

グラスレス3Dのための 複数人対応フェイストラッキング技術

Multiple-Face Tracking Technology for Glasses-Free 3D Displays

下山 賢一 三田 雄志 平井 隆介
 ■SHIMOYAMA Kenichi ■MITA Takeshi ■HIRAI Ryusuke

裸眼式の3D (立体視) テレビは、専用眼鏡を使用することなく3D映像を楽しむことができるが、立体視可能な範囲である“視域”が限定されてしまうという問題がある。

そこで東芝は、カメラを用いて複数の視聴者を検出し、その位置に視域を自動制御する手法である“複数人対応フェイストラッキング技術”を開発した。開発した手法は、視聴者の立体視の良好度を表す満足度を定義し、この満足度を最大化するように視域を制御することによって、複数の視聴者に対して最適な視域位置を提供する。4人家族を想定した実験で、従来手法では平均1.7人しか視域に入れなかったのに比べ、開発した手法では、3.8人を視域内に入れることが可能になることを確認した。

Autostereoscopic displays enable viewers to watch three-dimensional (3D) images without wearing dedicated glasses. However, the viewers are forced to watch the display from within a limited area, called the viewing zone, in order to enjoy high-quality 3D images.

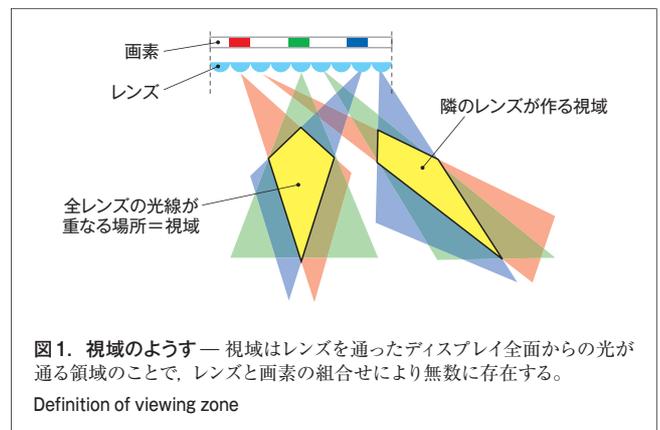
As a solution to this issue, Toshiba has developed a multiple-face tracking technology that can automatically control the viewing zone according to the viewers' positions detected by a camera installed in the TV set. This technology makes it possible to find the best position of the viewing zone for multiple viewers so as to maximize the 3D-satisfaction ratio. We have conducted simulation experiments for a family of four and confirmed that the average 3D-satisfaction ratio of four viewers is 3.8 in the viewing zones using our newly developed technology, compared with only 1.7 using the conventional method.

1 まえがき

近年の3Dの普及は目覚ましく、“アバター”などに代表される3D映画がヒットし、家庭用の専用眼鏡式3Dテレビが多く販売され、3D体験は非常に身近なものとなっている。一方で、家庭で専用眼鏡をかけずにリラックスした状態で3Dを楽しみたいというニーズもある。このニーズを満たすものとして、専用眼鏡を必要としない裸眼式の3Dディスプレイがあり、よりリラックスした状態で3D映像を楽しむことが可能になった。

しかし、裸眼式ディスプレイでは、図1に示すように立体視可能な範囲である“視域”が限定されてしまうという性質がある。そのため、視聴者は専用眼鏡式とは異なりどこからでも3D映像が視聴できるわけではなく、視域位置にみずから移動する必要があり、その手間が煩わしいという問題がある。

この問題に対する従来の解決策はいくつかある。視域位置制御のもっとも原始的な方法は、ディスプレイの位置や向きを変えることであるが、一般家庭などではこの方法は非現実的である。また、ディスプレイ内部のレンズの向きや配置を機構的に制御することで、視域位置を変更する方法⁽¹⁾があるが、複数の視聴者に対応できない。更に、特殊な装置(スクリーンや特殊形状のディスプレイなど)を用いた視域を直接的に広げる手法⁽²⁾は、複数人にも対応可能であるが、ハードウェアの大幅な変更が必要でコスト面で問題がある。



