裸眼立体映像システムにおける オブジェクトの切り抜きと見え方の操作

Extraction and Viewing Parameter Control of Objects in a 3D TV System

永塚 遼[†], 田口 裕一^{††}, 正会員 苗村 健^{††}

Ryo Nagatsuka[†], Yuichi Taguchi^{††} and Takeshi Naemura^{††}

Abstract A method of controlling the viewing condition of each object in a 3D TV system consisting of a camera array and an integral photography display is presented. The method allows users to easily extract objects in the input multi-view images, and to independently control the positions of the extracted objects on the display by using different rendering parameters for different objects. It enables interactive editing of 3D scenes such as emphasizing the depth of a certain object and changing the relative positions of objects, rather than presenting the captured scene as it is.

キーワード: カメラアレイ, インテグラルフォトグラフィディスプレイ, 光線空間変換, 自由視点画像合成, セグメンテーション

1. ま え が き

3次元視覚情報を取得するため、カメラを格子状に配列したカメラアレイが多く開発されている¹⁾。これにより取得したシーンの多視点画像を用いて、そのシーンを自由な視点位置から見た画像（自由視点画像）を合成する手法が検討されている。

また、3次元視覚情報の再生デバイスとして、裸眼立体視ディスプレイの研究開発が進んでいる²⁾。裸眼立体視ディスプレイでは、異なる視点位置からの映像を異なる方向に提示することにより、特殊なメガネを必要とせずに3次元映像を表示することができる。

我々のグループでは、カメラアレイにより取得した多視点画像群から、自由視点画像合成を用いて変換した画像群をインテグラルフォトグラフィ(Integral Photography, IP)ディスプレイに立体映像として実時間で提示する裸眼立体ライブ映像システムを開発している^{3)~5)}。IPディスプレイにおいては、高い周波数で再生できる奥行き範囲が限られているため⁶⁾⁷⁾、自由視点画像合成時のパラメータを制

御することにより、シーンのどの部分がディスプレイ上で鮮明に再生されるかを指定する。

上記のシステムを含め、既存の裸眼立体映像システム⁸⁾⁹⁾は、シーンの3次元情報をありのままに表示することを目的としていた。一方、本稿では、オブジェクトの奥行き感を強調するなどのシーンの編集を目的として、オブジェクトごとに見え方の操作を行う手法を提案する。提案手法では、多視点画像上でオブジェクトの切り抜きを行った後、オブジェクトごとに独立したパラメータを用いて、ディスプレイに提示する画像を合成する。これを実現するため、(1)多視点画像からオブジェクトを一括して切り抜くためのインターフェースと、(2)シーン全体ではなくオブジェクトに特化した画像合成手法の提案を行う。評価実験では、オブジェクトの奥行き強調や、オブジェクトの前後関係の逆転などの効果をIPディスプレイ上で確認する。

2. 裸眼立体映像システム TransCAIP

本研究で用いる裸眼立体映像システム TransCAIP^{3)~5)}は、入力として64眼のネットワークカメラアレイ¹⁰⁾を、出力としての60視点IPディスプレイ¹¹⁾を用いる(図1)。ここでは、TransCAIPシステムにおける、IPディスプレイに表示するための60視点画像の合成手法と、パラメータ制御によるディスプレイ上での見え方の操作について説明する。

2.1 60視点画像の合成

カメラアレイによって取得した64視点分の画像を入力として、IPディスプレイに表示するための60視点分の画

2009年3月31日受付, 2009年6月30日再受付, 2009年7月27日採録

[†] 東京大学 工学部

(〒113-8656 文京区本郷 7-3-1 TEL 03-5841-6781)

^{††} 東京大学大学院情報理工学系研究科

(〒113-8656 文京区本郷 7-3-1 TEL 03-5841-6781)

[†] Faculty of Engineering, The University of Tokyo

(7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, Japan)

^{††} Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

(7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, Japan)

図 1 64 眼カメラアレイと IP ディスプレイ^{3)~5)}
The 64-camera array and IP display^{3)~5)}.

図 2 奥行きレイヤモデル
Layered depth model for synthesizing a desired view.

