

液晶テレビの動画高画質化技術 —ソフトウェア処理からハードウェア処理へ

Software and Hardware Technologies for High-Quality Moving Images on LCD TVs

伊藤 剛 三島 直 大脇 一泰

■ ITOH Goh ■ MISHIMA Nao ■ OHWAKI Kazuyasu

液晶テレビ (TV) の画質レベルは動画の鮮明度に大きく依存している。液晶材料の応答が遅かったときはソフトウェア処理による強調駆動が有効であったが、材料の改善が進むにつれ、視覚特性に依存する画質劣化が顕著となり、ハードウェア処理も加えたインパルス駆動や倍速駆動が必要となってきた。インパルス駆動に対しては、入力映像に応じて黒画像の表示期間を制御する手法を開発し、倍速駆動に対しては、通常の2倍のフレームレート表示 (120フレーム/s) を行うため、入力映像から高画質の補間フレームを作り出して挿入するフレーム補間技術を開発した。これらの技術を製品に搭載するためにアルゴリズムを高速化することで、液晶TVの動画画質向上を実現した。

The picture quality of liquid crystal display (LCD) TVs greatly depends on motion sharpness. Previously, the overdriving method was an effective means of improving motion sharpness when the response of liquid crystals was not so fast. Currently, however, the response time of liquid crystals has become so fast that it is shorter than a single frame period (16.7 ms), so that a motion blur attributable to the characteristics of human vision is produced in the hold-type display method where a picture is held still during the frame period.

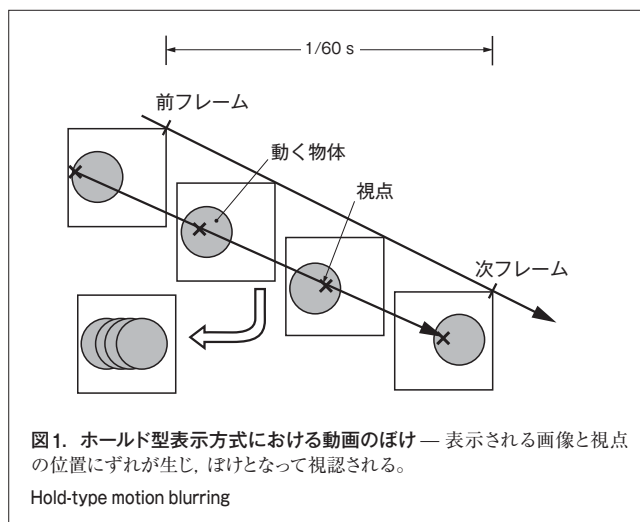
Two methods are known to reduce motion blur: the impulse driving method and the double-rate driving method. For the former method, Toshiba has developed a display time control system for black frame insertion whose exact time is given by the characteristics of the input picture. For the latter method, we have developed a technique for high-quality interpolation between two successive frames displayed at a refresh rate of 120 Hz. By applying these two driving methods, we have successfully accomplished high-quality moving images on LCD TVs.

1 まえがき

フラットパネルTVに占めるLCD (Liquid Crystal Display: 液晶表示装置) の割合は年々増加しつつあり、2010年には世界のカラーTV台数の半数を占めると見られている。そしてLCDの大画面・高精細化が進むにつれて、動画でのぼけが課題として指摘されている。

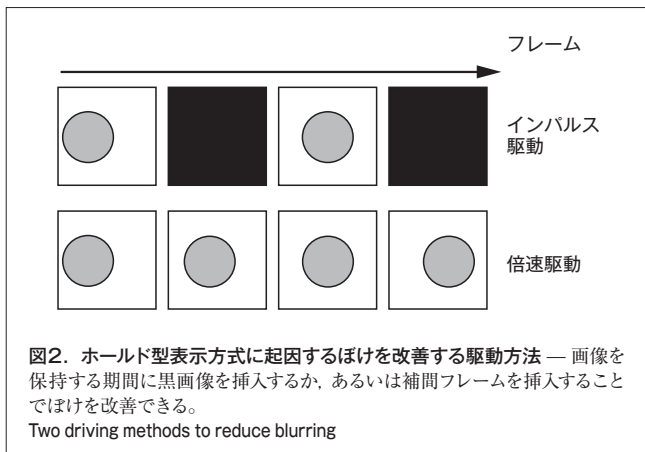
液晶材料の応答が遅かった時代は、LAO (Level Adaptive Overdrive: レベル適応強調駆動) 技術が十分な効果を発揮していた⁽¹⁾。LAOでは、前後のフレーム間の画像信号の変化を調べ、変化の大きさに応じて次フレームに表示するデータを変換する。液晶の応答性が悪いため、これにより実際に表示する信号は入力された信号よりも強調される。このようにLAOは画像処理技術であり、表示デバイスの構造に変更を加えることはないソフトウェア処理による高画質化と位置づけられる。