一方、ハードウェア変更なしにソフトウェア面で解決する方法がある⁽³⁾。この方法は、ある視聴者が常に視域の中心に入るように表示画像を制御する。この方法はコスト面では良いが、複数の視聴者に対応できない。これは、常に誰か1人に視域が追従してしまうため、他の視聴者にとって映像が見づらくなるからである。

そこで東芝は、ソフトウェア処理で、複数の視聴者を同時に視域に入れるように、視域位置を自動制御する“複数人対応フェイストラッキング技術”を開発した。ここでは、この技術によって最適な視域位置を提供する方法と、シミュレーション実験での評価及び実機での実験結果について述べる。

2 複数人対応フェイス-tracking

この章では、まず裸眼3Dディスプレイにおける視域の幾何学的な配置を、ディスプレイやレンズの設計パラメータから導出する方法について説明し、視聴者位置に応じて視域を移動させるための画像シフト量や引伸し度合いについて述べる。次に、各視聴者がどの程度良好な立体映像を鑑賞しているかを表す満足度の導入について説明し、満足度を用いた視域配置の評価方法について述べる。最後に、最適な視域配置を選択する方法について述べる。

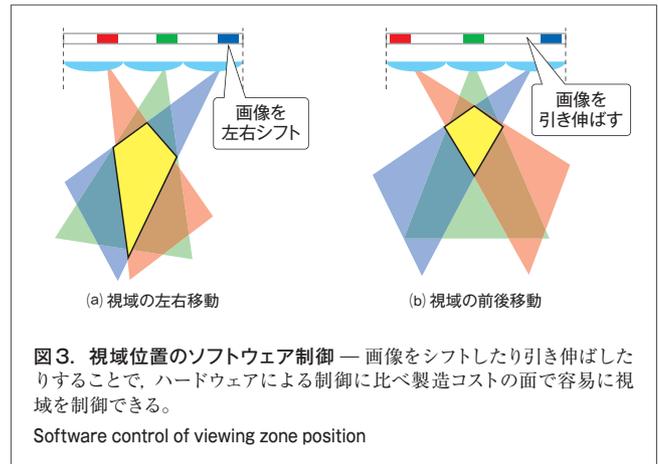
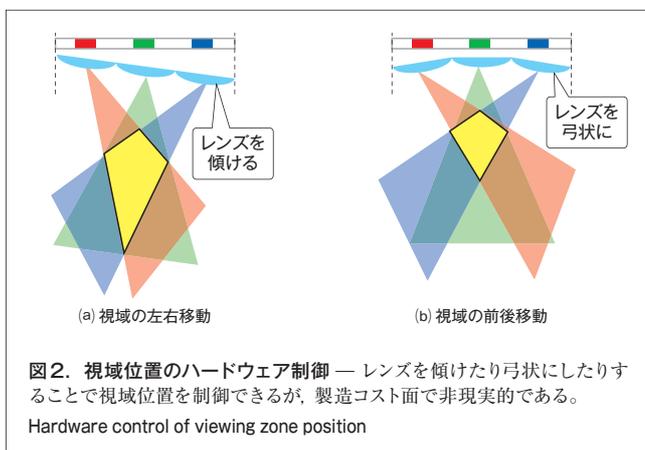
2.1 視域位置の制御

3Dを視聴するためには、ディスプレイ上に左・右目用に表示された画像をなんらかの方法で分離してそれぞれの目だけに見せる必要がある。専用眼鏡式の場合は、眼鏡が分離を行う。一方裸眼式の場合は、ディスプレイ上に並べたレンチキュラシートやパララックスバリアが画像を分離し、空間上に左・右目用のエリアを作り出す。このエリアを視域と呼ぶ。図1に示したように、視域は全て画素からの光線がレンズを通過して重なる場所で、その範囲はハードウェア設計から幾何学的に決定される。また、レンズと画素の組合せによって視域は無数に存在する。

