

光線空間のサンプリングに基づいた 多眼式立体ディスプレイ及び インテグラルフォトグラフィ立体 ディスプレイの測定

小池 崇文

(株) 日立製作所 システム 開発研究所

JENC (ISO/TC159国内対策委員会)

1

インテグラルフォトグラ フィと多眼式の違いはなん だらうか?

2

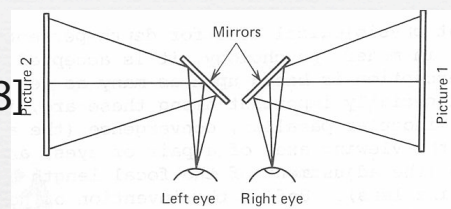
本日の概要

- 多眼方式とインテグラル方式について
- 光線空間の考え方
- 光線空間における両方式の解析
- 光線空間の計測方法
- 結論

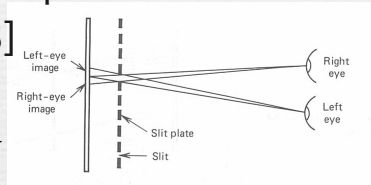
3

立体ディスプレイの歴史

メガネ方式
[Wheatstone 1838]



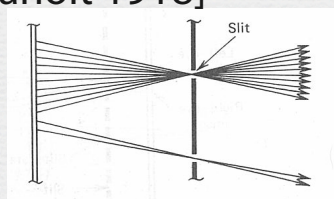
2眼ステレオ
[Ives 1903]



インテグラル
フォトグラフィ
[Lippmann 1908]

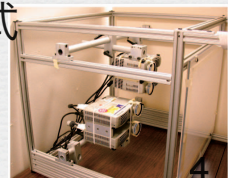


Parallax Panoramagram
(多眼式) [Kanolt 1918]



多眼方式

光線再生方式
[Yang 2006]



多眼方式 (MV)

- 視点が定義(設計)されている
- 多眼方式の画像は多視点カメラ画像から簡単に作成可能
- 歴史的には二眼方式の拡張
- セイコーエプソンなど、多数のメーカーが試作・販売
- いくつかは市場に出回ってる

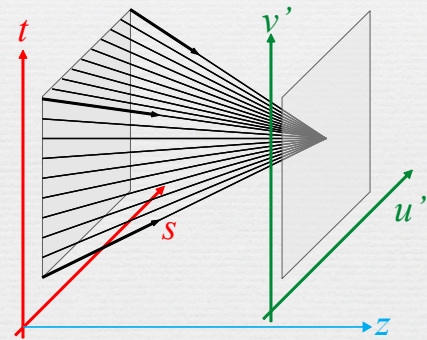


図. 多眼方式の原理

5

インテグラルフォトグラフィ (IP)

- M. G. Lippmann 1908 により発明
- **フィルム** と **レンズアレイ**
- 歴史的には写真技術であってディスプレイ技術でない
- 視点は定義されていない(できない)
- II (Integral Imaging)
- IV (Integral Videography)
- 製品はなし
- NHK, 東芝, 日立で試作

