

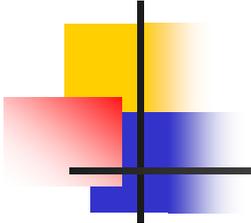
ホロTV用データ圧縮方式の提案

妹尾孝憲, 涌波幸喜, 市橋保之, 佐々木久幸, 山本健詞

2013年12月7日

情報通信研究機構



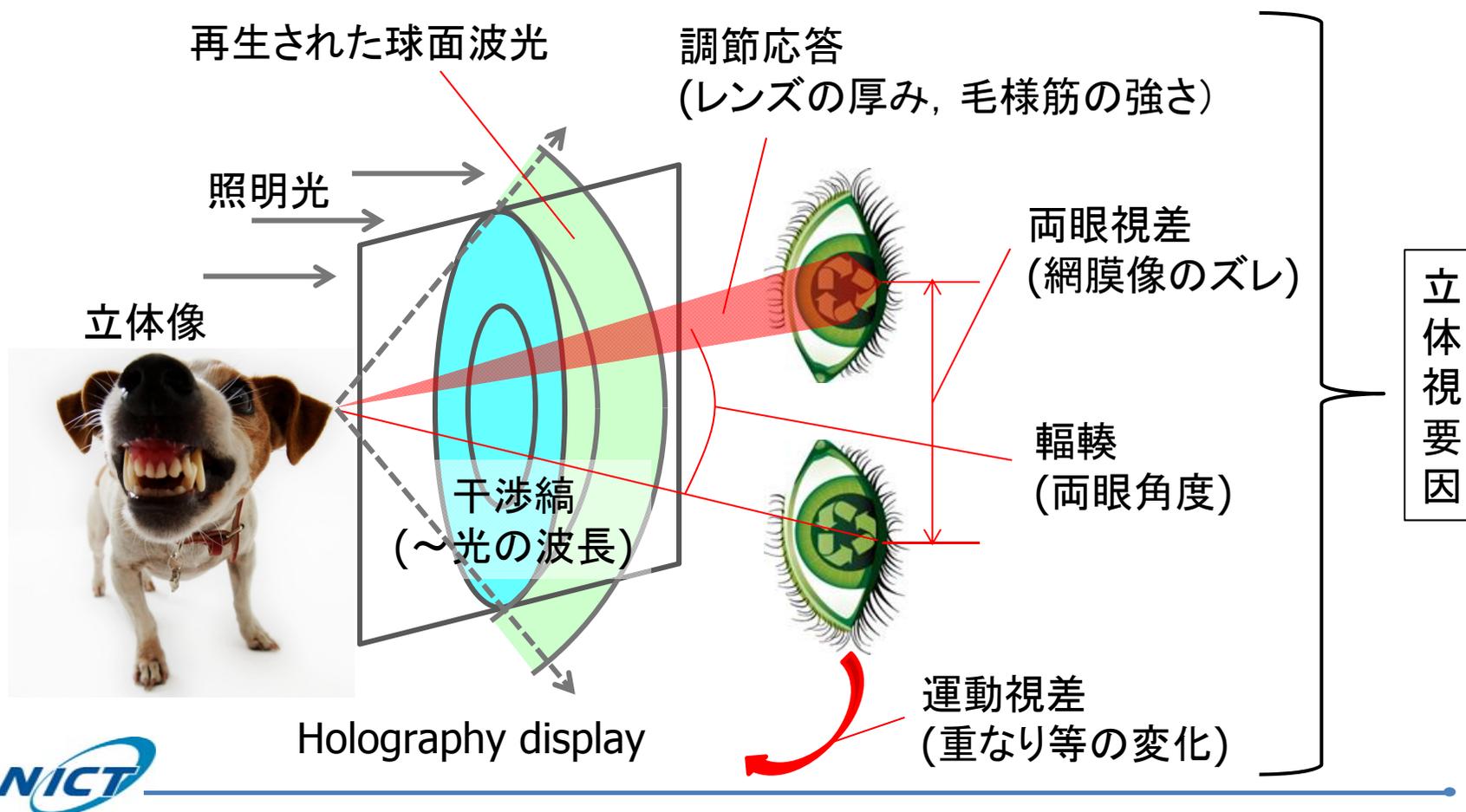


内容

- 始めに
 - 電子ホログラフィ・テレビシステムの提案
- データ形式と圧縮方法
 - 大域ビューと奥行符号化
- ホログラム生成と表示
 - ホログラム生成
 - 電子ホログラフィ表示システム
- 実験と結果
 - データ圧縮結果
 - ホログラム再生結果
- まとめ