ところで、固定された視域では視聴者が動くとき正しい3D映像が視聴できなくなる。そこで、視聴者の位置に応じて視域位置を制御する必要がある。

ハードウェアによる視域制御の例を図2に示す。ディスプレイ面に対してレンズを傾けると視域は左右に移動し、レンズを弓状に配置すると前後に移動する。しかし、これらの方法は前述したように製造コストの面で非現実的である。

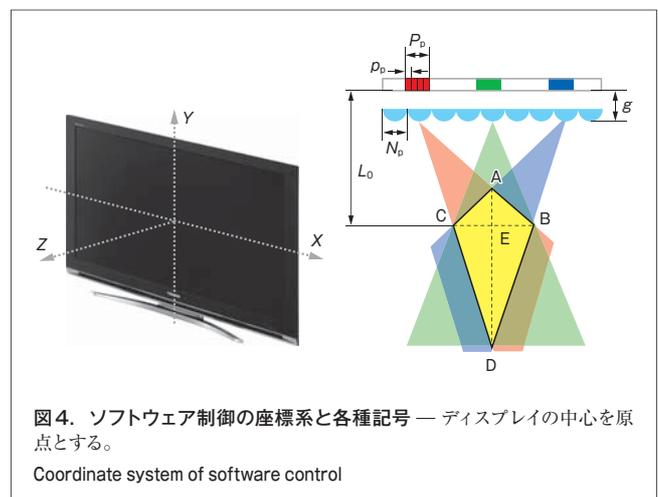
そこで当社は、表示する画像をソフトウェアで制御することにより視域位置を制御する。視域の左右位置の制御は、画像を左右にシフトさせて表示することで実現する。例えば図3(a)に示すように、画像を右にシフトさせるとレンズからの光線は左に寄り、視域も左側に移動する。また視域の前後位置の



制御は、当社が開発した視域制御方法⁽⁴⁾を用い、画像を左右に伸縮することによって実現する。例えば図3(b)に示すように、画像を引き伸ばすとディスプレイ両端のレンズからの光線は内側に寄り、視域は前に移動する。

実際に視域をソフトウェアで制御するための方法について、以下に述べる。各種記号について、次のように定義する。座標系は、ディスプレイ面中央を原点として、ディスプレイ面上の水平右方向をX軸正方向に、ディスプレイ面上のX軸に対し垂直上方向をY軸正方向に、ディスプレイ面に対し垂直方向表示面側をZ軸正方向に設定する(図4)。視域はXZ平面上にあり、各視域のディスプレイに近い頂点をAとし、時計回りに頂点B, D, Cとする。また対角線の交点をEとし、交点Eの座標を視域の位置とする。レンズの幅を N_p 、対応する画素群の幅を P_p 、一つの画素の幅を p_p 、レンズと画素の空気換算幅(ギャップ)を g とする。また N 視差の画像を表示するものとする。

さて前記の視域制御方法⁽⁴⁾によれば、視域をディスプレイから L_0 の距離に設定するには、画像の引伸し度合い a を式(1)とすればよい。



$$a = \frac{P_p}{N_p} = \frac{N(L_0 + g)}{N_p L_0} \quad (1)$$

更に、画像を Δ シフトした場合、中央の視域から k 個離れた視域の各頂点の座標 (X, Z) は、式(2)で表せる。

$$\left. \begin{aligned} X_{Ak} &= N_p \frac{a(-k+\Delta)M}{(1-a)M-a\beta}, & Z_{Ak} &= \frac{-Mg}{(1-a)M-a\beta} \\ X_{Bk} &= N_p \frac{a(-k+\Delta+\beta)}{(1-a)}, & Z_{Bk} &= L_0 \\ X_{Ck} &= N_p \frac{a(-k+\Delta-\beta)}{(1-a)}, & Z_{Ck} &= L_0 \\ X_{Dk} &= N_p \frac{a(-k+\Delta)M}{(1-a)M+a\beta}, & Z_{Dk} &= \frac{-Mg}{(1-a)M-a\beta} \\ X_{Ek} &= N_p \frac{a(-k+\Delta)}{(1-a)}, & Z_{Ek} &= L_0 \end{aligned} \right\} (2)$$