しかし、液晶材料の改善が進むにつれ、視覚特性に依存するぼけが新たに指摘されるようになってきた。これはLCDのホールド型表示方式に起因するぼけであり、CRT (Cathod Ray Tube) のインパルス駆動方式に比べ、動画のぼけが原理的に発生しやすい。液晶TVでは、図1に示すように同じ絵を1/60s間保持 (ホールド) するため、物体を追従する人の視点



と表示される物体との位置がずれて、ぼけた画像が視認される。

この課題の解決方法は、黒画像を挿入するインパルス駆動か、あるいはフレーム数を増やす倍速駆動になる (図2)。それぞれの方法で、ソフトウェアとハードウェアの両面から有効な手段が検討されており、東芝は、画像適応バックライト制御方式 MotionAI_{TM}⁽²⁾と、120 Hzの倍速駆動に必要な画像処理技術 FrameBooster_{TM}⁽³⁾をそれぞれ開発した。これらの



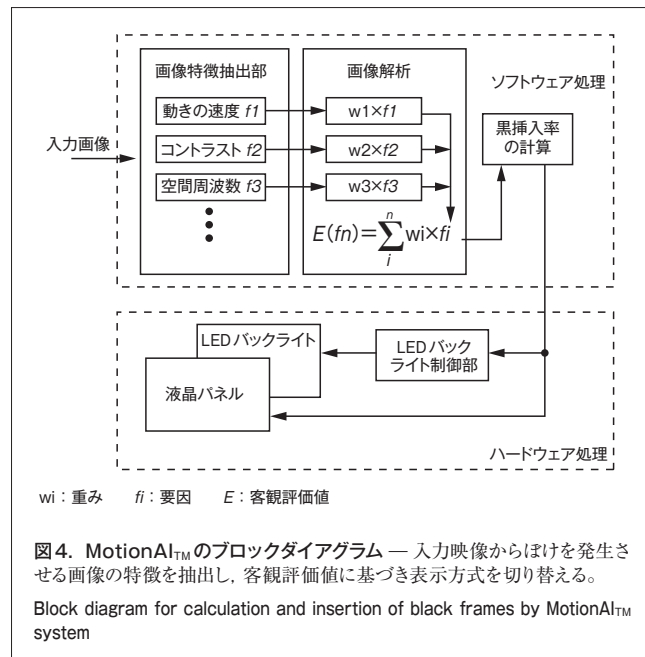
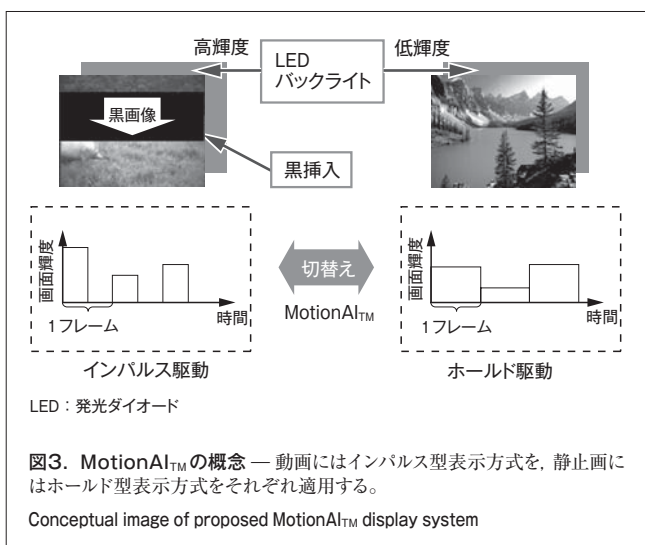
方式は、バックライトの制御あるいはLCDの120 Hz駆動など、表示デバイスを制御するハードウェア処理が加わり、高画質化実現に向けソフトウェア処理からハードウェア処理へと技術展開してきている。

