

Collaboration Projects

本号から新たに「Collaboration Projects」というカテゴリを設け、大学や他企業などとの共同研究の取組みについて紹介する。ドコモではネットワーク、端末、マルチメディア技術を中心とした移動通信の研究開発を進めているが、より効率的な研究開発を促進するため、また新たな研究領域を開拓するために、大学や他企業などとの共同研究も積極的に進めている。

本カテゴリからの情報発信により、新たな共同研究の枠組みが生まれ発展していくこと、異分野との融合による新たな研究領域が確立することを期待している。また、本情報発信が我が国の移動通信業界全体の研究開発の活性化につながり、結果として国際競争力が強化されることを強く望んでいる。

自然な立体表示が可能な 3D ディスプレイ

眼鏡不要で、滑らかな運動視差を持つ、自然な立体表示が可能な3Dディスプレイを試作した。この装置は、高精細ディスプレイにレンチキュラーシートを貼り付けた簡易な構成で、立体に見える位置の制約も少ない。なお、本研究は東京農工大学 工学部 電気電子工学科 高木研究室（高木 康博助教授）との共同研究により実施した。

ほりこし つとむ つばい まさし
堀越 力 壺井 雅史

1. まえがき

移動端末や携帯型ゲーム機などの携帯型端末に利用されるディスプレイの進歩は著しい。この流れの方向性の1つは高解像度化であり、もう1つが立体表示である。立体(3D)ディスプレイというと、両眼視差^{*1}の機能を利用したステレオ視の原理に基づく方式が主流であり、すでに多種多様な方式が提案され、商用化も活発に進められている。しかしながら、ステレオ視方式の立体ディスプレイには、眼鏡を装着するか、あるいは裸眼であっても立体に見える位置が限定されるという制約があった。モバイルでの用途を考えると、眼鏡なしで立体に見える位置を探すことなく、どこからでも立体として見えなければならない。また、ディスプレイのサイズは移動端末からサブノート（B5判サイズ）程度までの小型サイズが求められるが、これらをターゲットにした立体ディスプレイはあまり検討されていない。そこでわれわれは、モバイル用途を前提にした3Dディスプレイ（携帯型3Dディスプレイ）の要求条件を整理した。そして、この要求条件を満たす方式を選び、実際に携帯型3Dディスプレイ端末を試作した。

本稿では、これらの概要を述べるとともに、試作したデ

ィスプレイが要求条件を満たしているかを評価した結果について考察する。

2. 携帯型3Dディスプレイに対する要求条件

2.1 3Dコンテンツ側からの要求条件

2004年、3D コンソーシアム[1]において、移動端末を使った3Dコンテンツ（CGあるいは写真の静止画）配信実験が行われた。この実験のアンケート結果を見ると、3Dで見たいと考えるコンテンツは、図鑑、写真集、映画、アニメなどが挙げられている[2]。この結果から、利用者は3Dに映像のリアル感を求めていると推測することができる。この「リアル感」とは、モバイル用途を考えると、立体映像の「見た目の存在感」や「手に持っているような感覚」と言い換えることができる。

2.2 生理的要因に基づく要求条件

人が立体を知覚する生理的要因として、主に「眼のピント調節^{*2}・両眼視差・運動視差^{*3}・輻輳^{*4}・視野（臨場感）」があり、他に心理的な要因（大きさの違い、模様の違い、物の重なり具合など）がある。図1は、これら奥行き知覚要因が機能する範囲を、ディスプレイまでの観察距離に対応させた図である。観察距離が長い場合には、従来のステレオ