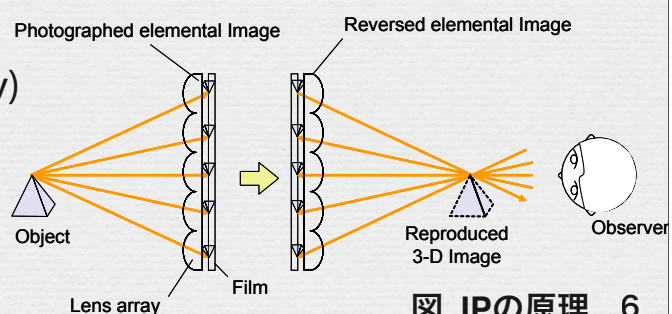


図. IPの原理 6

例: IP/II 方式

インテグラルビデオグラフィ

- IPの動画拡張
- 液晶とマイクロレンズアレイ
- 特殊なカラーフィルタレイアウト

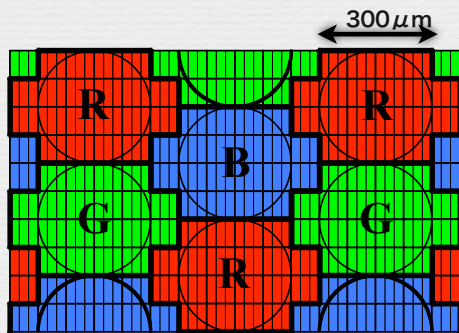


図. カラーフィルタ配置

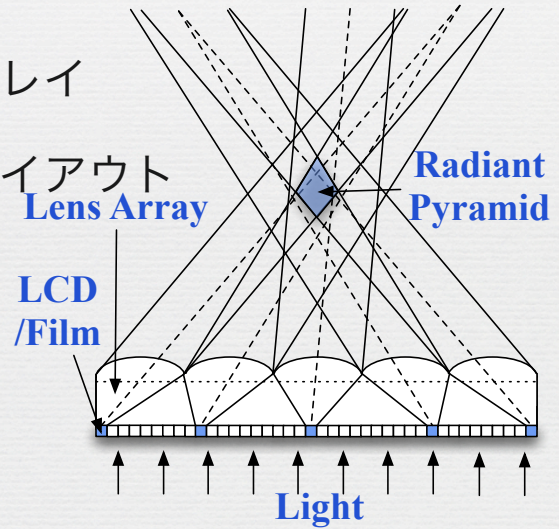
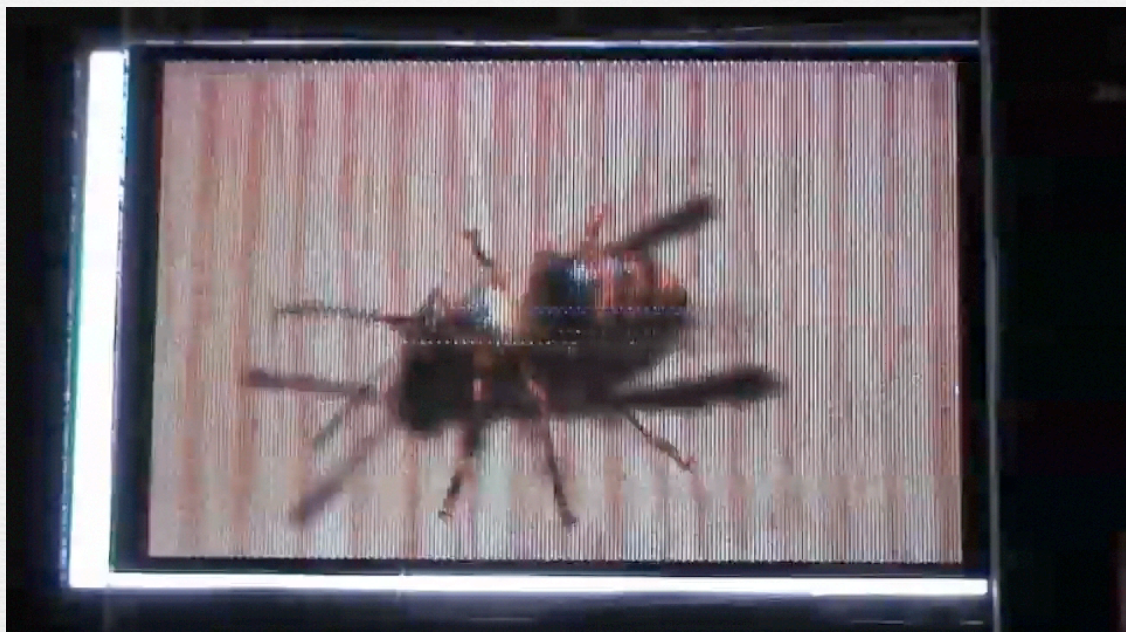