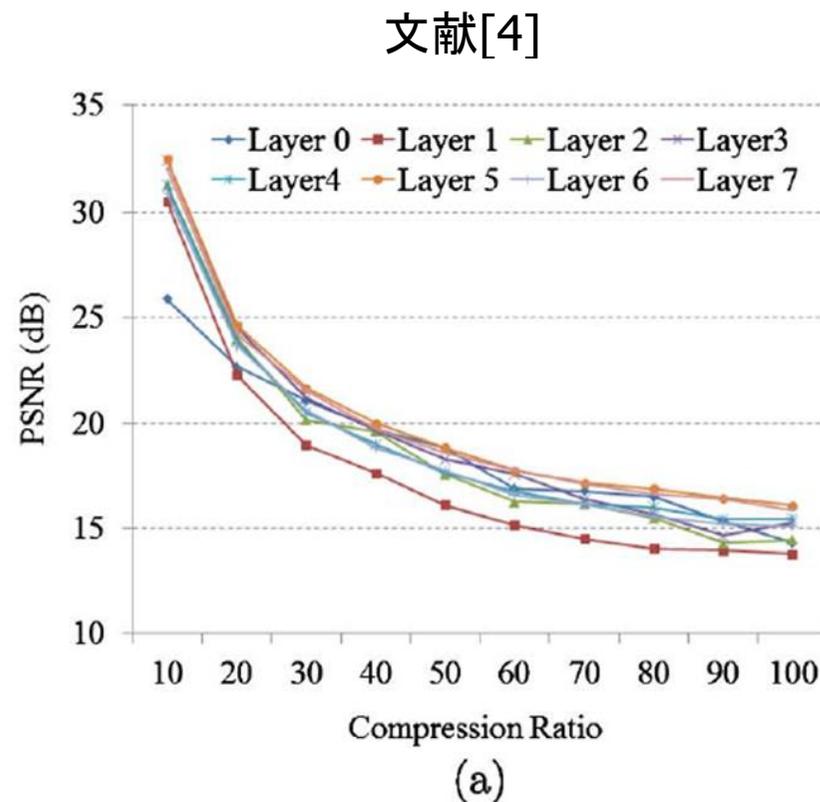
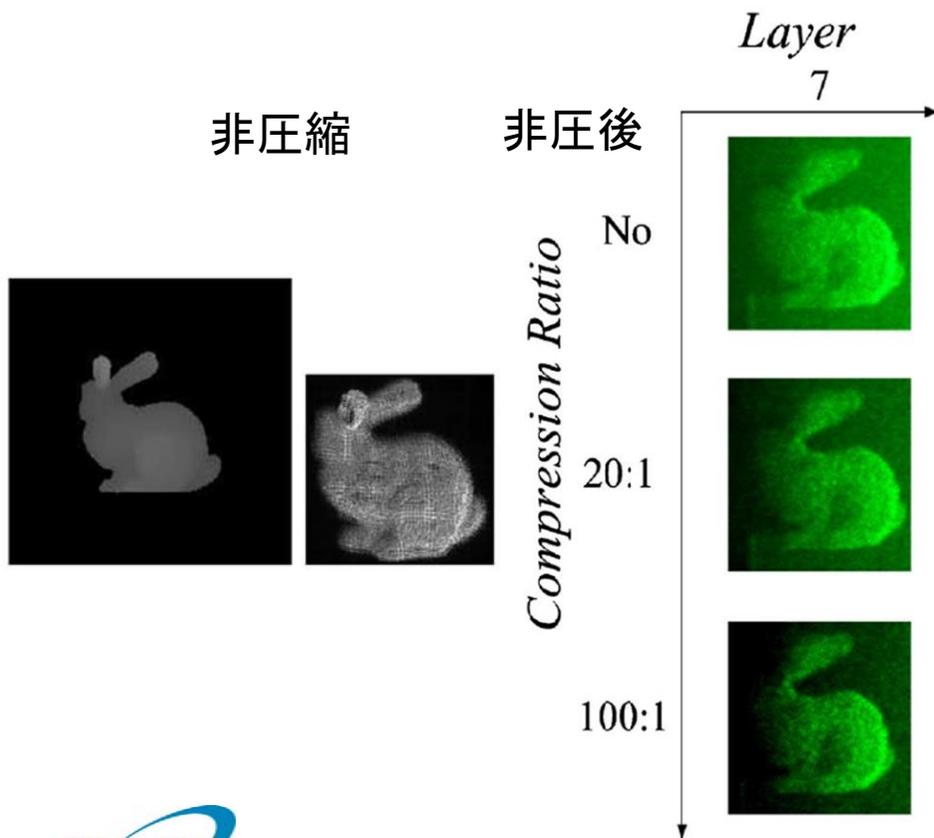
電子ホログラフィTVシステム