像を自由視点画像合成手法を用いて生成する。画像合成手法は文献 10) のものを用いる。この手法では、図 2 のように、カメラ平面と平行に奥行きレイヤを配置し、合成画像上での画素単位の奥行きを視点位置に応じて推定する。これは、図 2 において、すべての target light ray($\mathbf{r}(\mathbf{x})$) に対して最適な奥行き z を割り当てることに相当する。ここでは、target light ray に近接する 4 台のカメラにおける reference light ray($\mathbf{r}_i(\mathbf{x}, z)$) を参照してコストを評価する。この reference light ray は、各奥行きレイヤと target light ray の交点 $\mathbf{p}(\mathbf{x}, z)$ を参照カメラ i に射影することにより求められる。コストは以下の式で与えられる。

$$C(\mathbf{x}, z) = \text{var}(I(\mathbf{r}_i(\mathbf{x}, z)) |_{i \in V}) \quad (1)$$

ここで V は参照されるカメラ番号の組であり、 $|V| = 4$ である。また var は reference light ray の RGB 各色の分散の和を計算する関数である。このコストは奥行きレイヤごとに平滑化され、最後に最小値探索を行い、各 target light ray に対して最適な奥行き $z_{\text{opt}}(\mathbf{x})$ を割り当てる。色の補間は、最適な奥行きにおける reference light ray の色の双線形補間により、以下のように求める。

$$I(\mathbf{r}(\mathbf{x})) = \sum_{i \in V} w_i(\mathbf{x}) I(\mathbf{r}_i(\mathbf{x}, z_{\text{opt}}(\mathbf{x}))) \quad (2)$$

ここで $w_i(\mathbf{x})$ は、参照カメラ i の reference light ray に対する重みであり、target light ray と参照カメラの位置が近いほど、線形的に増加する。また、 $\sum_{i \in V} w_i(\mathbf{x}) = 1$ である。

以上の計算はすべて GPU 上で実行され、出力される合成画像は GPU のテクスチャメモリーに保存される。合成された 60 視点分の画像の画素を GPU 上で並べ替えることにより、ディスプレイに提示する IP 画像を生成する。

2.2 インタラクティブな 3 次元映像操作

TransCAIP システムでは、画像合成を行うカメラ（レンダリングカメラ）のパラメータを操作することにより、3 次元映像の見え方のインタラクティブ操作を実現している。IP ディスプレイでは、ディスプレイ面上の像が最も高い周波数で再生され、像の 3 次元位置がディスプレイ面から離れるに従って、再生可能な周波数が低下する（つまり、鮮明に再生できる奥行きの範囲が限られている⁶⁾⁷⁾。このため、TransCAIP システムでは、図 3 のように、レンダリングカメラの輻輳の位置（輻輳面）を変えることにより、ディスプレイ面上に再生される奥行きを指定する。輻輳面上のオブジェクトはディスプレイ面上に最も高い周波数で再生され、それより奥・手前にあるオブジェクトは IP ディスプレイでも奥・手前に、ディスプレイ面上よりも低い周波数で再生される。

また、60 視点画像合成時のレンダリングカメラの間隔を調整することにより、ディスプレイ上での奥行き方向の飛び出し量を増減することができる。カメラ間隔を狭くした場合には再生される 3 次元映像の飛び出し量が小さくなり、広くした場合には飛び出し量が大きくなる。ただし、大きく飛び出したオブジェクトは低い周波数で再生されることに注意が必要である。

3. 提案手法

以上で述べたように、従来のシステムでは、取得した 64 視点画像から 60 視点の自由視点画像合成を行う際に、シーン全体を一つのパラメータで制御し、輻輳面や飛び出し量の調整を行っている。一方、本稿で提案する手法は、オブジェクトの奥行き感を強調するなどのシーンの編集を目的として、オブジェクトごとに見え方の操作を行う。従来手法と提案手法のフローチャートを図 4 にまとめる。このような操作を実現するための、(1) 多視点画像からオブジェクトを一括して切り抜くためのインタフェースと、(2) シーン全体ではなくオブジェクトに特化した画像合成手法について以下で説明する。

従来のシステムでは、カメラアレイによる多視点画像の撮影から IP ディスプレイへの提示までを実時間でいう特徴があった。一方、提案手法では静止画を対象とし、オブジェクトの切り抜きはオフラインで実行する。しかし、

図 3 3次元映像の見え方のインタラクティブな操作^{3)~5)}. 指定された輻輳面(左)とIPディスプレイ上での表示を右から撮影(上), 左から撮影(下)した結果.

Interactive control of viewing parameters^{3)~5)}. The position of convergence plane (left). Displayed results captured from a left (top) and right (bottom) viewpoint.

図 4 従来手法と提案手法

Conventional method and proposed method.

図 5 自由視点画像から 64 視点画像への点の投影
Projection from a free-viewpoint image to the 64 input images.