図. IP/II/IVの原理
(c) Hitachi, Ltd. 7

例: IP/II 方式



例: IP/II 方式

拡張インテグラル方式

- マルチプロジェクション技術を使用
- 逆視領域が無い
- メインローブのみ
- 360度から閲覧可能

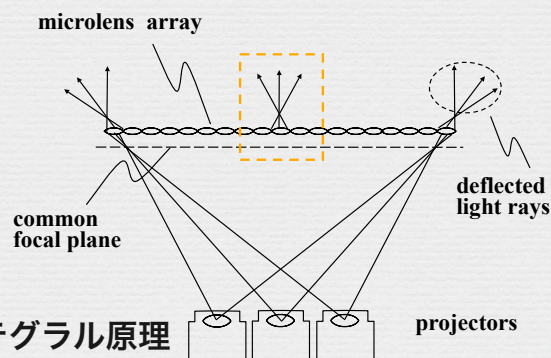


図. 拡張インテグラル原理

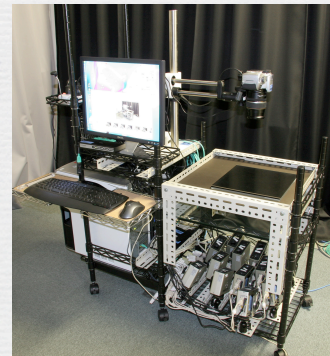


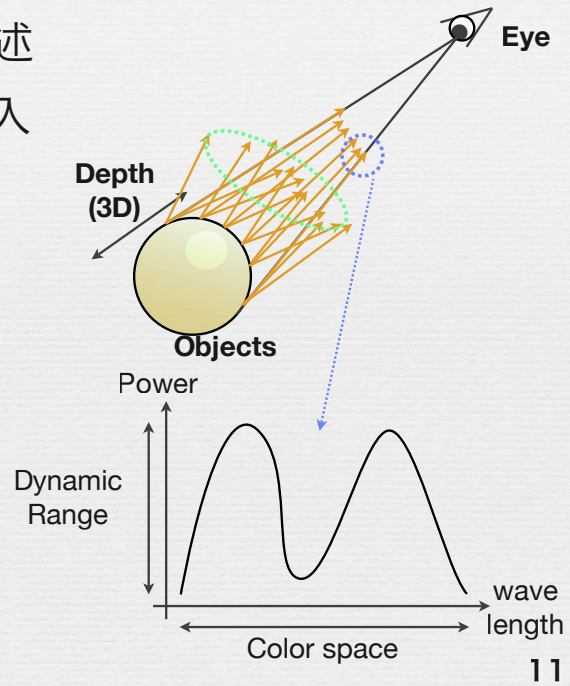
図. 試作ディスプレイ
(c) Hitachi, Ltd. 9

Example: IP/II 3D Display Multi-Integral Imaging

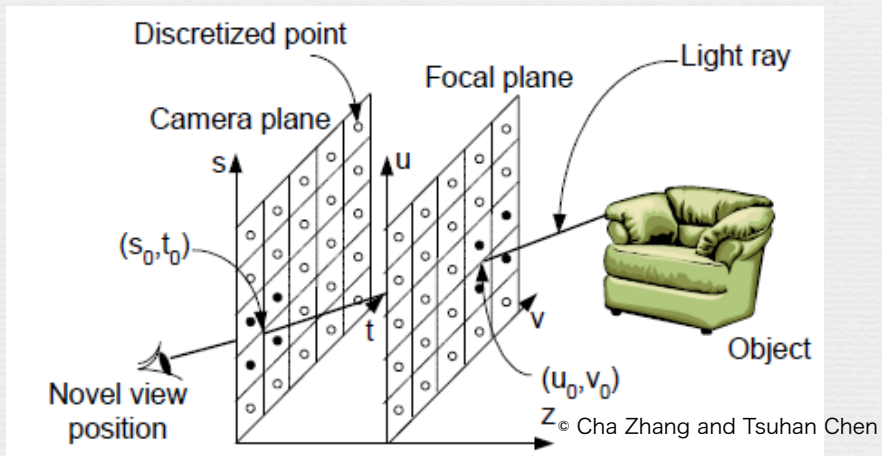
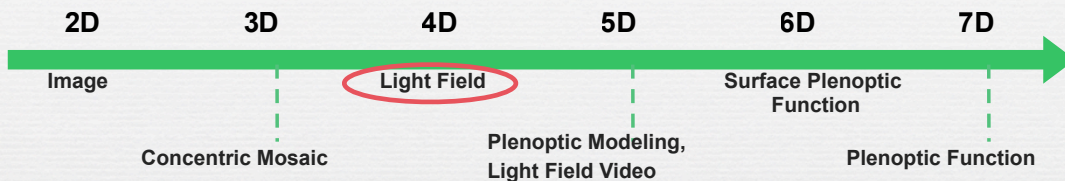