*1 両眼視差：左右の眼（網膜）に写った像の違い。この違いを脳で処理して奥行きを知覚する。

*2 ピント調節：眼の水晶体（レンズ）の厚みを変えて焦点を合わせて像を見ること。このレンズの厚みを変える筋肉の弛緩から奥行きを知覚する。

*3 運動視差：頭を動かすことによる物の相対的な位置関係の変化。この変化から奥行きを知覚する。

*4 輻輳：物を見つめると、両眼が物の方に向けて少し回転すること。この回転角は物体までの距離により変化するため、眼球の回転から奥行きを知覚できる。

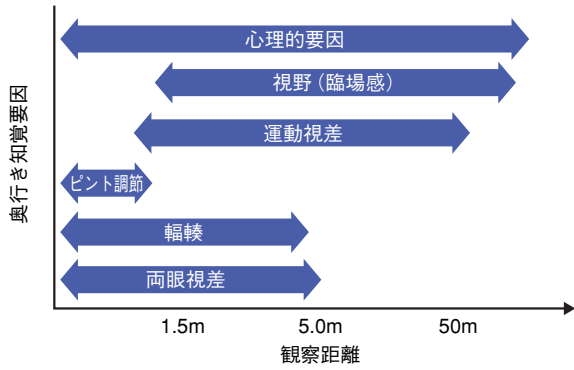


図1 奥行き知覚要因と観察距離の関係

視方式で対応できるが、観察距離が近くなると、ピント調節機能の再現も必要になる。調節と輻輳の不一致から生じる眼精疲労がないという意味でも、これらの機能を再現することは重要である。

また、モバイル用途という観点で考えると、ディスプレイと頭（視点）の位置関係は固定することはできない。そのため、ディスプレイまでの距離が限定されず、しかも頭の動きに対応して物の見え方が変わる滑らかな運動視差が実現できるかどうか、そしてどの程度の範囲まで頭を動かすことができるか（視域）が重要な条件となる。

2.3 携帯型3Dディスプレイのための要求条件

先に述べた観点から、携帯型3Dディスプレイの要求条件を「視域」、「滑らかな運動視差」、「再生空間の範囲」の3つに絞り、具体的な条件を定量的に整理した。

(1) 視域

視域とは、ディスプレイに表示されている画像が見える範囲のことである。モバイル用途を想定し、移動端末のディスプレイを観察する場合のディスプレイと眼の距離を検証したところ、観察距離はほぼ40cm程度という結果が得られた。そこで、運動視差を実現するために最低限必要な視域として、眼の間隔の2倍以上と仮定すると、観察距離40cmにおいて、視域は約15cm以上が必要になる。その結果、視域角度約21度を要求条件とした。

(2) 滑らかな運動視差

滑らかな運動視差を実現するには、異なる視線（視点）の画像を表示する間隔が、眼の瞳孔の幅以内であることが望ましい。つまり、観察距離40cmのとき、各視線方向の画像を表示する間隔（角度ピッチ）は1度以内となる。したがって、先の視域角の条件（21度以上）を勘案すると、21方向以上の異なる視線の画像を提示する必要がある。

(3) 再生空間の範囲（手に持っているような感覚）

ディスプレイに立体表示されている物体を実際に手に

持っているような感覚を再現するために、ディスプレイのサイズは移動端末からサブノート程度の小型サイズが適当であり、ディスプレイサイズの横幅と同程度の奥行きをもつ直方体を持つような感覚を想定した。サブノート程度のディスプレイであれば、奥行きは前後10cm程度と仮定することができる。

3. 携帯型3Dディスプレイの試作

前章での要求条件に基づき、市販の高精細な液晶ディスプレイ（LCD：Liquid Crystal Display）を使って、高密度指向性表示方式[2]を採用した3Dディスプレイを試作した。以下に詳細を述べる。

3.1 高密度指向性表示方式の利用

高密度指向性表示方式は、表示対象物の平行投影画像である指向性画像の投影方向を微妙に変えて多数用意し、これらをそれぞれの平行投影の方向に対応するように提示する3次元表示方式である。この方式は、眼のピント調節も機能するようにできる可能性があり[3]、運動視差も効果的に利用することができる[4]。そこで、通常の2D液晶パネルに斜めレンチキュラーシートを貼り付けた薄型の構成で、ディスプレイの横（水平）方向において高密度表示が実現でき、非常に滑らかな運動視差が得られることから、当方式を採用した。