ここで、 β はクロストークパラメータ、 M はディスプレイ上のレンズの数である。

式(2)からわかることは、 Δ と a によって視域の前後左右位置を制御可能であることと、無数にある視域はどれか一つの位置を決定すると全ての位置が決まり、各個の位置を個別に制御不可能であるということである。そのため、視域位置を1人の視聴者の座標に決定する手法⁽³⁾では、複数の視聴者に対して最適な視域を提供することができないことがわかる。

2.2 満足度と視域配置の評価

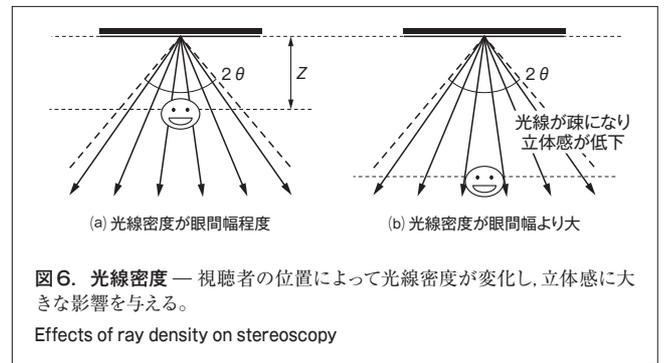
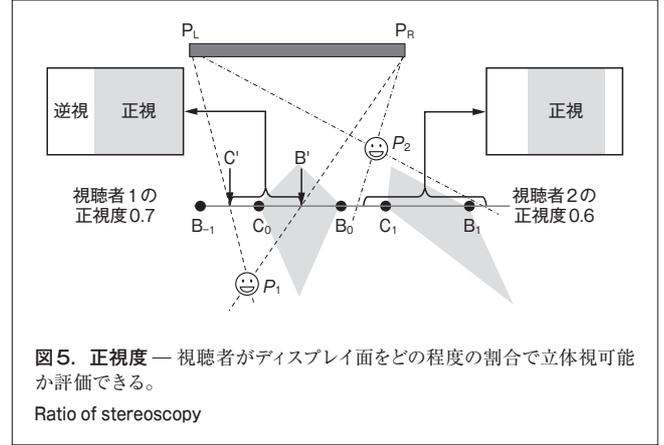
最適な視域位置を決定するには、その視域位置を評価する必要がある。評価は各視聴者の立体視の良好度合いを数値化することによって行う。各視聴者の立体視の良好度合いを満足度と呼ぶ。

満足度は、次に示すような要素で求める。

- (1) 立体視可能なパネル面積
- (2) 光線の密度

全ての評価基準を0~1の範囲で表し、満足度をこれらの積で定義する。

まず、(1)は立体視可能なパネル面の割合によって評価する。位置 P から視聴したときのパネル上の正視及び逆視の分布は、視域頂点の座標を利用して求めることができる(図5)。位置 P_1 とパネルの両端 P_L, P_R を結ぶ2本の直線が B_0C_0 の延長線から切り取る線分 $B'C'$ 上の視域内及び視域外の分布と、パネル上の正視及び逆視の分布は一致する。これを利用して P_1 から正視可能なパネルの面積を求めることができる。具体的には、 $B'C'$ 上にある視域の長さ割合が正視度になる。視域 S の条件下における位置 P での正視度を $H(P, S)$ と表す。 H は、



B', C' と式(2)を用いて計算することができる。

次に、(2)について述べる。視差が一定の画像を観察するとき、視聴者位置の光線密度は立体感に大きな影響を与える。光線密度とは、図6に示すような各視差画像の光線が空間上でどの程度の密度で存在するのかわかるものである。

図6(a)のように光線密度が十分である場合、すなわち光線間隔が眼間幅程度以下である場合、視聴者の左右の目には異なる視差画像が提供されるため、立体感が得られる。しかし、図6(b)のように密度が疎である場合、すなわち光線間隔が眼間幅より大きな場合、視聴者の左右の目に異なる視差画像を提供することが難しくなり、立体感が低下する。