- 電子ホログラフィは,立体視要因を全て満たす理想的な立体テレビ.
- 課題の1つは膨大なデータ量(5 μ m画素で対角4cmの像は33M画素)



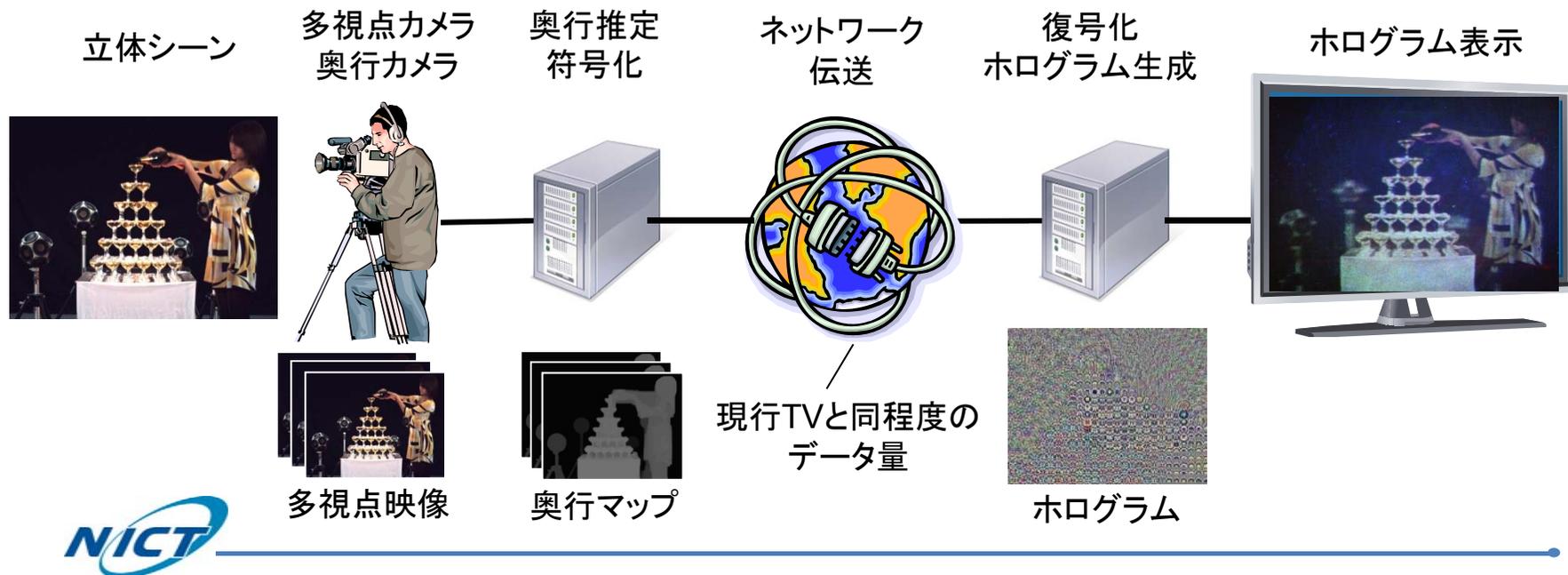
先行研究

- ホログラムデータの直接圧縮では、圧縮率が上がらない
 - DCT, SBC, Wavelet, MPEG-1等 (文献[1]-[4])
ホログラムデータは白色雑音状で1:100以上の圧縮は困難