3.2 3次元情報の提示方法

通常の2次元画像の場合、表示対象物の表面上の任意の1点に対して、それぞれ1つの輝度値（画素）が1対1に対応する。つまり、どの視点から見ても同じ画素が見えるということになる。しかし、立体表示の場合は、対象物の1つの点に対して、見る方向により表示物体が変化することになるため、立体表示されている物体表面上の1つの点に複数の画素の情報を所持せ、それぞれの方向でのみ観察できるようにする必要がある（以後、この複数の画素の集合を3Dピクセルと呼ぶことにする）。この3Dピクセルに保持されている複数の画素を、それぞれの方向に提示する手段として、レンチキュラーシートを利用する。レンチキュラーシートは、図2(a)に示すような、かまぼこ状のレンズ（シリンドリカルレンズ）を並べたシートであり、図2(b)に示すように、レンチキュラーシートの断面を見ると、水平方向の断面形状は凸面レンズが並んだ形状になっていて、レンズの機能を持つ。また、垂直方向の断面形状は図2(c)のような形状になり、単なるガラスと同じで光を拡散させるのみである。そのため、レンズの垂直方向では位置が異な

っていても、光の進み方は変わらないが、水平方向では光がレンズに入射する位置が異なることで、その透過光の進む方向が変わることになる。今回の試作では、30視線方向を提示することを条件としているため、1つの3Dピクセルの中には、30視線方向に対応する画素の情報が割り当てられている。

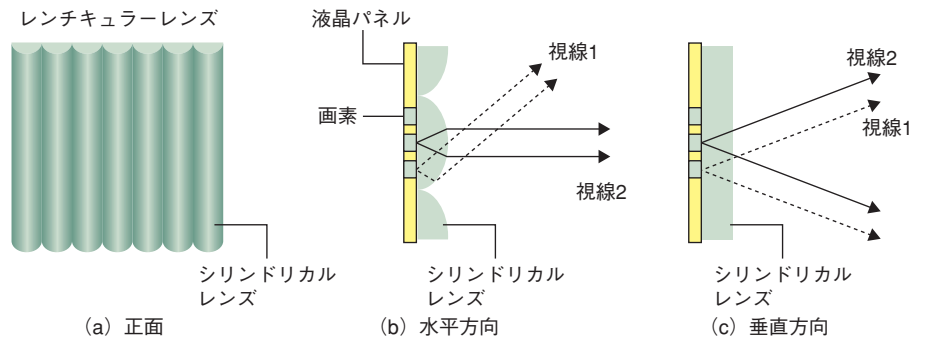


図2 レンチキュラーシート

3.3 3Dディスプレイ

今回試作した3Dディスプレイ(写真1)で表示する高密度指向性画像の生成方法概要を図3に示す。最初に、Nカ所(図3の場合は14カ所)に配置したカメラから対象物を平行投影法で観察した画像I#(i, j)を作成する。例えば、カメラ#1の位置から撮影されるカメラ画像I#1の一番左上の画素(0, 0)は、3Dディスプレイ左上の3Dピクセルに配置される。このとき、図3に示すように、従来のRGBの画素に配置するのではなく、レンチキュラーシートの傾きに対して平行に配置する[5],[6]。レンチキュラーシートを斜めに使うことで、垂直方向の位置が異なる画素も同じ水平方向の画素として利用することができる。例えば、図3に示すように、垂直方向6画素分を水平方向の画素として利用することで、本来、カメラ2台(RGB各2画素)分程度しか表示できない水平方向の幅であっても、この同じ幅にカメラ#1からカメラ#14の14方向の視線に対応する画素を高密度に表示できることが分かる。