そこで、位置 P における光線密度による評価値 $D(P)$ は、眼間幅を d 、一つの要素要素が一つのレンズを通るときの光線の広がり角度を 2θ として、式(3)で定義する。

$$\left. \begin{aligned} L_\mu &= \frac{dN}{2\tan\theta} \mu \\ D(P) &= \begin{cases} 1 & (Z < L_\mu \text{ のとき}) \\ \frac{L_\mu}{Z} & (Z \geq L_\mu \text{ のとき}) \end{cases} \end{aligned} \right\} (3)$$

ここで、 L_μ は光線間隔が d の μ 倍になる距離を示す。 μ はパネルによって異なるが、経験的に2~3の値を設定するのが

よい。

これらの評価基準から、視域 S に関する位置 P における満足度 $w(P, S)$ を式(4)で計算する。

$$w(P, S) = H(P, S) D(P) \quad (4)$$

図7は、 w の分布を示した満足度マップの例である。マップ中の明るい部分ほど満足度が高い。

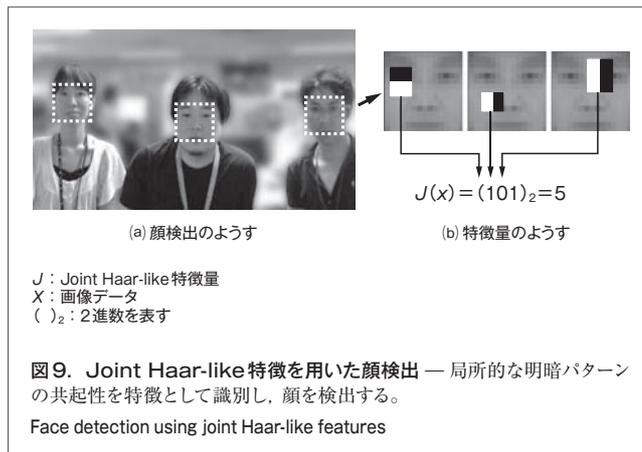
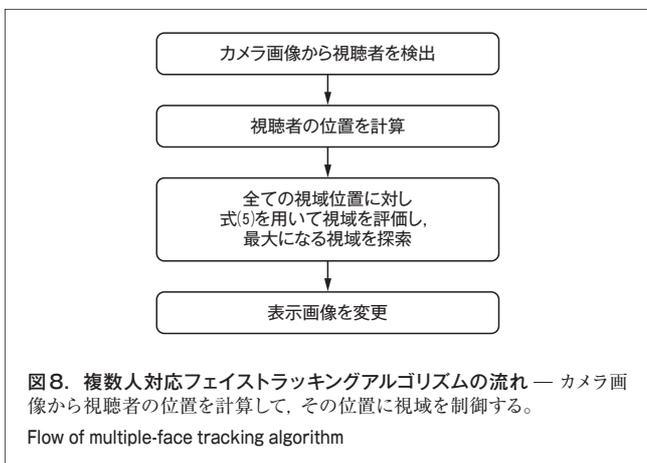
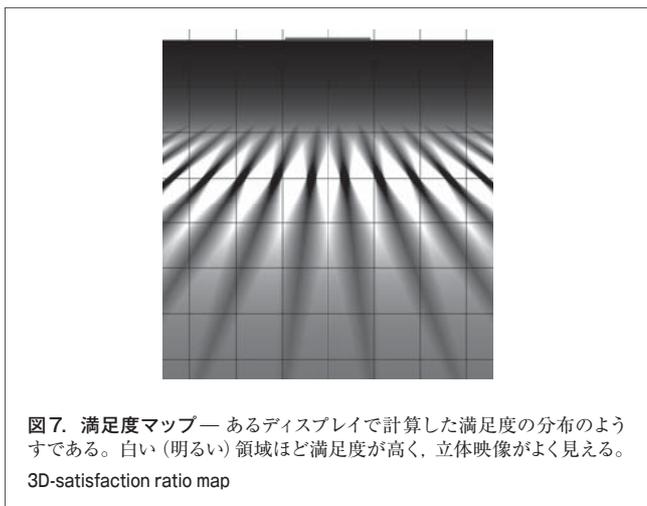
視域 S の評価を全視聴者の満足度の総和で行う。 Q を全視聴者の位置の組 $Q = \{P_1, P_2, \dots, P_j\}$ とすると、視域 S の評価値 $W(Q, S)$ は、式(4)を用いて式(5)で計算できる。

