

第87回CIS研究所パートナー会議事録（一般様用）

開催日： 2019年5月26日（日）

場 所： CIS会議室

講 師： 西村 靖紀 様

話題提供： ライトフィールドディスプレイ

今日の話題は、2次元の画面にどのようにして立体視を実現できるかについて提供

1 ライトフィールドディスプレイ

ライトフィールドは光を電磁場などの物理的な場と同様に捉え、7次元の情報をもつ光線ととらえて取り扱う概念。

ライトフィールドディスプレイは、このライトフィールドを再現するディスプレイで、光をより正確に再現するためのディスプレイ技術であり、光学とコンピュータサイエンス、エレクトロニクスの統合技術である。

一般には、ライトフィールドは、2次元の位置と、2次元の方向の4次元の情報で表され、様々な処理や解析を行う。

1996年にコンピュータグラフィックス分野で本格的に研究が始まったライトフィールドは、当初は、複数枚の画像から新しい画像を生成するイメージベースドレンダリングの一手法という位置付けであったが、現在は、多くの研究によりコンピュータグラフィックスやコンピュータビジョン、画像処理だけでなく、光学設計、ディスプレイ、カメラ、他分野でも有用であることがわかってきた。ライトフィールドは理論的な解析も進んできており、今まで以上に幅広い領域に応用が広がりつつある。

1-1 ライトフィールド とは

光を7つの情報を持つ光線ととらえて取り扱う概念である。

Plenoptic Function 我々が見た光を完全に記述する関数

$$F(x, y, z, \theta, \phi, \lambda, t)$$

7次元空間で定義

位置(3次元) x, y, z

角度(2次元) θ, ϕ

波長(1次元) λ

時間(1次元) t

4次元ライトフィールド

4D (x, y, u, v) u, v はx方向とy方向の光の角度、天頂角と方位角を示す。

xy 平面をディスプレイの平面と考え、二つの角度で光線が記述でき、光学系でどのように進んで目に入るかを扱う

1-2 ライトフィールドディスプレイの光線次元による分類

2D: xy 2次元のディスプレイ（一般に使われているディスプレイ）

3D (x, y, u) u は x, y の場所での光線の x 方向の角度。

角度の中に情報例えば光の強さがある

（例：レンチキュラーレンズ利用の3D）

3D (x, y, z) 3次元の場所にある光

（レーザーで空間中の一点で放電させて光らせるディスプレイ

4D (x,y,u,v) u,vはx方向とy方向の光の角度、天頂角と方位角を示す。
 光線再生式 インテグラル方式
 ホログラフィ

5D (x,y,z,u,v)
 場所(x,y,z)での光線の天頂角と方位角。まだこのディスプレイはない。

2000年になって始めて、ライトフィールドとインテグラル・イメージングの同一性が示される。以降、ライトフィールドディスプレイと少しずつ呼ばれるようになった。

1-3 立体表示における奥行き知覚の要因

- (1) 輻輳 1点を注視したときの視線の方向
- (2) 両眼視差 両眼の位置で観察される像の違い
- (3) 焦点調節 被写体までの距離に応じて変化する眼球レンズのフォーカス量
- (4) 運動視差 視点を変えることによって生じる映像の変化量

これらの要因は、人間が意識しなくても機能する。このため、立体映像表示には特に重要で、矛盾なく満足されなければならない。
 すでに実用化されている二眼立体方式や多眼立体方式は、主に(1)と(2)の輻輳と両眼視差の二つの要因により立体感を得ているが、課題として、輻輳と調節の不一致（両眼の輻輳は立体像に一致するが、ピントの位置はディスプレイの画面に固定されていて立体像とは一致しない）が指摘されている。

1-4 立体表示方式

| 両眼視差方式 | 光線再生方式 | 波面再生方式 |
|---------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| メガネ式立体表示 裸眼式立体表示 | インテグラルフォトグラ ラフィ (指向性画像) | ホログラフィ |
| 輻輳・調節刺激に矛盾 | 裸眼 運動視差 焦点調節 | 原理的に究極の3D 裸眼 運動視差 焦点調節 |