ホログラフィックTVシステムの提案

- 多視点映像と奥行マップのホログラム変換で実現 [15]-[18][20]
 - 多視点カメラで、立体シーンを撮影
 - 奥行カメラ又は、多視点映像のステレオマッチングで、奥行マップ取得
 - 多視点映像と奥行マップを圧縮してネットワーク伝送
 - 受信側でCGHによりホログラム生成
 - 電子ホログラフィディスプレイに表示



奥行カメラによる奥行マップ取得

- 奥行カメラは、被写体距離を**実時間測定**可能であるが、[8][9]
- 奥行カメラの解像度は、**高くない**.

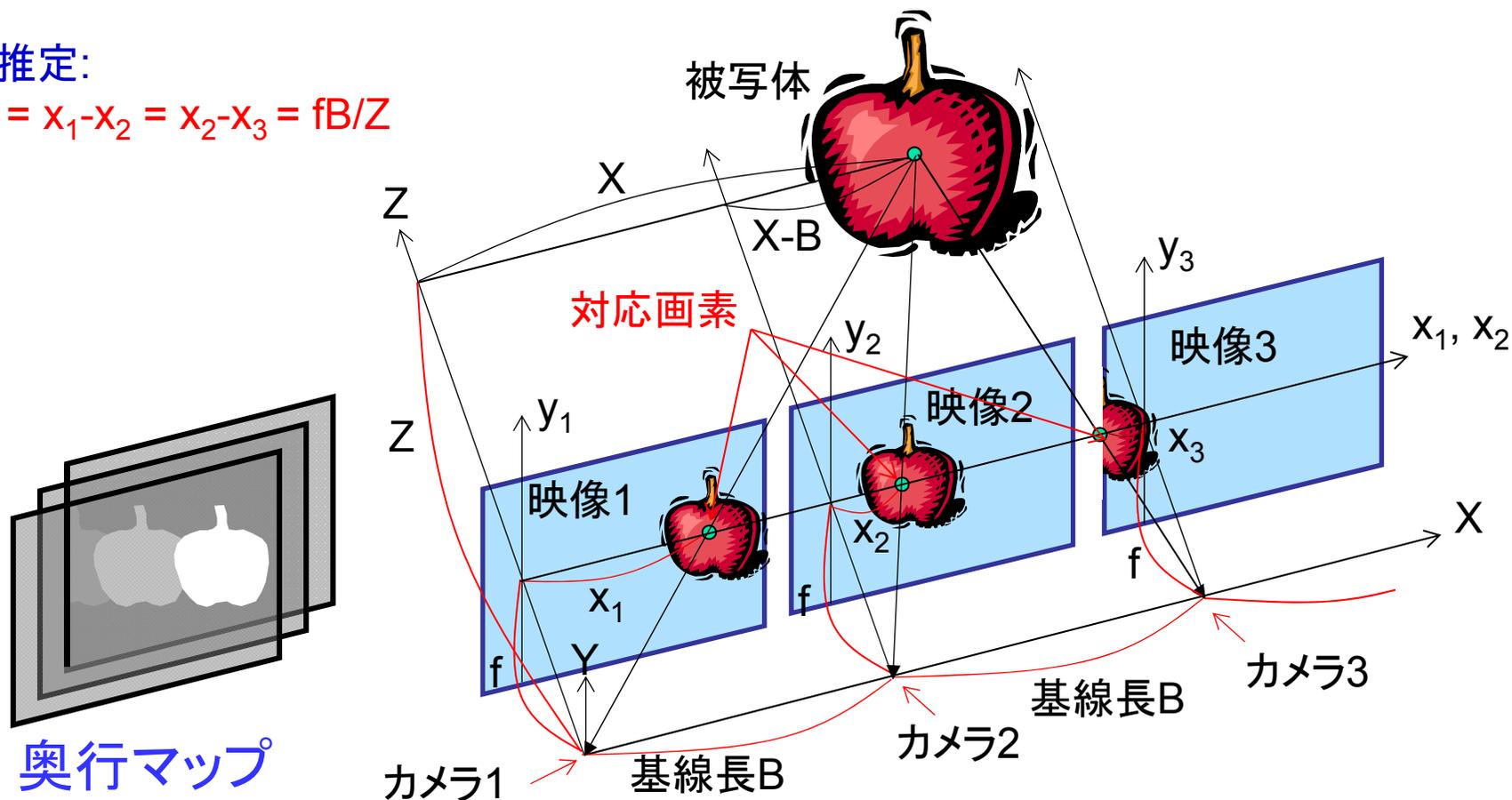


多視点映像から奥行マップを推定

- 対応点間の位置ずれ量が, 奥行値(視差量)となる[10]-[13]
- 対応画素は, ステレオマッチングで探す: 映像と同じ解像度 that 得られる

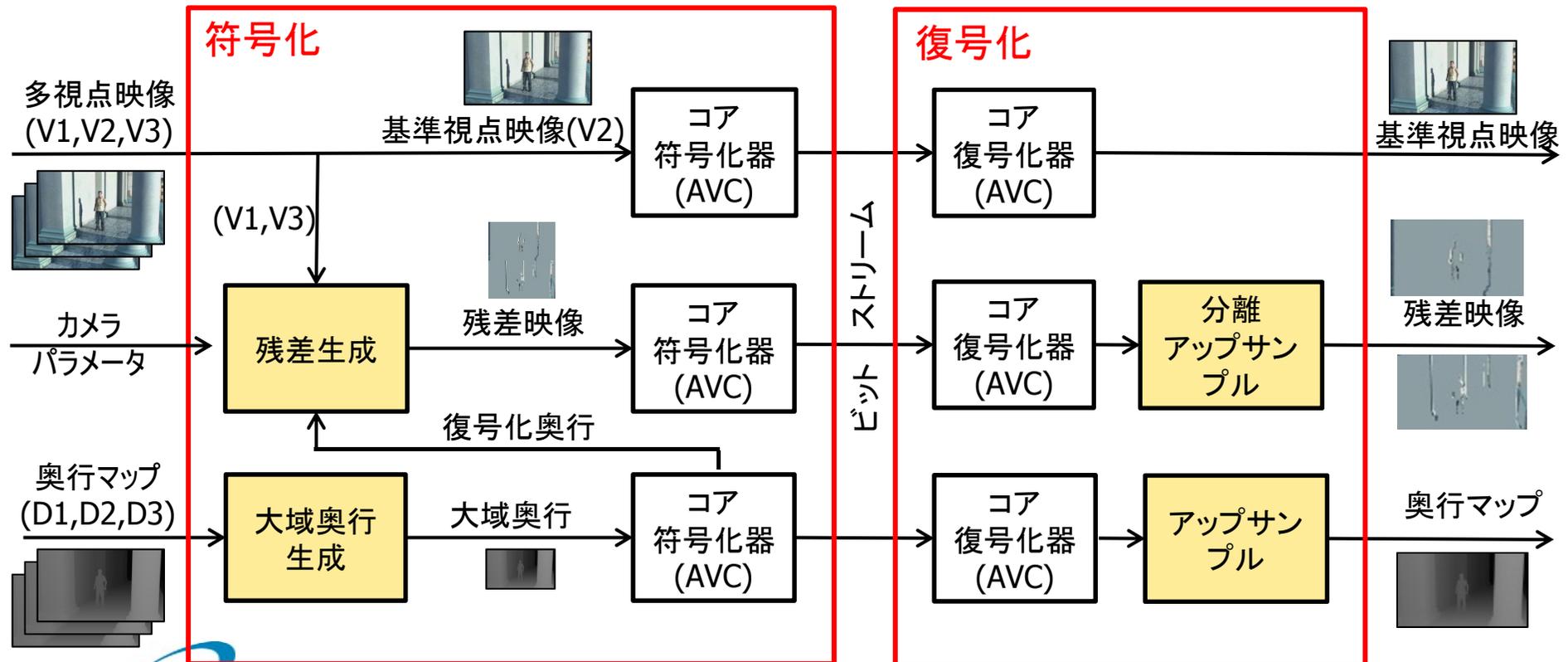
奥行推定:

$$\text{奥行} = x_1 - x_2 = x_2 - x_3 = fB/Z$$



多視点映像と奥行符号化方式^[14]

- 中央の基準視点映像は単独符号化し、2Dディスプレイとの互換性を確保.
- 複数の奥行マップは1つにまとめ、データ削減.
- 左右の残差映像はオクルージョン部分のみを符号化し、データ削減.
- 復号化出力は、多視点立体映像やホログラム生成に使用.



大域奥行生成

- 入力奥行マップを，中央視点に射影して平均化（奥行誤差の軽減）
- 射影で出来た画素の無い穴は，穴の左右を比較し，背景側の奥行で埋める
- 得られた奥行マップを，水平・垂直半分に画素間引（データ削減）



左奥行マップ $D_1(x_1, y)$ 中央奥行マップ $D_2(x_2, y)$ 右奥行マップ $D_3(x_3, y)$

$$\Delta x_i = \frac{fB}{255} \left(\frac{1}{Z_{near}} - \frac{1}{Z_{far}} \right) D_i(x_i, y) + \frac{fB}{Z_{far}} \quad (i = 1, 3)$$

$$x_g^1 = x_1 - \Delta x_1, \quad x_g^2 = x_2, \quad x_g^3 = x_3 + \Delta x_3$$