今回の試作では、液晶パネル(解像度1280×768 7.2イ

ンチ)を用いた30視線方向の指向性画像を表示するように設計した。この場合、表示できる3Dピクセルの解像度は256×128画素であり、水平解像度は1/5、垂直解像度は1/6の画像となる。そして、図3に示すような手順で、各視線方向の画像を補間・再配置して指向性画像群(ビットマップ)を生成し、ピクセル等倍で3Dディスプレイに表示するだけで立体表示が可能となる。写真2(a)~(c)は、奥行き位置の異なる3つの球をCGモデルとして作成して、赤い球を一番手前、青い球を一番奥に配置して、3Dディスプレイ



写真1 試作した3Dディスプレイ

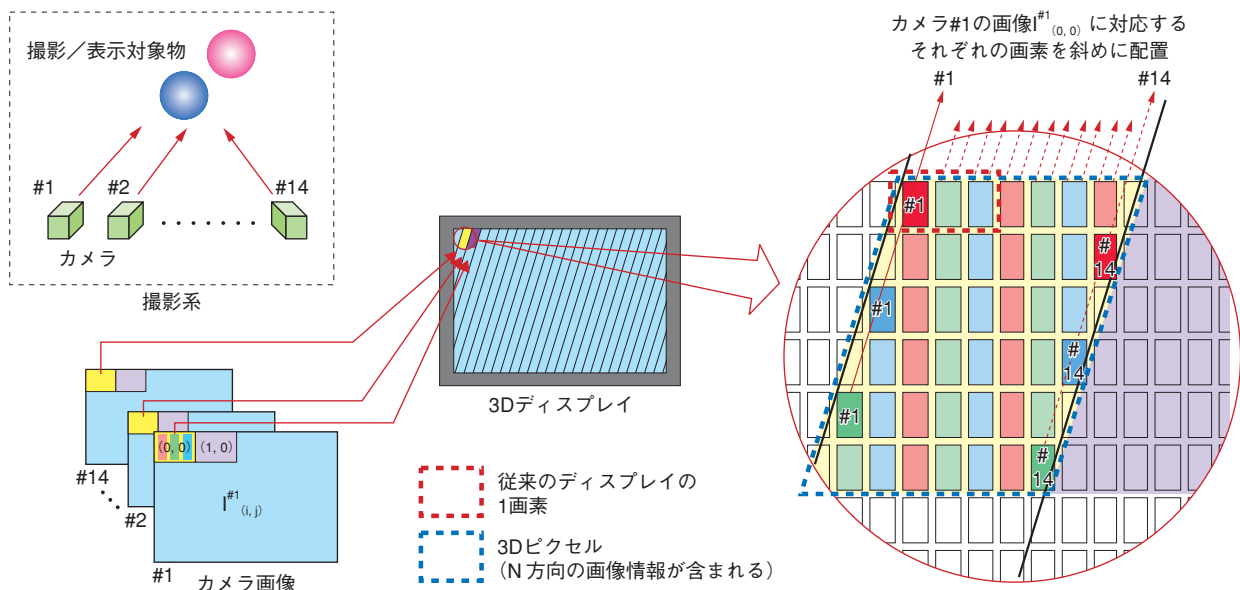


図3 高密度指向性画像生成方法

に表示した結果である。3Dディスプレイの正面より左側に頭を動かして見た場合(a)、ディスプレイ正面から見た場合(b)、ディスプレイ正面より右側に頭を動かして見た場合(c)とを比較すると、奥行き異なる位置に配置された3つの球の相対位置関係が変化していることが確認できる。そして、頭を左右に移動することで滑らかに表示物(球)の見え方が変化する様子を観察できる(つまり、滑らかな運動視差も再現できている)。また、