ライトフィールドディスプレイ(光線再生、波面再生方式)は、物体の放つ光線をディスプレイによって再現する方式を採用している。

これにより、専用メガネを用いずに裸眼で3D映像を見ることができ。
 それ以上に、ディスプレイに対して物体が飛び出したり奥にあったりするように見える視差方式に対して、ライトフィールド方式はディスプレイの中に物体が存在しているかのように見える点が最も大きな違いになる。

2) 立体ディスプレイ

2-1) 3次元光線再生

2-1-1) 位置+ 1方向 二眼方式 視差方式

メガネ式立体表示 裸眼式立体表示

パララックスバリア方式、レンチキラーレンズ方式

2-1-2) 位置+ 1方向 多眼方式

各シリンジカルレンズは、夫々に対応するフラットパネル上の領域を、視点形成距離で互いに重なるように多重結像する。この多重結像領域が視域になる。視域上に複数の視点が並ぶと考える。一つの視点からレンズ中心を通る直線を考え、各レンズを通して見えるフラットパネル上のピクセルを特定する。これらのピクセルを用いて画像を表示すると、視点からその画像が、各視点に異なる視差画像を表示することができる。視域に並ぶ視点数は、各レンズに対応するフラットパネル上のピクセル数により決まる。視点数を2にすると2眼式立体表示が実現でき、3以上にすると多眼式立体表示ができる。

2-1-3) 位置 3次元

1 ボリューム再現方式

2次元像の回転や掃引によって、3次元像を形成する。

DMDと回転ミラーを用いた360° ディスプレイ

2 自由空間点群ディスプレイ

レーザー光線を3次元上の認知の位置に集光し、空気を瞬間的にプラズマ化することにより3次元空間上にプロットするディスプレイ

2-2) 4次元光線再生

2-2-1) インテグラル方式

撮影時には、小さなレンズが2次的に配列されたレンズアレーを通して被写体を撮影する。被写体から出射された光線群は、各要素レンズにより小さな画像（以下、要素画像）となり、撮像素子により取得される。

再生時には、表示素子の前に、撮影時と同様にレンズアレーを配置する。撮像系と表示系は同様の構成となっている。そのため、撮影した要素画像群を表示すると、要素画像群からの光線群は要素レンズを通ることにより、撮影時と同じ経路を伝播する。その結果、撮影時の光線群が再現され、被写体の光学像が形成される（光線再生）。

要素画像群は、上下左右すべての方向からの被写体の見え方に関する情報を保持している。各要素画像の中心の画素をサンプリングして並べることにより、中央から見た立体像を再現することができる。同様に、各要素画像の左側の画素をサンプリングして並べることにより、右側から見た立体像を再現することができる。このような処理が、要素画像群の前にレンズアレーを設置することで光学的に行われ、視点に応じた立体像が再生される。

このような方法で撮影・表示した立体像には、奥行きが反転するという現象が発生する（偽像）。この奥行き反転現象を回避する方法として、各要素画像を180度回転させる方法が提案されている（屈折率分布レンズによる各要素画像を180度回転させる方法が有力である）。

インテグラル立体像の品質（解像度、奥行き範囲、視域角）の間にはトレードオフの関係がある。立体像の解像度を上げるには、要素レンズのピッチを小さくする必要があるが、一方でピッチを小さくすると視域角は狭くなる。

視域角は、要素レンズの焦点距離を短くすることにより、広げられるが、一方で焦点距離を短

くすると奥行き範囲は狭くなる。奥行き範囲は、表示素子の画素ピッチを小さくすることで、解像度や視域角に影響を与えることなく広げられる。

立体像の品質を総合的に向上させるには、高精細でかつ多画素のカメラとディスプレイ（表示素子の画素ピッチは小）および狭ピッチで短焦点距離の要素レンズから成るレンズアレイが必要となる。少なくとも10倍以上の高精細と10010倍以上の画素数が必要。

2-2-2) ホログラフィー

ホログラフィーは、実際に物体が存在する場合と同じ光の状態を再現できる技術である。そのため、ホログラフィーで再生される立体像を見た場合、両眼視差、輻輳、調節、運動視差など、人間が立体感を知覚するために必要な生理的要因をすべて再現できると期待されている。