ここでは、2章でMotionAI_{TM}の概略を紹介し、3章でFrameBooster_{TM}について詳しく述べる。

2 MotionAI_{TM}

MotionAI_{TM}は映像の動画と静止画を自動的に判別し、動画には“きれのある”インパルス型表示方式を、静止画には“ちらつきのない”ホールド型表示方式をそれぞれ適用する。すなわち、CRTとLCDの両方の長を兼ね備えたシステムとなっている(図3)。

画像の判別アルゴリズムを構築するため、ホールドぼけを視覚しうる画像のパターンを調べた。テスト画像に対して、ホールドぼけが視認しやすいかどうかの主観評価実験を動画像シミュレータで行い、動きの速度、画像のコントラスト、空間周



波数特性といった要因を抽出した。そして、各要因の線形加算により客観評価値を求め、客観評価値に応じて黒画像の表示期間を制御した(図4)。

自然画像を用いた性能評価実験において、主観評価値と客観評価値がほぼ一致したことを確認し、更にプロトタイプを作成して、MotionAI_{TM}による画質改善効果を実証した。

3 FrameBooster_{TM}

3.1 基本アルゴリズム

FrameBooster_{TM}は、フレーム間に補間フレームを作成し挿入することで、動きをより滑らかに表現する。補間フレーム生成のアルゴリズムは、動き推定処理部と動き補償部から構成される。

動き推定処理はMPEG (Moving Picture Experts Group) で使用されているブロックマッチングを基本としている。前後のフレーム内の一部分であるブロックに対し、画像信号が似ている相関の高いブロック対を探し、そのブロック対をつなぐベクトルを動きベクトルとして定義する。MPEGでは伝送時のビットレートを下げることが目的とするため、動きベクトルが物体の動きを正確に反映する必要はないが、フレーム補間技術では、実際の動きと異なる動きベクトルを用いると画質劣化要因となることから、相関を求める式に物体の動きを反映した評価手法を採用した。

採用した評価手法はMPC (Maximum matching Pixel Count estimation) である。MPEGで一般的に使用されているSAD (Sum of Absolute Difference estimation) が(1)、(2)式で表されるのに対し、MPCは(3)~(5)式でそれぞれ表される。

$$E_{SAD}(d) = \sum_{x \in B} |s(x-d, t) - s(x+d, t+1)| \quad (1)$$

$$d = \arg \min_{d \in W} E_{SAD}(d) \quad (2)$$

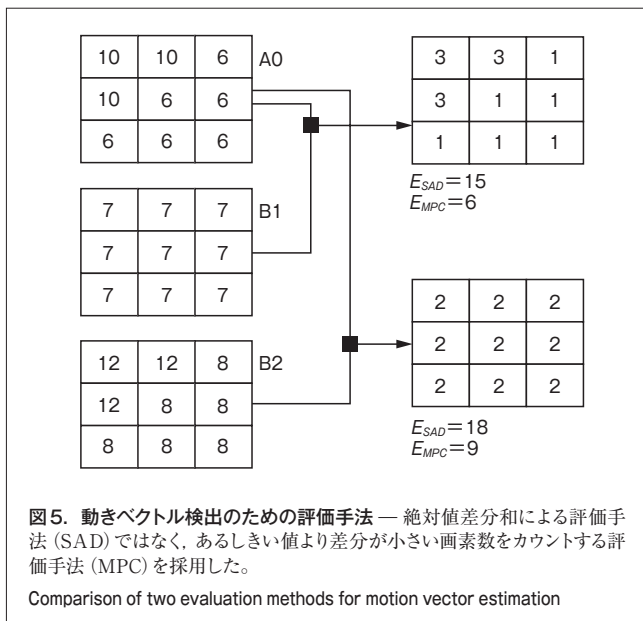
$$E_{MPC}(d) = \sum_{x \in B} \delta(x, d) \quad (3)$$

$$\delta(x, d) = \begin{cases} 1 & |s(x-d, t) - s(x+d, t+1)| \leq Th \text{ の場合} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases} \quad (4)$$

