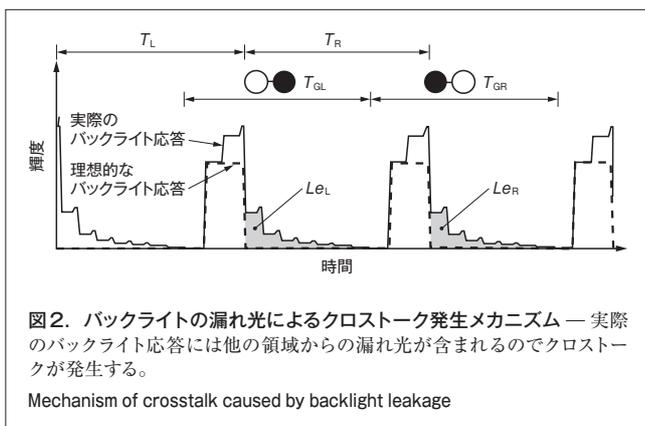
LCDの応答遅れによるクロストーク発生メカニズムを図1に示す。実線は対象画素における実際のLCD応答で、破線は応答が瞬時に変化する理想的な条件を仮定したときのLCD応答である。 $T_L$ と $T_R$ はそれぞれ左目・右目用画像の表示期



間である。階調値の変化に遅れが発生するために、 $T_L$ における実際の透過率は理想よりも低くなり、画面輝度は暗くなる。一方で、 $T_R$ における実際の透過率は理想よりも高くなり、画面輝度は明るくなる。したがってこれらがクロストークとなる。LCDの応答遅れによるクロストークは、左目・右目用画像の階調値によって変化する。

バックライトの漏れ光とは、消灯している領域に隣接する点灯領域の光が漏れることを意味する。ここでは、画面を垂直方向に領域分割し、上から下の領域に順に点灯と消灯を繰り返すスキャンバックライトを使用する。スキャンバックライトでは、一つの領域の光量はその領域が点灯しているときの光量(自発光)と他のエリアからの漏れ光の総和になる。

漏れ光によるクロストーク発生メカニズムを図2に示す。実線は画面左上にある画素の実際の輝度応答で、破線は漏れ光が発生しない理想的な条件を仮定したときの輝度応答である。実際の輝度応答は下のエリアからの漏れ光が含まれており、階段状になっている。 $T_L$ と $T_R$ はそれぞれ左目・右目用画像の表示期間、 $T_{GL}$ と $T_{GR}$ はそれぞれシャッタ眼鏡の左目・右目用シャッタが開いている期間である。漏れ光 $L_{eL}$ により左目には右目用画像が交ざり込み、同様に漏れ光 $L_{eR}$ により右目には左目用画像が交ざり込み、これらがクロストークになる。



漏れ光によるクロストークは、点灯と消灯の駆動タイミングに依存する。すなわち、各領域の点灯期間が長い場合、漏れ光により表示される期間が長いいためクロストークは増加する。

シャッタ眼鏡は液晶で作られているため、LCDと同様に応答には遅れが生じる。したがって、シャッタが開るときには、その遅れによりクロストークが発生する。シャッタが開くときにはクロストークではなく、画面上部が暗くなる輝度むらが発生する。

シャッタ眼鏡の応答遅れによるクロストーク発生メカニズムを図3に示す。実線は左目用シャッタの実際の応答で、破線はシャッタが瞬時に開閉する条件の理想的な応答である。 $T_L$ と $T_R$ はそれぞれ左目・右目用画像の表示期間である。 $T_{L\_top}$ と $T_{R\_top}$ は画面いちばん上のラインの書き込み時刻で、 $T_{L\_bottom}$ と $T_{R\_bottom}$ は画面いちばん下のラインの書き込み時刻である。左目用シャッタが完全に開く前に画面上部は表示されるため、画面上部は暗くなる。また、左目用シャッタが完全に閉まる前に画面上部は右目用画像を表示するため、クロストークが発生する。

## 2.2 クロストーク低減アルゴリズム

開発した手法は入力画像の各画素を補正することによりクロストークを低減する。補正量は次の四つの要素に依存する。

- (1) 現在フレームの階調値 (以下、現在階調と呼ぶ)
- (2) 一つ前のフレームの階調値 (以下、過去階調と呼ぶ)
- (3) LCD, バックライト, 及びシャッタ眼鏡の特性, すなわち応答速度や漏れ光
- (4) LCDの書込タイミングやバックライトの点灯・消灯タイミング