従来は、ホログラフィーは写真や印刷などにより静止画像を扱うものが中心であったが、近年は動画像を取り扱うべく、電子的な手段でホログラフィーを実現する電子ホログラフィーの研究がなされている。しかしながら光の波長レベルの超高解像度が必要で、現在の電子デバイスの技術レベルでは実現が困難で、実現するための新しい電子デバイスの開発が必要。また、レーザー光に限られるため、自然光では、できない。

インテグラルフォトグラフィとホログラフィは基本的に同じ目的を持つ技術だと考えられる。どちらも光の場を記録し、忠実に再生することを目的とする。これを波動光学によって実現したものがホログラフィ、幾何光学で実現するものがインテグラルフォトグラフィと言える。このことからインテグラルフォトグラフィは、ホログラフィと同様にあたかもそこに物体が存在するかのようなリアルな立体像を再生することを目的とすることがわかる。

3 空中映像表示

何も無い空間に映像が浮かぶ様子はそれだけでインパクトがあり、SF映画やアニメなどで役立っている。空中像として表示すると、立体化していない二次元画像でも、周囲から浮上がっていることから立体感を感じることができる。観察者に表示装置の存在を意識させないことで、表示画像ではなく現実のものと感じさせる効果がある。

空中に映像が浮かぶ面白さは人の目をひくので、サイネージやエンターテインメントに利用することが期待できる。すでにこの分野で開発、商品化が始まっている。また現実感ある三次元表示を博物館等での展示に応用することが考えられる。

3-1 空中像形成の手法

3-1-1) 結像素子を用いない空中像形成

ハーフミラー、透明スクリーン、ミストスクリーン

3-1-2) 網膜照射型 人間の網膜に直接映像を照射

HoloLens等シースルーのゴーグル型HMD

AR (Augmented Reality) 現実空間と仮想空間とを混在させて表現する拡張現実

3-1-3) 空中に実像形成する光学系 結像素子による空中像形成

1. 凸レンズ

2. 凹面鏡

3. レンズアレイ結像素子

多くの微小レンズを並べたレンズアレイを用いて空中像を形成することができる

大きな口径のレンズを1つ用いた空中像形成とは違い、レンズアレイによる結像では、並べる光学素子の数を増やすことで焦点距離を保ったまま全体のサイズを大きくすることができ、大きな像に対しても少ない歪みで結像することが可能

4. 再帰反射による空中結像 (AIRR: Aerial Imaging by Retro-Reflection)

再帰反射鏡

微少な2面コーナリフレクターアレイ等を用いた実像を写す鏡
再帰反射鏡では、鏡と同じ像を実像として結像している。

ハーフミラーと再帰性反射ミラーアレイの組合わせAIRR

入ってきた光を反射光と透過光に分離する光学素子「ビームスプリッター」と、入ってきた光を同じ方向に反射する「再帰性反射シート」を組み合わせ、スクリーンの映像（光）をビームスプリッターで分離し、再帰性反射シートで複数の光を反射、離れた場所に結像させると空中に映像が現れる。

5. 光線再生方式 インテグラル方式

光線再生方式で表示された立体像は完全な形の空中像である
ライトフィールドと実体の光学重畳

6. 波面再生方式 (ホログラフィ)

ホログラフィーは、実際に物体が存在する場合と同じ光の状態を再現できるため、ホログラフィーで再生される立体像は完全な形の空中像である。

参考文献:

今回の話題提供に当たり次の文献を全面的に引用した。

- 1) 小池崇文, "ライトフィールドディスプレイの概要とそのウェアラブル応用への可能性", FPDの人間工学シンポジウム2016
(https://home.jeita.or.jp/device/lirec/symposium/fpd_2016/pdf/3B-k16.pdf)
- 2) 三科智之, "インテグラル方式の概要", NHK技研 R&D/No.144/2014.3
- 3) "空中に浮かび上がる3次元(3D)映像", 産総研TODAY、2006年4月

3) 今後の日程と講師依頼

パートナー会議の予定

| | 講 師 | 開催日 | |
|------|---------|----------|----------|
| 第88回 | 竹内 学 様 | 6月23日(日) | 代講予定します。 |
| 第89回 | 中尾 元一 様 | 7月28日(日) | |
| 第90回 | 久米 健次 様 | 8月25日(日) | |

HP <http://www.cis-laboratories.co.jp/index.html>

以上