$$d = \arg \max_{d \in W} E_{MPC}(d) \quad (5)$$

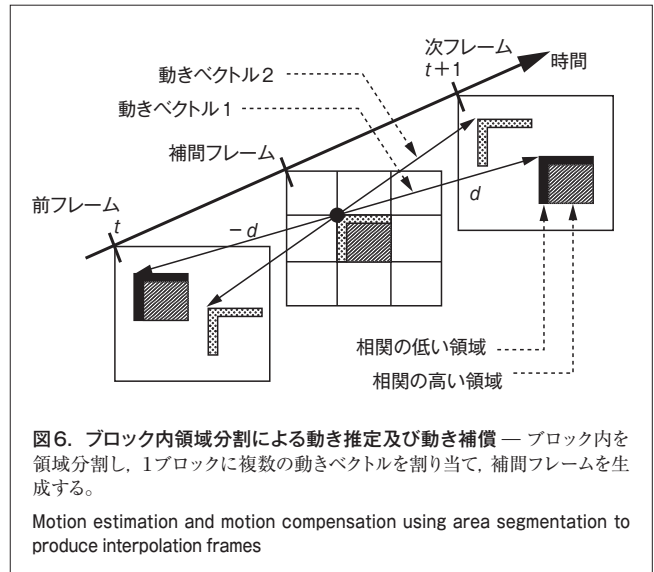
ここで、 E は評価値 (E_{SAD} :絶対値差分和, E_{MPC} :最大画素数), d は動きベクトル, s は画像信号, x は補間フレーム上での座標, t はフレーム, B はマクロブロック, W は探索範囲, δ はデルタ関数, Th はしきい値である。また, \arg は E を満たす d を求めることを表している。

SADとMPCの違いを図5を用いて説明する。前フレームのブロックA0と次フレームのブロック候補B1あるいはB2との間で、画素ごとの差を求めるところは同じである。違いは E の算出手法であり、SADでは求めた差の絶対値差分和を求めるのに対し、MPCではあるしきい値(図5では $Th=2$)を設けて、それ以下となる画素数をカウントする。



このように、MPCはテクスチャ(輝度の変化)に主眼を置いた評価手法であり、同一物体であれば、テクスチャも同じであるという視点から定義している。照明の当たり方の変化にロバストな部分もあるが、ノイズに対しては敏感となるため、しきい値の設定方法には十分考慮しなければならない。

また、動きの推定方法では、生成すべき補間フレーム上をマクロブロックに分割し、このマクロブロックを中心として補間フレーム前後の入力フレームを点対称に探索する(図6)。これ



に対し、MPEGでは前フレームあるいは次フレームをマクロブロックに分割し、他方のフレームに対し相関の高いブロックを抽出する手法が取られるが、この手法では後述するように動き補償部でのハードウェア処理に問題が生じる。

更に、当社で行っている動き推定方法の特徴として、ブロックを領域分割し、1ブロック内で複数のベクトルを割り当てている点が挙げられる。図6に示すように、まず斜線領域に対して動きベクトル1を求める。次にブロック内の斜線領域以外の部分(ドット部)を不一致領域として検出し、この不一致領域に対しては再度動きベクトル2を求める。これを再帰的に繰り返すことによって、一つのブロックに対して任意の数の動きベクトルを求めることができる。

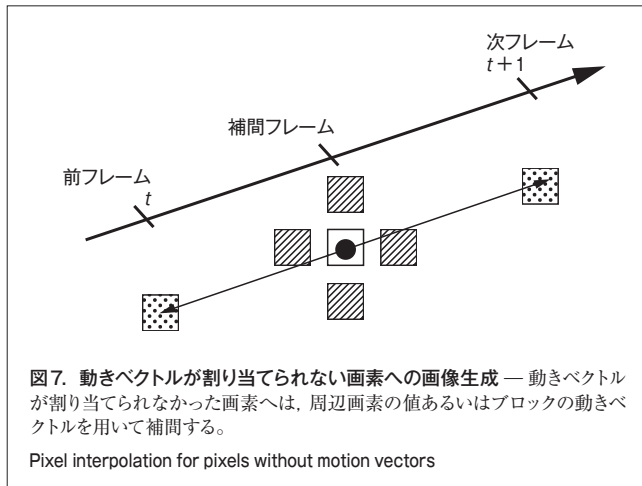
通常ブロックマッチングでは一つのブロックに対して一つの動きベクトルしか検出しないため、オブジェクトの境界部分でひずみが発生するが、この方法ではピクセル単位で動きの境界を求めるためひずみは発生しない。