$$W(Q, S) = \sum_{P_i \in Q} w(P_i, S) \quad (5)$$

評価値が大きいほど良い視域配置であると判断される。式(4)を用いることにより、視聴者各個人の満足度を評価することになり従来方式では対応できなかった複数人の視聴者に対応した視域評価が可能になった。

2.3 アルゴリズム

複数人対応フェイストラッキングのアルゴリズムを図8に示す。



まず、視聴者を検出する。ディスプレイ付近に設置されたカメラを用いてカメラ画像から顔を検出し、追跡してその顔位置を視聴者位置とする。顔検出には当社が開発した顔検出方法⁽⁵⁾を用いた。この手法は、局所的な明暗パターンの共起性を特徴量 (Joint Haar-like 特徴量) として識別を行うもので、明度変化に頑強であるという特長を持つ。顔検出の結果と特徴量のようすを図9に示す。

次に、カメラ画像から実空間への座標変換を行う。ステレオカメラを用いた場合は、3角測量の原理によって視聴者の位置を求めることができる。単眼カメラの場合は、カメラ画像上の顔サイズから Z を推定し、 Z から X, Y を計算することにより視聴者位置を取得することができる。

更に、式(5)を用いて最適な視域位置を決定する。最適な視域位置は、設定可能な視域配置を全探索し、評価値が最大になるものを採用する。

最後に、決定された視域が形成されるように表示画像を変更する。

3 実験結果

開発した手法と従来手法の比較実験を行った。従来手法は1人の視聴者の位置に視域を設定する方法⁽³⁾である。シミュレーション実験は、4人家族が50型テレビを視聴する場合を想定して行う。ランダムに配置された4人の視聴者に対して最適な視域を配置する試行を10,000回繰り返し、そのときの各視聴者の平均満足度と、視域内に入った人数の平均で評価する。

各視聴者の平均満足度の結果を図10に示す。グラフから、2人目以降の満足度は、開発手法のほうが全て上回っていることが確認できる。また、4人全員の満足度の平均でも従来手法では0.65であったのに対して、開発した手法では0.92と約41%も性能が良い。更に、視域内に収容される平均人数が、従来手法では1.7人であったのに対して、開発した手法では3.8人と良い結果を確認した。