これらの要素に基づいて片方の目に入る光の量を予測し、この光の量が期待値と同じになるように補正量を決定する。

実際に片方の目に入る光の量 $S_{real}$ を式(1)のように定義する。

$$S_{real}(y) = \int_{t_G} L_{total}(y, t) \times T_D(t) \times T_G(t) dt \quad (1)$$

ここで、 $L_{total}$ はバックライトの輝度応答、 $T_D$ はLCDの応答、

$T_G$ はシャッタ眼鏡の応答,  $t$ は時間,  $y$ は対象画素の垂直位置である。 $S_{\text{real}}$ は各応答を積算してシャッタが開いている期間 $t_G$ で積分した値となる。

画素の位置に応じて点灯・消灯タイミングや漏れ光が異なるため,  $L_{\text{total}}$ は画素によって異なる。 $L_{\text{total}}$ を式(2)のように定義する。

$$L_{\text{total}}(y,t) = \sum_{a=0}^{N-1} L_{\text{BL}}(a,t) \times W(a,y) \quad (2)$$

ここで,  $N$ はバックライトの分割数,  $a$ はバックライトの領域番号でありその番号はいちばん上の領域からいちばん下にかけて0から $N-1$ とする。 $L_{\text{BL}}$ は時刻 $t$ で領域 $a$ が点灯しているとき自発光輝度となり, 消灯しているときは0となる。 $W(a,y)$ は領域 $a$ の光が垂直ライン $y$ に漏れるときの減衰率で,  $y$ が $a$ に含まれる場合には1となる。

$T_D$ は過去階調と現在階調によって変化し, 一般的に式(3)のように定義される<sup>(5)</sup>。

$$T_D(t) = (T_1 - T_0) \left[ 1 - \exp\left(\frac{-\ln 10}{\tau_D(T_0, T_1)} \Delta t\right) \right] + T_0 \quad (3)$$

$T_0$ と $T_1$ はそれぞれ過去階調と現在階調に対する透過率,  $\tau_D$ は応答時間,  $\Delta t$ は応答開始からの変化時間である。 $\tau_D$ は過去階調と現在階調の組合せによって異なる。

$T_G$ は画素の位置や階調値に応じては変化しない。式(3)に基づいて, 式(4)及び式(5)のように $T_G$ を定義する。

Close → Open:

$$T_G(t) = T_{\text{OFF}} + (T_{\text{ON}} - T_{\text{OFF}}) \left[ 1 - \exp\left(\frac{-\ln 10}{\tau_{\text{GON}}} \Delta t\right) \right] \quad (4)$$

Open → Close:

$$T_G(t) = T_{\text{ON}} + (T_{\text{OFF}} - T_{\text{ON}}) \left[ 1 - \exp\left(\frac{-\ln 10}{\tau_{\text{GOFF}}} \Delta t\right) \right] \quad (5)$$

ここで,  $T_{\text{ON}}$ と $T_{\text{OFF}}$ はそれぞれシャッタが開放・遮蔽時の透過率,  $\tau_{\text{GON}}$ ,  $\tau_{\text{GOFF}}$ はそれぞれ遮蔽から開放, 開放から遮蔽への応答時間を示す。

バックライト, LCD, 及びシャッタ眼鏡が理想的な応答で動作する場合の片方の目に入る光の量を $S_{\text{ideal}}$ とすると, クロストーク $C$ は式(6)のように定義される。

$$C = |S_{\text{real}} - S_{\text{ideal}}| \quad (6)$$

そして,  $C$ が最小となるように補正量を決定する。

補正量の決定方法を図4に示す。実線は,  $T_D$ ,  $T_G$ を積算した応答(以下, 実積応答と呼ぶ), 破線は理想的な特性を持つ条件で積算した応答(以下, 理想積応答と呼ぶ)である。開発した手法では, 実積応答が一点鎖線で示すような補正積応答となるように現在階調を補正する。領域I, IIはそれぞれ左目, 右目に発生するクロストークである。そして, 領域IIIが領域IVと等しくなるように左目用画像の階調値を補正する。同