次に、動き補償部について説明する。動き推定処理部で求めた動きベクトルを用いて、二つのフレームから各画素の画像信号を抽出し、平均化することで補間フレームの画像信号を生成する。通常、伝送されてくる画像信号の順序(ラスタスキャン)に従い、新たな画像信号を生成することでメモリを削減できる。よって、補間フレームを想定することでラスタスキャン処理が可能となる。

しかし、前フレームから次フレームへ探索し、求めた動きベクトルの1/2の位置に画像信号を割り当てると、データが複数割り当てられる画素と、割り当てられない画素などが発生し、動き補償部での処理が複雑化する。また、周辺ブロックの動きベクトルが決定するまで、動き補償部の処理が行えないため、途中段階を保持するメモリが増加し、結果的に処理時間がかかることになる。これらの理由から、この手法は

MPEGで一般的に用いられる動き推定方法に比べ、メモリと処理コストが制約されるハードウェア処理に対しても適していると言える。

補足すると、繰り返し探索を行った後、データが割り当てられなかった画素に対しては、割り当てられた周辺画素のデータ、あるいはその画素を含むブロックが持つ動きベクトルを使って、前後のフレームからデータを抽出することで、データを生成する(図7)。



3.2 画質改善手法

基本アルゴリズムでは2フレーム間に物体が存在する場合は想定しているが、実際には物体が出現あるいは消失する陰面領域が存在する。陰面領域に対しては隣接の2フレーム(第n-1参照フレーム, 第n+1参照フレーム)だけでは決定することができないため、時間的に外側の2フレーム(第n-2参照フレーム, 第n+2参照フレーム)も用いる⁽⁴⁾。また、陰面領域の処理を行うことで、データが割り当てられなかった領域 $s(x, n)$ に対して、より精度の高い画像を生成できる。

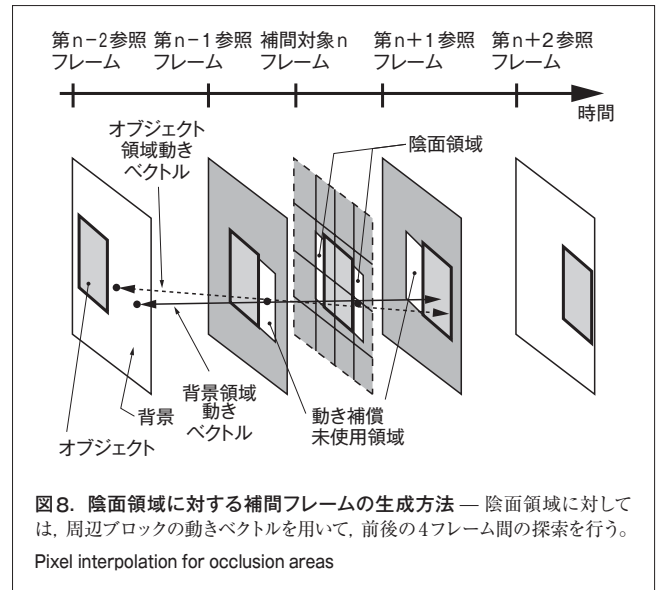
図8は、静止している背景上をオブジェクトが左から右へ移動しているようすを示している。補間フレームnの網掛けされた領域は隣接2フレーム間から動きベクトルが検出された領域であり、白抜きされた領域が陰面領域を表している。陰面領域処理では、前後の4フレームを使用することに加え、陰面領域は周辺と同一のオブジェクトである可能性が高いという特徴を利用して、陰面領域周辺の動きベクトルをその候補とする。

陰面領域 $s(x, n)$ の検定には、以下の式を用いる。

$$\Delta s_1(x, n) = |s(x-d, n-1) - s(x-3d, n-2)| \quad (6)$$

$$\Delta s_2(x, n) = |s(x+d, n+1) - s(x+3d, n+2)| \quad (7)$$

ここで、(6)式において、第n-2参照フレーム上の位置をdの

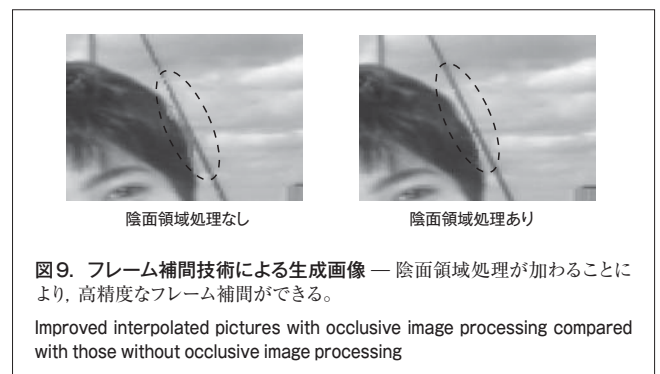


3倍としているのは、図8では補間対象nフレームからの時間的ずれが、第n-1参照フレームに対して3倍となるように設定しているからである。(7)式においても同様である。