Plenoptic 関数

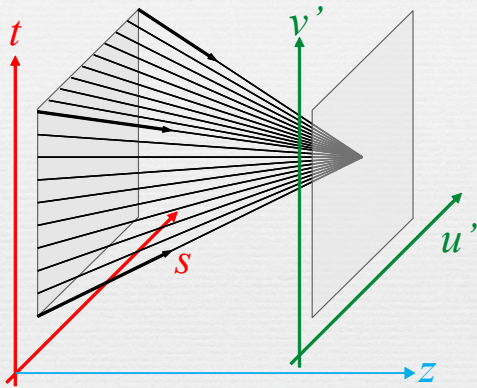
- 📍 我々が見ている光線を記述するための関数として導入 (Adelson&Bergen, 1991)
- 📍 7次元空間で定義
 - 📍 位置 (3D)
 - 📍 方向 (2D)
 - 📍 波長 (1D)
 - 📍 時間 (1D)



光線空間を記述する次元



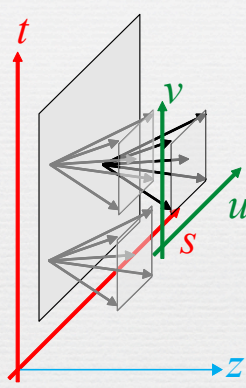
光線空間記法 (4D Light Field)



多眼方式

Two Plane Parameterization (2PP)

📍 カメラ位置が $u'v'$ -面

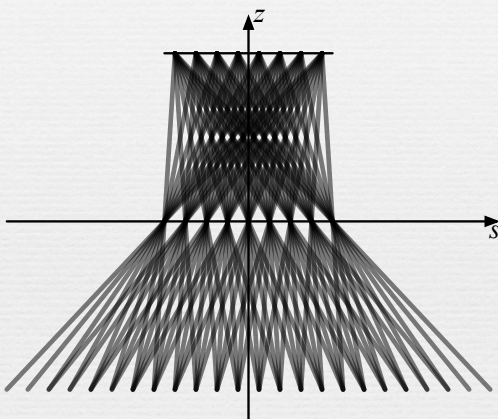


インテグラル方式

Plane and Direction Parameterization (PDP)

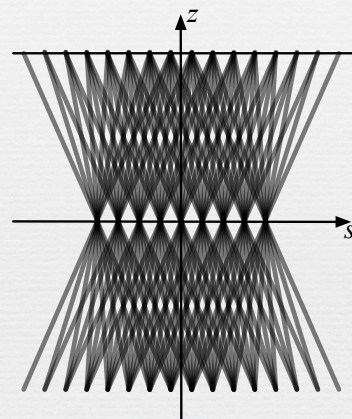
📍 カメラ位置は st -面

sz 面における違い



多眼方式

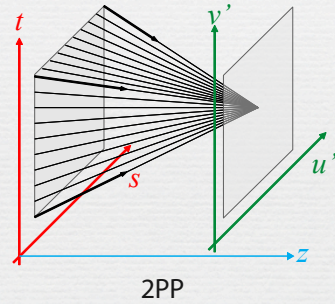
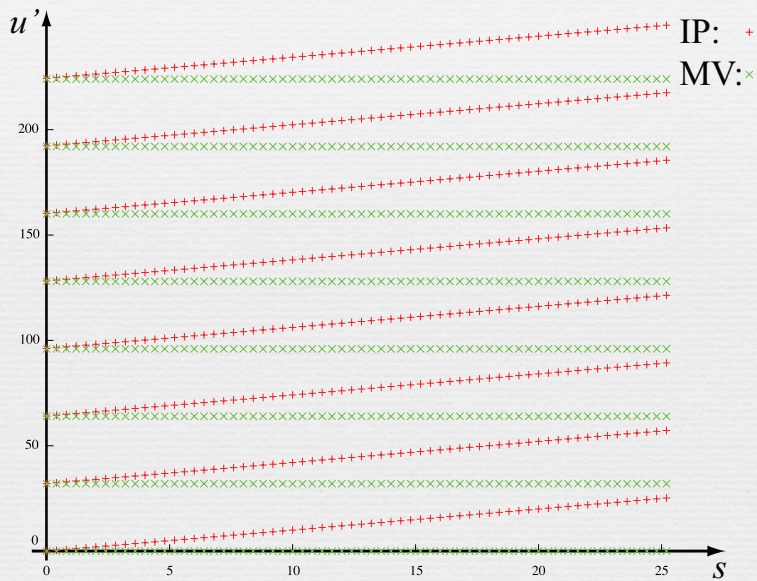
📍 光線密度は均一性低い