(a) 左側から見た画面



(b) 正面から見た画面



(c) 右側から見た画面



(d) 左側から見た画面



(e) 右側から見た画面

写真2 立体表示の例

実物を複数位置からカメラ撮影し、図3の手順で高密度指向性画像に変換することで、実写の立体表示も容易に実現できる。写真2(d)(e)が実写の立体表示の例であり、両者を比較すると分かるように、ディスプレイを見る位置が変わることで、照明の光が反射している部分(文字盤の上のあたり)の場所が変化している様子が観察できる。つまり、奥行き感の再現に加えて、時計を手に持って、頭を左右に動かして観察した場合の時計の光沢の変化を自然に再現することができるため、十分なリアル感が再現できている。

3.4 要求条件に対する評価

(1) 視域

今回の装置では、視域は21度程度であり、その角度ごとに同じ画像が繰り返し見える。画面に近くなるほど、繰り返し画像の見える範囲が細くなる。移動端末を手を持つことから、移動端末自体を自由に傾けてみることを考慮すると、より広範囲の視野が必要である。

(2) 滑らかな運動視差

運動視差の滑らかさに関しては、異なる視線の画像提示間隔は1度以内であったため、運動視差は十分に実現できていた。

(3) 再生空間の範囲

実写を表示すると自然な立体感を知覚でき、また、表示対象物に適度な模様/柄(テクスチャ)があると、よりリアル感(奥行き感)が増す傾向も確認できた。表示対象物の奥行きを1cm間隔で順次移動させて提示し、立体感が知覚できるかどうかを評価したところ、今回の装置では、ディスプレイの前後7cm程度において奥行きを

自然に感じることができた。つまり、要求条件の1つである、手に持っている感覚での奥行き量はほぼ再現できることが確認できた。しかし、画面から7cm程度離れたあたりから、表示物体のエッジ部分がぼやけてくることが確認できた。そして、ディスプレイからの再生位置が離れるほど、画像がぼやける程度が大きくなった。今回は指向性画像数を30として指向性画像の提示間隔を1度以下としたが、スクリーンから離れるほど光線が広がるものがぼやける原因であり、スクリーンから離れた位置でシャープな3次元表示を実現するためには、さらなる指向性の向上が必要であると考えられる。

その他、今回の立体映像自体の解像度は256×128である。7.2インチという従来の2Dディスプレイサイズから考えると、低解像度の画像であるが、実物を表示してみると、解像度の粗さがそれほど気にならないことが分かった。しかし、時計の文字のような細かなテクスチャを表現するには不十分であり、より高い解像度が必要である。

4. あとがき

本研究では、自然な立体表示が可能な3Dディスプレイを試作した。従来のディスプレイでは困難であった滑らかな運動視差およびリアルな立体感の再現が携帯型ディスプレイで可能となった。今後、より広視野かつ高密度の3Dディスプレイを検討する予定である。

文献

- [1] <http://www.3dc.gr.jp>
- [2] 海老沢 廣喜, 高木 康博: “72指向性画像を表示する薄型三次元ディスプレイ,” 3次元画像コンフェレンス2004, pp.17-20, 2004.

- [3] 名手 久貴, 渡辺 正行, 福富 武史, 高木 康博: “指向性画像高密度表示による自然な三次元ディスプレイに対する奥行き知覚分解能,” 3次元画像コンファレンス2004, pp. 1-4, 2004.
- [4] 渡辺 正行, 福富 武史, 名手 久貴, 高木 康博: “指向性画像の高密度表示を用いた三次元ディスプレイにおける運動視差の効果,” 3次元画像コンファレンス2004, pp. 5-8, 2004.
- [5] 吉川 博志, 高木 康博: “高密度指向性画像を生成する3次元カメラの基礎実験,” 映像情報メディア学会誌, Vol. 58, No. 1, pp. 75-81, 2004.
- [6] 堀越 力, 壺井 雅史, 榛葉 敏彦, 高木 康博: “モバイル用途の3Dディスプレイ端末の試作,” 3次元画像コンファレンス2005, pp. 45-48, 2005.

用語一覧

LCD : Liquid Crystal Display (液晶ディスプレイ)