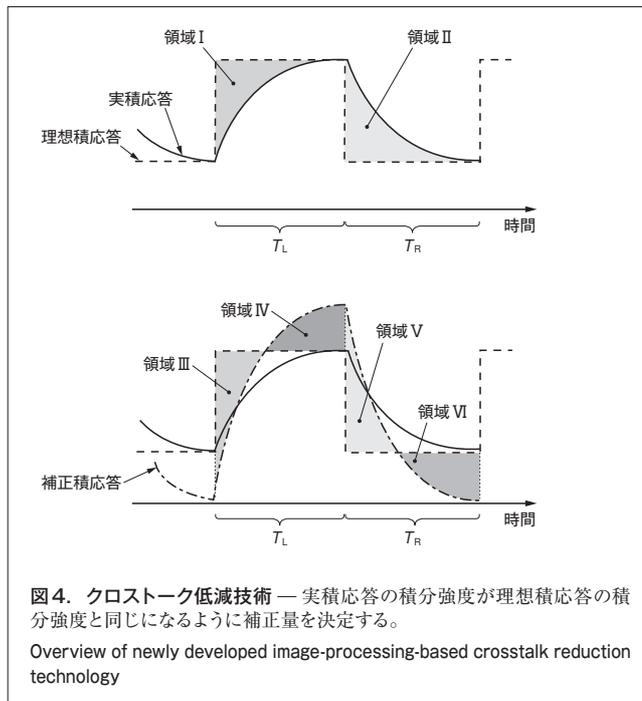


図4. クロストーク低減技術 — 実積応答の積分強度が理想積応答の積分強度と同じになるように補正量を決定する。  
Overview of newly developed image-processing-based crosstalk reduction technology

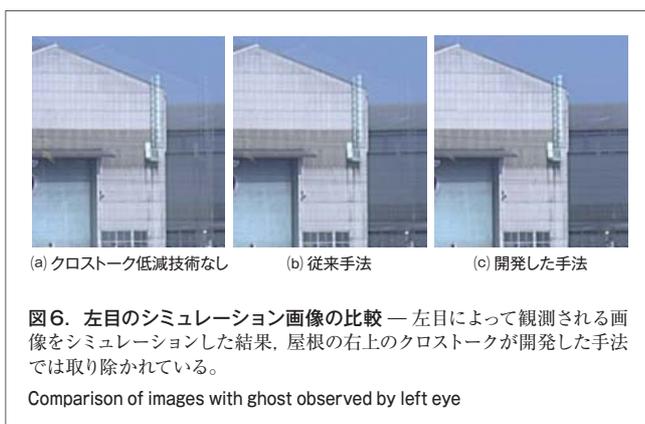
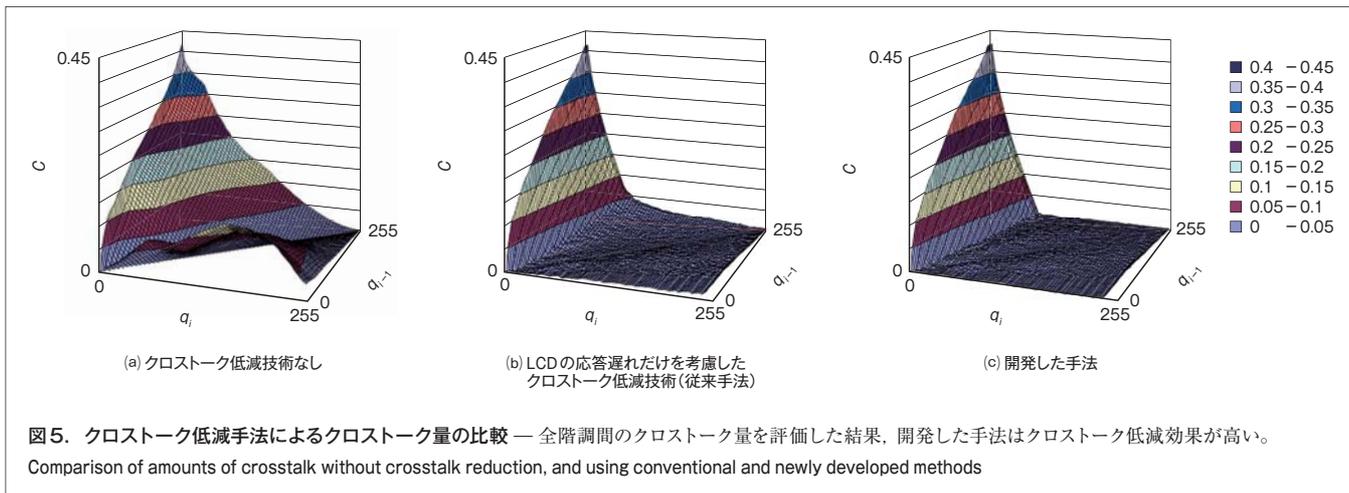
様に, 領域Vが領域VIと等しくなるように右目用画像の階調値を補正する。片方の目だけでクロストークが最小となるように補正すると他方の目のクロストークが増加するため, 開発した手法では両眼におけるクロストークの総和が最小となるように補正量を決定する。