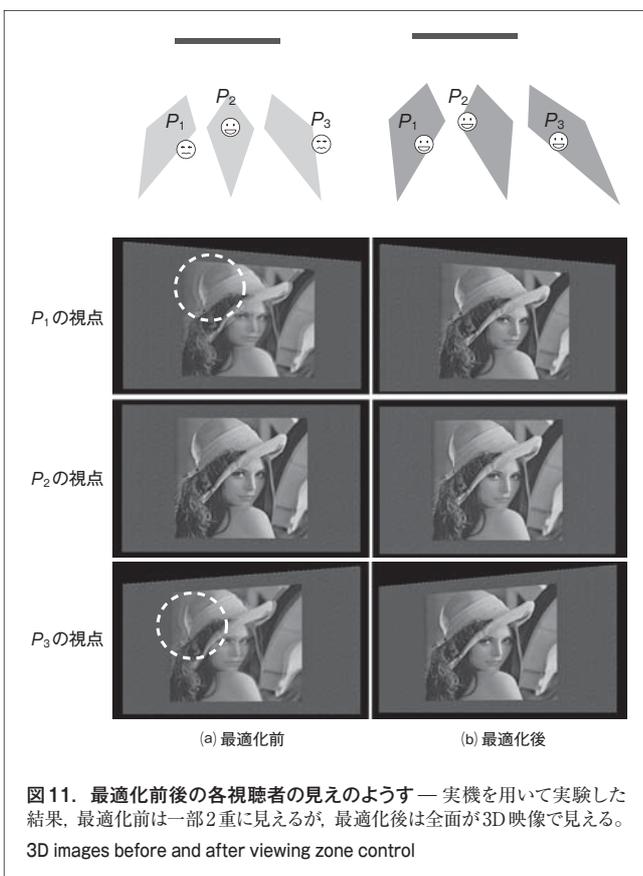
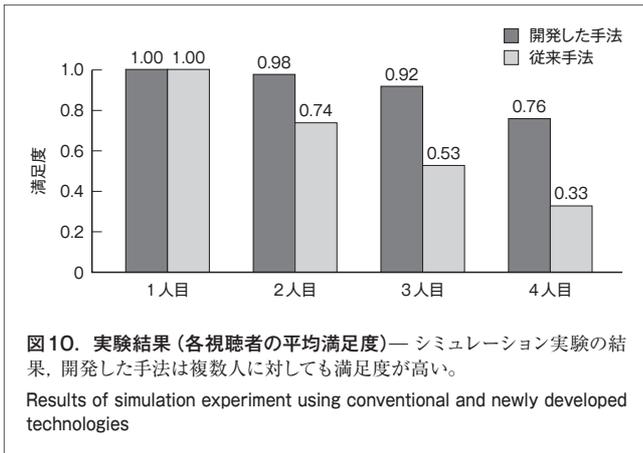


図11. 最適化前後の各視聴者の見えのようす — 実機を用いて実験した結果、最適化前は一部2重に見えるが、最適化後は全面が3D映像で見える。
3D images before and after viewing zone control

4 あとがき

ここでは、カメラを用いて複数の視聴者を検出し、その位置に視域を自動制御する手法であるフェイストラッキング技術について述べた。開発した手法は、視聴者の立体視の良好度を表す満足度を定義し、この満足度を最大化するように視域を制御することによって、複数の視聴者に対して最適な視域位置を提供する。4人家族を想定したシミュレーション実験で、従来手法では平均1.7人しか視域に入れなかったのに比べ、開発した手法では、3.8人を視域内に入れることが可能になることを確認した。更に、実機を用いた実験によりその効果を確認した。

開発した手法は、2011年末に商品化したグラスレス3D <レガザ> 55X3に搭載されている。今後は、次期グラスレス3D搭載モデルに向けて更なる改良を実現することで、ユーザーに感動をよりいっそう与えられる製品を提供していく。

文献

- Woodgate, G.J. et al. Observer tracking autostereoscopic 3D display systems. Proc. SPIE. 3012, 1997, doi:10.1117/12.274457.
- Yang, C.H. et al. High Resolution Time-multiplexed Backlight with Tracking System for Multi-user Applicable Wide-viewing Auto-stereoscopic LCD. SID Symposium Digest of Technical Papers. 43, 1, 2012, p.301 - 304.
- 濱岸五郎 他. ヘッドトラッキング搭載15型高精細メガネなし3Dディスプレイの開発. 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌). 121, 5, 2001, p.921 - 927.
- Fukushima, R. et al. Novel viewing zone control method for computer-generated integral 3-D imaging. Proc. SPIE. 5291, 2004, p.81 - 92.
- 三田雄志 他. 顔検出に適した共起に基づくJoint Haar-like特徴. 電子情報通信学会論文誌D. J89, 8, 2006, p.1791 - 1801.



下山 賢一 SHIMOYAMA Kenichi

研究開発センター マルチメディアラボラトリー研究主務。
3D映像処理技術の開発に従事。
Multimedia Lab.



三田 雄志 MITA Takeshi, D.Eng.

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、
博士 (工学)。3D映像処理技術の開発に従事。電子情報
通信学会, IEEE会員。
Multimedia Lab.



平井 隆介 HIRAI Ryusuke

研究開発センター マルチメディアラボラトリー研究主務。
3D映像処理技術の開発に従事。
Multimedia Lab.