オブジェクトごとの画像合成は実時間で実行可能なため, 見え方の操作はインタラクティブに行うことができる.

3.1 64 視点画像上の同一のオブジェクトの切り抜き

オブジェクトごとの独立操作を実現するために, まずオブジェクトごとに切り抜いた 64 視点画像を用意する. 一般的な画像から簡易にオブジェクトを切り抜く手法として, 前景と背景の一部分をユーザが seed として指定し, これを制約としたエネルギー最適化問題をグラフカットを用いて解く手法がよく利用されている¹²⁾. しかし, 64 視点画像全てに対してユーザが個別に seed を与え, オブジェクトの切り抜きを行うのは効率的でない. そこで, 64 視点画像から自由視点画像を合成し, その画像上でオブジェクトを指定することにより, 元の 64 視点画像上のオブジェクトを一

括して指定できるインタフェースを提案する.

これを行うために, まず自由視点画像上で指定された点に対応する 64 視点画像上での点を求める方法について説明する. 2.1 節で述べたように, 我々が利用する手法は画像合成時に画素ごとの奥行きを求めている. その奥行きの値を利用することにより, 自由視点画像上の点と 64 視点画像上の点との対応を取ることができる. 具体的には図 5 のように, 指定した点の画像中の x, y 座標, およびその点の奥行きから, 指定した点をオブジェクト座標に変換する. その後, キャリブレーションの結果により求まっている 64 個のカメラの射影行列を用いて, オブジェクト座標から各入力視点画像へ座標変換を行う.

提案するインタフェースでは, 64 視点画像 (図 6(a)) とそれから合成された自由視点画像 (図 6(b)) を同時に表示

し、ユーザは自由視点画像上で seed の指定を行う。具体的な操作としては、まず [f] キーを押してから、自由視点画像上で切り抜きたいオブジェクト内の点をマウスでドラッグする。次に [b] キーを押してから、背景に対応する点（切り抜きたいオブジェクト以外のオブジェクトも含む）をドラッグする。このようにして指定された自由視点画像上での前景と背景の seed を、上で述べた方法により 64 視点画像上での seed に変換する。

前景画像の切り抜きは、64 視点画像それぞれに対する前景と背景の seed を用いて、文献 12) の手法により、それぞれの画像に対して独立に行う。前景画像と一緒にマスク画像も保存しておき、後の IP ディスプレイ用の画像を合成する際に使用する。

オブジェクトの切り抜きを行う際、オクルージョンや推定された奥行き値のエラーの影響により、視点によっては与える seed が意図したものとは異なり、うまく切り抜けないものもある。この場合には、うまく切り抜けなかった画像に対して個別に前景、背景の seed を与え直してオブジェクトを切り抜くこととした。

3.2 各オブジェクトに対する画像合成手法

切り抜いたオブジェクトに対して画像合成を行い、IP 画像を生成する。この際、奥行き推定の手法が問題となる。2.1 節で述べた手法では、近傍四つのカメラから得られる画素値の分散が最小となると正しい奥行き値としていた。しかしこの手法では、オブジェクトの境界付近においては、奥行きレイヤによって参照光線数が一定でないため、正しい奥行き推定を行うことができない。そこで、提案手法では次の式でコストを評価する。

$$C(\mathbf{x}, z) = \text{var}(I(\mathbf{r}_i(\mathbf{x}, z)) |_{i \in V'}) + (4 - |V'|) \cdot P \quad (3)$$

ここで V' は V の中でオブジェクトを通過した光線を含むカメラ番号の組であり、 $0 \leq |V'| \leq |V| = 4$ である。第 1 項では、オブジェクトを通過した光線のみで分散を計算し、第 2 項では、オブジェクトを通過しなかった光線がある場合に、その分だけ P をコストに加えている。 P の値を大きくするほど、オブジェクトを通過しない光線がある奥行き値は採用されにくくなる。

色の補間方法は、オブジェクトを通過しない光線を考慮しないようにするため、式 (2) を

$$I(\mathbf{r}_i(\mathbf{x}, z)) = \frac{\sum_{i \in V'} w_i(\mathbf{x}) I(\mathbf{r}_i(\mathbf{x}, z_{\text{opt}}(\mathbf{x})))}{\sum_{i \in V'} w_i(\mathbf{x})} \quad (4)$$

とし、オブジェクトを通過する光線の重みを増加させる。また、オブジェクトの有無の判定は、切り抜きの際に作成したオブジェクトごとのマスク画像を使用する。

各オブジェクトに対して、レンダリングカメラの輻輳面や間隔、視点位置などのパラメータを決定し、上記の画像合成手法で IP ディスプレイ用の多視点画像を生成する。その後、各オブジェクトに対して合成された IP ディスプレイ

図 6 前景 (白) と背景 (灰色) の指定. (a) 64 視点画像. (b) 自由視点画像と (c) その視点位置で推定された奥行き画像. Assignment of foreground and background seeds, depicted as white and gray lines. (a) 64 input images. (b) Free-viewpoint image and (c) its depth map.