このように, 開発したクロストーク低減技術はLCDの応答遅れ, バックライトの漏れ光, シャッタ眼鏡の応答遅れを考慮した応答波形をもとに目に入る明るさを予測し, 期待値と同じになるように階調値を補正してLCDをオーバドライブすることにより, 前節で挙げた要因で発生するクロストークを低減する。

### 3 実験結果

クロストーク低減技術なしの場合, LCDの応答遅れだけを考慮した従来手法の低減技術を用いた場合, 及び開発した手法を用いた場合それぞれについて, 全階調間のクロストーク量を評価した結果を図5に示す。 $q_i$ は現在階調,  $q_{i-1}$ は過去階調である。

この実験では,  $q_i$ と $q_{i-1}$ の値がともに255 (LCDは8ビット)であるときの積分値が1となるように $S_{\text{ideal}}$ と $S_{\text{real}}$ を正規化して $C$ を算出した。評価の結果, クロストーク低減技術なしの場合では, ほとんど全ての階調の組合せにおいて $C$ の値が高くなっている。一方, 開発した手法では, クロストークが大きく低減していることがわかる。全ての階調間で70%, 中間階調間(64~192階調)で94%低減している。しかし,  $q_{i-1}$ と $q_i$ の階調差が大きい組合せではほとんど低減していない。これは階調差の大きい組合せでは十分にオーバドライブできない



ことを示している。従来手法では、全階調間で65%、中間階調間で90%の低減効果となった。 $q_{i-1}$ が $q_i$ よりも大きい中間階調の組合せにおいて、開発した手法のクロストークは従来手法よりも小さい。したがって、開発した手法は従来手法に比べ低減効果が向上していることを確認できた。

左目によって観測される画像を予測したシミュレーション画像を図6に示す。建物のクロストークが、クロストーク低減技術なしでは発生しており、従来手法ではわずかに低減し、開発した手法では取り除かれていることがわかる。

#### 4 あとがき

ここでは、シャッター眼鏡式3Dディスプレイのための信号処理によるクロストーク低減技術について述べた。

開発した手法では、LCDの応答遅れだけでなくバックライトの漏れ光やシャッター眼鏡の応答遅れによる影響も含めてクロストークを高精度に予測し、補正した明るさが期待値と同じになるようにLCDをオーバドライブすることによって、クロストークを低減する。実験の結果、開発した手法が従来手法に比べ高いクロストーク低減効果が得られることを確認した。

#### 文献

- (1) Ko, Y. et al. Crosstalk Simulation for Polarization Switching 3D LCD Display. SID 10 DIGEST. 41, 1, 2010, p.120 - 123.
- (2) Chang, Y. et al. Crosstalk Suppression by Image Processing in 3D Display. SID 10 DIGEST. 41, 1, 2010, p.124 - 127.
- (3) Pan, C. et al. Cross-Talk Evaluation of Shutter-Type Stereoscopic 3D Display. SID 10 DIGEST. 41, 1, 2010, p.128 - 131.
- (4) Jung, S. et al. Improvement of 3-D Crosstalk with Over-Driving Method for the Active Retarder 3-D Displays. SID 10 DIGEST. 41, 1, 2010, p.1264 - 1267.
- (5) Baba, M. et al. Software-processed edge- and level-adaptive overdrive (SELAO) method for high-quality motion pictures. Journal of SID. 15, 3, 2007, p.205 - 211.



岩中 由紀 IWANAKA Yuki

研究開発センター マルチメディアラボラトリー。  
 3D映像処理技術の研究・開発に従事。映像情報メディア学会、SID会員。  
 Multimedia Lab.



三田 雄志 MITA Takeshi

研究開発センター マルチメディアラボラトリー主任研究員。  
 3D映像処理技術の研究・開発に従事。電子情報通信学会、IEEE会員。  
 Multimedia Lab.



馬場 雅裕 BABA Masahiro

研究開発センター マルチメディアラボラトリー主任研究員。  
 ディスプレイシステム及び画像処理技術の研究・開発に従事。  
 電子情報通信学会、SID会員。  
 Multimedia Lab.