このとき、 $s(x-d, n-1)$ が第n-1参照フレーム上で既に動き補償に使用された領域(図8の第n-1参照フレーム上で網掛けされた領域)である場合、この動きベクトルを利用した $\Delta s_1(x, n)$ を候補から除外する。同様に、 $s(x+3d, n+1)$ が、第n+1参照フレーム上で既に動き補償に使用された領域である場合、 $\Delta s_2(x, n)$ を候補から削除する。この処理を周辺のベクトル候補の数だけ行った後、最小値が得られた候補を用いて陰面領域の補償を行う。

最小値が $\Delta s_1(x, n)$ であった場合、 $s(x-d, n-1)$ と $s(x-3d, n-2)$ を利用した補償を行う。同様に最小値が $\Delta s_2(x, n)$ であった場合、 $s(x+d, n+1)$ と $s(x+3d, n+2)$ を利用した動き補償を行う。

図8の補間対象フレーム右側の陰面領域に対して、陰面領域周辺には背景領域とオブジェクト領域の二つの動きベクトル候補が存在する。これらの動きベクトルを用いて前述した陰面領域の処理を行うと、両ベクトルともに第n+1参照フレーム



上で既に動き補償に使用された領域を通過するため、第 $n+1$ 参照フレーム方向からは動き補償をしない。一方、第 $n-1$ 参照フレーム方向においては、背景領域の動きベクトルを使用した $\Delta_{s1}(x, n)$ が最小となることから、第 $n-1$ 参照フレーム方向からの補償が行われる。

陰面領域処理の有無による補間フレームの例を図9に示す。陰面領域である頭と斜めの電線との空間が、陰面領域処理により正しく補間されていることが確認できる。このように表面の物体だけでなく、陰面領域に対しても高精度に補償する技術の開発にめどを得た。

4 あとがき

液晶TVの動画鮮明度を向上する試みは、液晶材料の応答性を画像処理だけで改善するLAOから、画像適応のバックライト制御方式 MotionAI_{TM}あるいは120 Hz倍速駆動とフレーム補間技術 FrameBooster_{TM}へと展開した。すなわち、ソフトウェア処理に加え、表示デバイスに改良を加えるハードウェア処理が開発されてきた。現在のハイエンド液晶TVでは120 Hz倍速駆動が主流となっており、フレーム補間技術の精度が画質を決める重要なファクタとなっている。

今後は解像度だけでなく、コントラストや色といった画質パラメータに対しても、同様の改善を行っていく。

文献

- (1) Okumura, H., et al. "A New Low Image-Lag Drive Method for Large-Size LCTVs". SID1992, USA, 1992-05, p.601 - 604.
- (2) Itoh, G., et al. "Picture Adaptive Display System using TFT-LCD and LED Backlight for High Quality Motion Picture". IDRC2006, Kent, USA, 2006-09, p.96 - 99.
- (3) Itoh, G., et al. "Novel Frame Interpolation Method for High Image Quality LCDs". Asia Display2004, Daegu, Korea, 2004-08, p.251 - 254.
- (4) 大脇一泰, ほか, "陰面領域を考慮したフレーム補間技術 (FrameBooster_{TM})". 電子情報通信学会 総合大会, 東京, 2006-03, 講演番号D-11-96.



伊藤 剛 ITOH Goh

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。
動画シミュレータの開発に従事後、画像処理技術の開発に従事。映像情報メディア学会, SID会員。
Multimedia Lab.



三島 直 MISHIMA Nao

研究開発センター マルチメディアラボラトリー。
画像処理技術の開発に従事。
Multimedia Lab.



大脇 一泰 OHWAKI Kazuyasu

研究開発センター マルチメディアラボラトリー。
画像処理技術開発に従事。映像情報メディア学会, 電子情報通信学会会員。
Multimedia Lab.