インテグラル方式

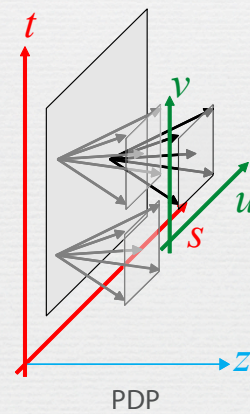
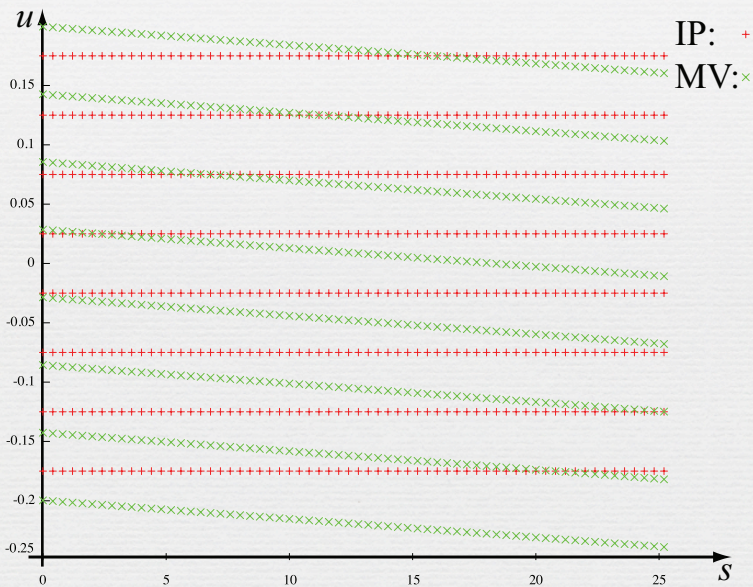
📍 光線密度の均一性は高い

su'-面での光線サンプリング



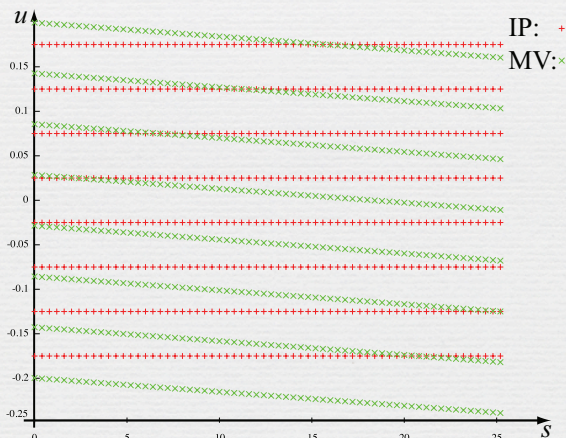
多眼サンプリングはu'方向に均一

su-面での光線サンプリング

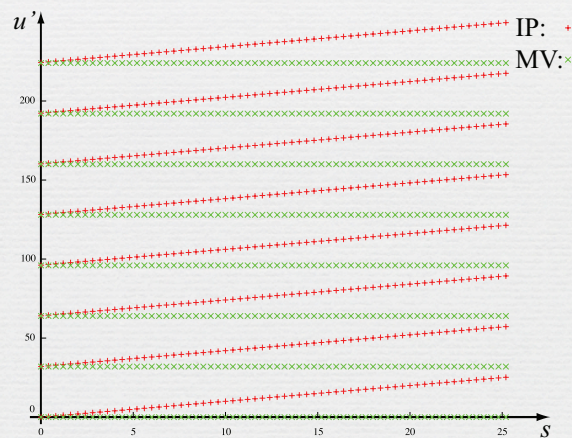


IPのサンプリングはu方向に均一

su面 と su'面での光線空間の



su面

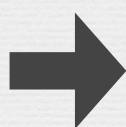


su'面

17

光線空間の解析結果が意味 すること

- 📍 原理的には、多眼とインテグラルは4次元光線空間において異なるサンプリングである
- 📍 通常の(2D)ディスプレイにおいてサンプリングは画質に大きな影響を与えている