用の多視点画像を、オブジェクトのないところに透過処理を施しながら後ろから順に重ねていく。オブジェクトごとに与えるパラメータを制御することで、IP ディスプレイ上のオブジェクトごとの見え方を操作することができる。

4. 実験結果

4.1 オブジェクトの切り抜き

実験では、図 6 のように、中央に女性が一人、その右後方と左後方に男性が一人ずつ立っているシーンの映像を使用した。図 6 では中央の人物を切り抜くために、[f] キーを押してから、自由視点画像上 (図 6(b)) で切り抜きたいオブジェクトをマウスでドラッグし、その後、[b] キーを押してから、背景をドラッグすることにより、自由視点画像上で中央の人物を前景、それ以外を背景として指定している。このように指定した自由視点画像上の点は、その視点位置で推定されている奥行き情報 (図 6(c)) をもとに、64 視点画像上に即座に反映される。図 6(a)(b) において、白線は前景に対して与えた seed を、灰色の線は背景に対して与えた seed を表している。前景と背景の seed を決定した後には 64 視点画像それぞれにおいてセグメンテーションを行う。図 7 は、オブジェクトの切り抜きを行った結果である。セグメンテーションがうまくいかなかった画像については、3.1 節で述べたように、一つ一つの画像に対して前景と後景の seed を個別に指定し、セグメンテーションを行った。

図 7 オブジェクトの切り抜き結果. (a)64 視点画像. (b) 合成画像.
Result of object extraction. (a) 64 input images. (b) Synthesized image.

図 8 背景画像の生成
Background image generation.

このようなセグメンテーションを切り抜きたいオブジェクトの数だけ繰り返す。オブジェクトを切り抜き終えた後、オブジェクトのない背景画像については、図 8 のように、切り抜かれた部分の左右の画素値を用いて簡易な補間を行う。これは、IP ディスプレイ上でオブジェクトの位置を操作した際、背景に穴があいてしまうことを防ぎ、見えの品質を向上させるためである。

4.2 画像合成手法の比較

切り抜いたオブジェクトのうちの一つに対して、画像合成を行った結果を図 9 に示す。図 9 では、2.1 節の従来手法でオブジェクト外の領域を黒とみなして合成を行った画像と、提案手法における式 (3) の P の値を 0 と一定の正の値 (800, 実験的に決定) にして合成を行った画像を比較している。図 9(a) では、切り抜いたオブジェクトのエッジ部分に背景の黒が滑らかに混じっている。これは、色の補間時に背景の黒にも重みをつけて足してしまうためである。提案手法で P を 0 とした場合には、オブジェクトを通過する光線のみで分散値を計算することに相当する。この場合、図 9(b) のように、オブジェクトの外側に間違っただけの色が合成されてしまう。これは、この領域では参照光線数が 1 とな

図 9 画像合成手法の比較 (合成画像の拡大図).
Comparison of rendering methods (close-up views).

る奥行きレイヤが存在し、その奥行きレイヤで式 (3) のコストが 0 となるため、その奥行きに対応する参照光線が色の補間に利用されるためである*。一方、提案手法で P を一定値とした場合、光線数が少ない場合にコストを足すことでその優先度が下がり、図 9(c) のように切り抜いたオブジェクトは理想的なオブジェクトに近いものとなる。