4次元光線空間のサンプリングも画質や人間工学に影響を与えると予想される

18

光線空間の測定方法

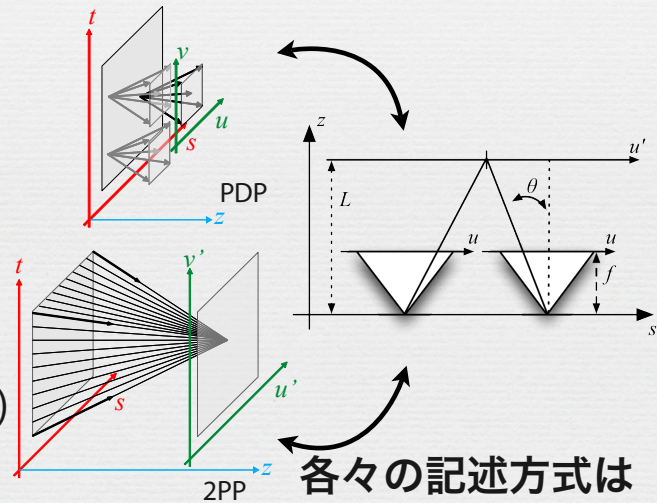
どうやって光線空間を測定するか?

☛ (s,u) を計測するには?

☛ 視角度での測定

☛ (s,u') を計測するには?

☛ 面での測定(カメラ)



各々の記述方式は
変換可能!

19

点計測

☛ 利点

☛ 計測精度が良い

☛ キャリブレーションは、ほぼ自動(またはマニュアル化)

☛ 欠点

☛ 計測に時間がかかる

☛ 専用装置のため高価

20

面計測

利点

- データ量が多い
- (カメラなどの)汎用品を使えるため装置が安価

欠点

- 計測精度が悪い
- (幾何・輝度・色等の)キャリブレーションが必要

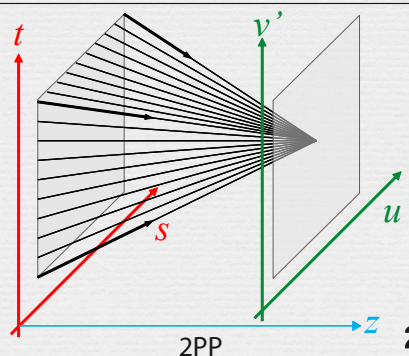
21

サンプリング品質関数

$$Q(s, u') = 1 - \frac{2 \cdot \min_{i \in \Sigma} (|(s, u') - (s_i, u'_i)|)}{\Delta}$$

Σ : 全サンプリング点集合
 Δ : サンプリング間隔
 (s_i, u'_i) : サンプリング点

- $Q=1$: クリアな3D画像
- $Q=0$: クリアでない3D画像
- $Q<0$: サンプリング点が視域の外側



22

映像品質

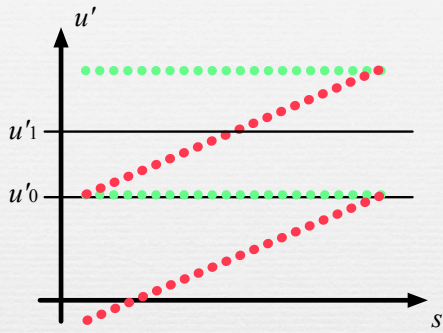
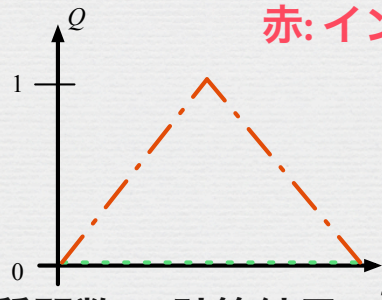
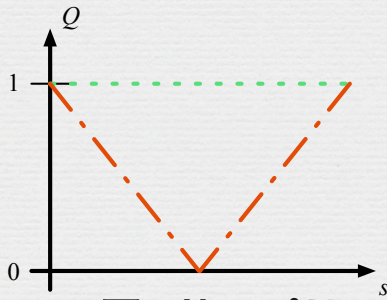
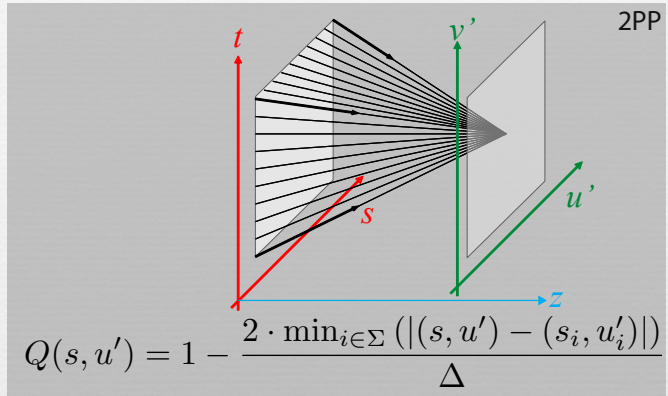


図. サンプルングパターン



赤: インテグラル方式

緑: 多眼方式

図. (サンプルング品質関数の)計算結果


23

方式の差異まとめ

- 🕒 歴史的経緯
- 🕒 光線空間でのサンプルング
 - 🕒 sz空間
 - 🕒 su空間
- 🕒 計測方法
- 🕒 見た目の特性

24

結論

- 立体ディスプレイを考えるにあたり，光線空間は重要な概念の一つ
 - 多眼方式とインテグラルの違いを提示
 - 違いが画質や人間工学に影響を与える可能性
- 
- 適切な(正確で効率良い)計測方法開発の必要性
 - 立体ディスプレイの分類は注意深く行う必要性

25

フラットパネルディスプレイの人間工学シンポジウム 2009
2009/03/06

光線空間のサンプリングに基づいた 多眼式立体ディスプレイ及び インテグラルフォトグラフィ立体 ディスプレイの測定

小池 崇文

(株)日立製作所 システム 開発研究所

JENC (ISO/TC159国内対策委員会)

takafumi.koike.jf@hitachi.com

26

参考文献1 (立体ディスプレイの歴史)

- C. Wheatstone, ``Contributions to the Physiology of Vision.—Part the First. On Some Remarkable, and Hitherto Unobserved, Phenomena of Binocular Vision”, In Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Vol. 128, pp. 371 - 394, 1838. (<http://www.stereoscopy.com/library/wheatstone-paper1838.html>)
- F. E. Ives, ``Parallax Stereogram and Process for Making Same,” U.S. Patent Number 725,567, 1903.
- M. G. Lippmann, ``Epreuves Reversibles Donnant la Sensation du Relief,” J. de Phys. , vol. 7, pp. 821 - 825, 1908.
- C. W. Kanolt, ``Photographic Method and Apparatus,” U.S. Patent Number 1,260,682, 1918.
- T. Okoshi, ``Three-Dimensional Imaging Techniques,” Academic Press, 1976.

27

参考文献2 (光線空間)

- E. H. Andelson and J. R. Bergen, ``Plenoptic Function,” In book of Computational Models of Visual Processing, pp. 3 - 20, MIT press, 1991.
- M. Levoy and P. Hanrahan, ``Light Field Rendering,” In proceedings of ACM SIGGRAPH 1996, 1996.
- 苗村 健, ``光線記述に基づく空間符号化と空間共有メディアに関する研究”, 博士論文, 電子工学専攻, 東京大学大学院 工学系研究科, 1996.
- T. Koike et al., ``Measurement of Multi-View and Integral Photography Displays Based on Sampling in Ray Space,” IDW '08, 3D2-5, 2008.
- 小池 崇文, ``4次元光線再生方式ディスプレイに関する理論的検討とその応用”, 博士論文, 東京大学 大学院 情報理工学系研究科, 2008.

28

参考文献3 (IP/IIディスプレイ)

- ④ K. Taira and Y. Hirayama. ``Development of Lenticular-Type Autostereoscopic Liquid Crystal Display Based on One-Dimensional Integral Imaging,`` IDW'05, 3D4-1, 2005.
- ④ 小池 崇文, 及川 道雄, 宇都木 契, ``モアレを削減したインテグラルビデオグラフィ,`` 映像情報メディア学会誌, Vol. 61, No. 6, pp. 814 -821, 2007.
- ④ R. Yang, X. Huang, S. Li, and C. Jaynes, ``Toward the Light Field Display: Autostereoscopic Rendering via a Cluster of Projectors,`` IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 14, No. 1, pp. 84 - 96, 2008.
- ④ M. Yamasaki, T. Koike, K. Utsugi, and H. Sakai , ``High-Density Light Field Reproduction Using Overlaid Multiple Projection Images,`` SD&A XX, 7237-08, 2009.