4.3 IP ディスプレイへの提示

以上の過程から作成したオブジェクトごとの 60 視点画像を IP 画像に変換し、IP ディスプレイに表示した結果を図 10 に示す。ここでは、レンダリングカメラの輻輳面と位置をオブジェクトごとに独立に制御した。レンダリングカメラの前後方向の位置は輻輳面と同距離だけ動かしている。図 10(a) は、従来手法通りシーン全体に対して一つのパラメータを用いた場合の表示である。輻輳面の位置は左の人物の位置 (中央の人物の後方、右側の人物の前方) とした。図 10(b) では、中央の人物の飛び出しを強調するため、中央の人物に対するレンダリングカメラの位置を前方 (オブジェクトに近づける方向) にずらし、図 10(a) のときよりも輻輳面が奥になるようにしている。これにより、中央の人物がよりディスプレイ面の手前に大きく表示されるようになり、観察者が左右に動いたときのオブジェクトの移動量 (視差) も大きくなっている。図 10(c) では、前にいた人物を後ろに、後ろにいた両端の人物二人を前に出し、奥行き関係を逆転させている。中央の人物に対する輻輳面をオブジェクトの位置より前にし、両端の人物に対する輻輳面をオブジェクトの位置よりも後ろにすることで、視点を左右に動かしたときのオブジェクトの動き方がすべて図 10(b) と逆転する。図 10(d) では、レンダリングカメラを左右にずらすことにより、三人の横方向の距離を縮めている。

図 10(c) からわかるように、レンダリングカメラを前方に動かすと画像の縁に近いオブジェクトほど、より大きく外方向へ移動する (例えば、図 10(c) で左側の人物は図 10(a) よりも左に表示されている)。オブジェクトの位置を変化させずに前後方向に動かしたい場合には、図 10(d) のような水平方向の移動を組合せることが考えられる。

* このノイズが現れている領域とオブジェクトの間では、各奥行きレイヤにおける参照光線数が 0 もしくは 2 以上となり、その場合は光線数 0 の奥行きレイヤが選択されるため、合成される光線の色は黒となる。

図 10 IP ディスプレイ上での表示結果（左から順に左，中央，右の視点位置から撮影）．(a) シーン全体を一つのパラメータで合成（従来手法）．(b) 中央の人物を手前に強調して表示．(c) 中央の人物を奥に，左右の人物を手前に移動し表示．(d) 三人の水平位置を近づけて表示．

Displayed results captured from a left, center, and right viewpoint. (a) Use a single parameter for the entire scene (conventional). (b) Emphasize the depth of the center person. (c) Move the center person to the back and the left and right persons to the front. (d) Make the horizontal positions close.

図 11 はより複雑なシーンに対して提案手法を適用し，IP ディスプレイに表示した結果である．ここでは，手に風船を持った右側の人物を切り抜き，パラメータの操作を行っている．図 11(b) では，レンダリングカメラをオブジェクトに近づけることにより，飛び出しを強調している．ただし，上で述べたように，この場合オブジェクトがディスプレイの外側（右側）へ移動している．図 11(c) では，それを補正するために，レンダリングカメラの水平位置をずらすことで，オブジェクトの水平位置を図 11(a) の場合と同程度に保ちつつ，前後方向の飛び出しを強調している．

以上の結果は，画像合成時の奥行きレイヤの枚数を 5 としたとき，2 frames/second 程度での表示が可能であった．このように，本手法ではオブジェクトの切り抜きはオフラインで行うが，切り抜いたオブジェクトの位置操作はインタラクティブに実行することができる．また，図 11 で示し

たように，提案手法ではすべてのオブジェクトを切り抜く必要はない．切り抜かれなかったオブジェクトについては，従来手法と同じ 3 次元的な位置で表示され，切り抜いたオブジェクトのみの 3 次元的な位置操作をすることができる．

5. む す び

本稿では，裸眼立体映像システムにおけるシーンの編集を目的として，オブジェクトの 3 次元的な見え方を独立に操作する手法について検討した．これを実現するため，カメラアレイシステムから得られた多視点画像上で同一のオブジェクトを一括して切り抜く手法と，切り抜いたオブジェクトごとに独立したパラメータを用いて画像合成を行い，IP ディスプレイに立体映像として提示する手法を提案した．

提案手法の問題点としては，オブジェクトの切り抜きの際，オクルージョンや推定されている奥行き値のエラーに

図 11 複雑なシーンの表示結果 (左と右の視点位置から撮影). (a) シーン全体を一つのパラメータで合成 (従来手法). (b) 右の人物を手前に強調して表示. (c) さらに水平位置の補正をした場合.

Display result of a complex scene captured from a left and right viewpoint. (a) Use a single parameter for the entire scene (conventional). (b) Emphasize the depth of the right person and (c) adjust the horizontal position.

よる影響から、前景、背景に指定した seed が意図したものとは異なることがあり、その場合セグメンテーションを正しく行うことができないことが挙げられる。特に、自由視点画像の視点位置から離れた視点位置では、この問題が顕著になる。現在は入力多視点画像に対して一つの自由視点画像のみを利用しているが、多視点画像をいくつかのブロックに分け、そのそれぞれについて別々の自由視点画像を用いて seed を与えるなどの解決策が考えられる。また、セグメンテーション自体の精度を上げるため、各画像に対して独立にセグメンテーションを行うのではなく、奥行き情報などの画像間の関係をセグメンテーションの尤度の定義に含めることが考えられる。さらに、静止画だけでなく動画に対しても同様の操作を行えるようにすることが今後の課題である。

最後に、有益なご助言を頂いた、東京大学の原島博教授、高橋桂太氏、小池崇文氏、IP ディスプレイを提供していた日立株式会社日立ディスプレイズに感謝いたします。

〔文 献〕

- 1) A. Kubota, A. Smolic, M. Magnor, M. Tanimoto, T. Chen, and C. Zhang: "Multiview Imaging and 3DTV," IEEE Signal Processing Mag., **24**, 6, pp. 10–21 (Nov. 2007)
- 2) J. Konrad and M. Halle: "3-D Displays and Signal Processing," IEEE Signal Processing Mag., **24**, 6, pp. 97–111 (Nov. 2007)
- 3) 田口, 山本, 小池, 高橋, 苗村: "カメラアレイからインテグラルフォトグラフィディスプレイへのインタラクティブな 3 次元映像提示", 3 次元画像コンファレンス 2008, pp.121–124 (July 2008)
- 4) Y. Taguchi, T. Koike, K. Takahashi, and T. Naemura: "TransCAIP: Live Transmission of Light Field from a Camera Array to an Integral Photography Display," ACM SIGGRAPH ASIA 2008 Emerging Technologies (Dec. 2008)
- 5) Y. Taguchi, T. Koike, K. Takahashi, and T. Naemura: "Tran-

- sCAIP: A Live 3D TV System Using a Camera Array and an Integral Photography Display with Interactive Control of Viewing Parameters," IEEE Trans. Visual. Comput. Graphics (to appear)
- 6) H. Hoshino, F. Okano, H. Isono, and I. Yuyama: "Analysis of Resolution Limitation of Integral Photography," J. Opt. Soc. Am. A, **15**, 8, pp. 2059–2065 (Aug. 1998)
- 7) M. Zwicker, A. Vetro, S. Yea, W. Matusik, H. Pfister, and F. Durand: "Resampling, Antialiasing, and Compression in Multiview 3-D displays," IEEE Signal Processing Mag., **24**, 6, pp. 88–96 (Nov. 2007)
- 8) F. Okano, J. Arai, H. Hoshino, and I. Yuyama: "Three-Dimensional Video System Based on Integral Photography," Opt. Eng., **38**, 6, pp. 1072–1077 (June 1999)
- 9) W. Matusik and H. Pfister: "3D TV: A Scalable System for Real-Time Acquisition, Transmission, and Autostereoscopic Display of Dynamic Scenes," ACM Trans. Graphics, **23**, 3, pp. 814–824 (Aug. 2004)
- 10) 田口, 高橋, 苗村: "ネットワークカメラアレイを用いた実時間全焦点自由視点映像合成システム", 情処研報, CVIM-162-14, pp.79–86 (Mar. 2008)
- 11) T. Koike, M. Oikawa, K. Utsugi, M. Kobayashi, and M. Yamasaki: "Autostereoscopic Display with 60 Ray Directions using LCD with Optimized Color Filter Layout," Proc. SPIE SD&A XVIII, **6490A** (Mar. 2007)
- 12) Y. Boykov and M-P. Jolly: "Interactive Graph Cuts for Optimal Boundary & Region Segmentation of Objects in N-D images," Proc. IEEE ICCV 2001, **1**, pp. 105–112 (July 2001)

ながつか 永塚 2009 年, 東京大学工学部電子情報工学科卒業。現在, 同大学大学院情報理工学系研究科修士課程在学中。空間共有通信に関する研究に従事。

たぐち 田口 2004 年, 東京大学工学部電子情報工学科卒業。2009 年, 同大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了。現在, Mitsubishi Electric Research Laboratories 博士研究員。3 次元画像処理と符号化に関する研究に従事。博士 (情報理工学)。

なえむら 苗村 1997 年, 東京大学工学部電子工学科卒業, 博士課程修了。米国スタンフォード大学客員助教授 (日本学術振興会海外特別研究員) を経て, 現在, 東京大学情報理工学系研究科電子情報学専攻, 准教授 (学際情報学府兼任)。メディア+コンテンツ, 実世界指向情報環境, 空間共有通信などの研究に従事。博士 (工学)。正会員。