$$D_g(x, y) = \frac{D_g^1(x, y) + 2D_g^2(x, y) + D_g^3(x, y)}{4}$$

射影,
穴埋め,
平均化,
画素間引き

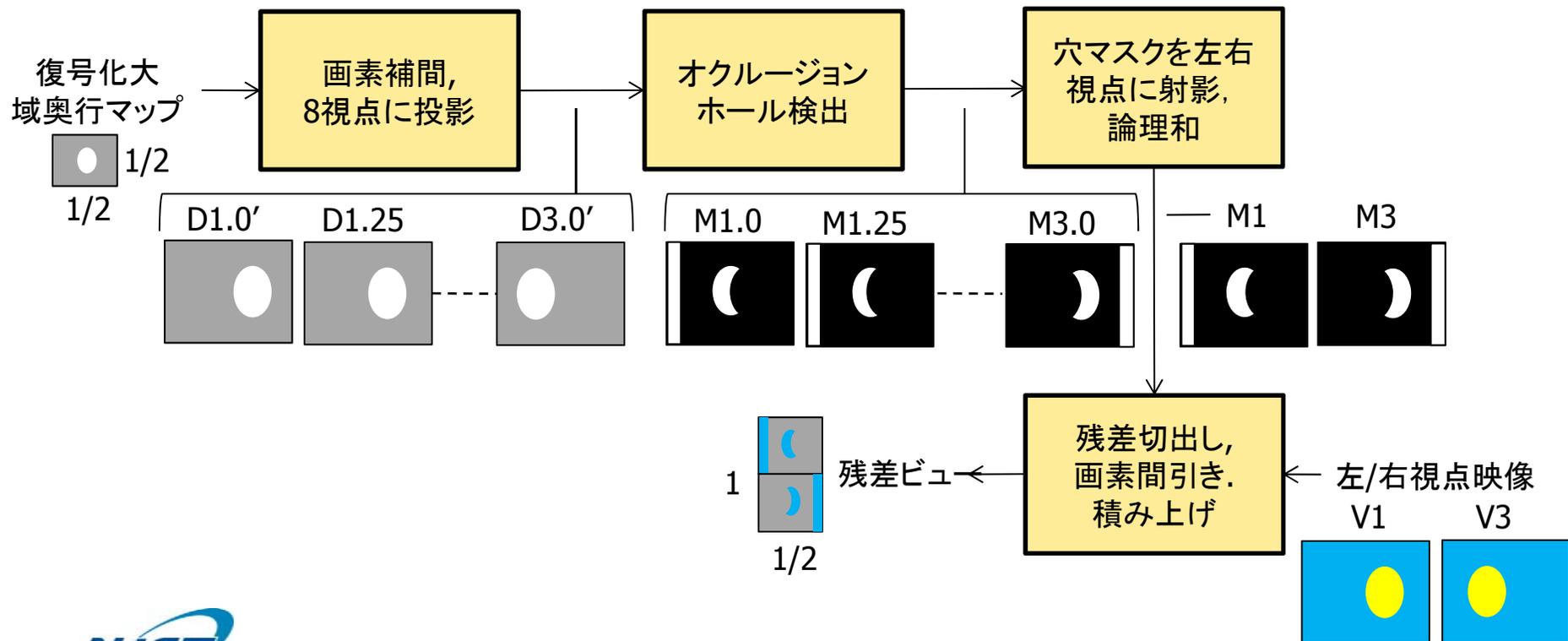


大域奥行マップ $D_g(x, y)$



残差ビュー生成

- 復号化奥行を画素補間して元サイズに戻し, 8テスト視点に射影し, 基準視点映像でカバーできない穴部分(オクルージョンホール)を探す(残差ビュー候補)
- 検出された穴マスクを左右視点に射影して, 穴部分の映像を切出す
- 切出映像を水平・垂直半分に画素間引きし, 1フレームに積上げ(残差ビュー)



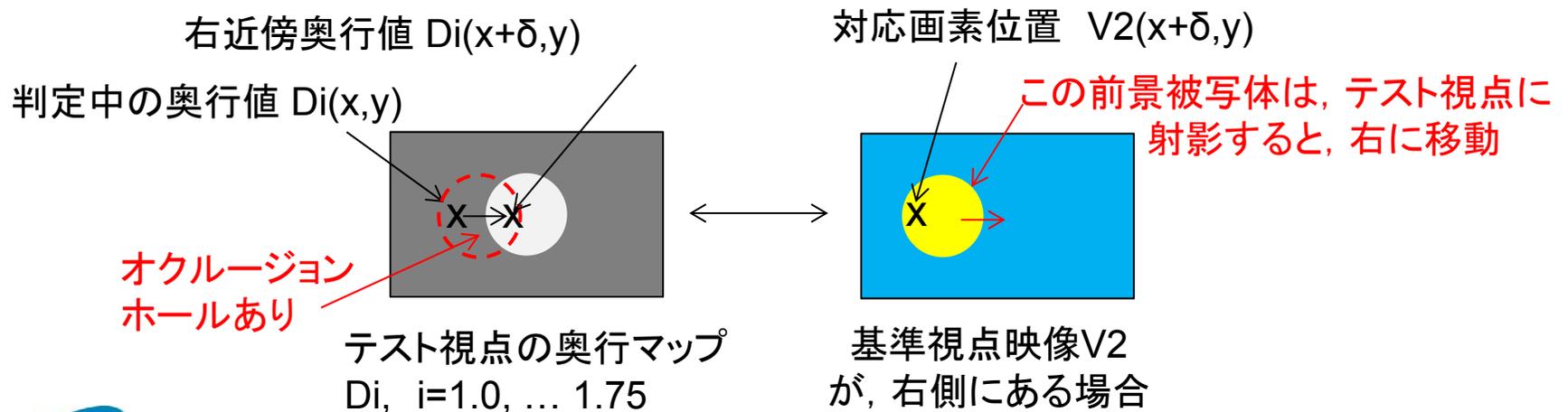
オクルージョンホール検出

- 奥行マップを調べて、基準視点映像でカバー出来ないオクルージョンホール(穴)を探す
- 基準視点映像のある側と同じ側に前景被写体があれば、穴の可能性有
- 探索範囲 δ は、シーンの最大視差量から与える

$$\text{for } (0 \leq \delta \leq \frac{fB_i}{Z_{near}}),$$

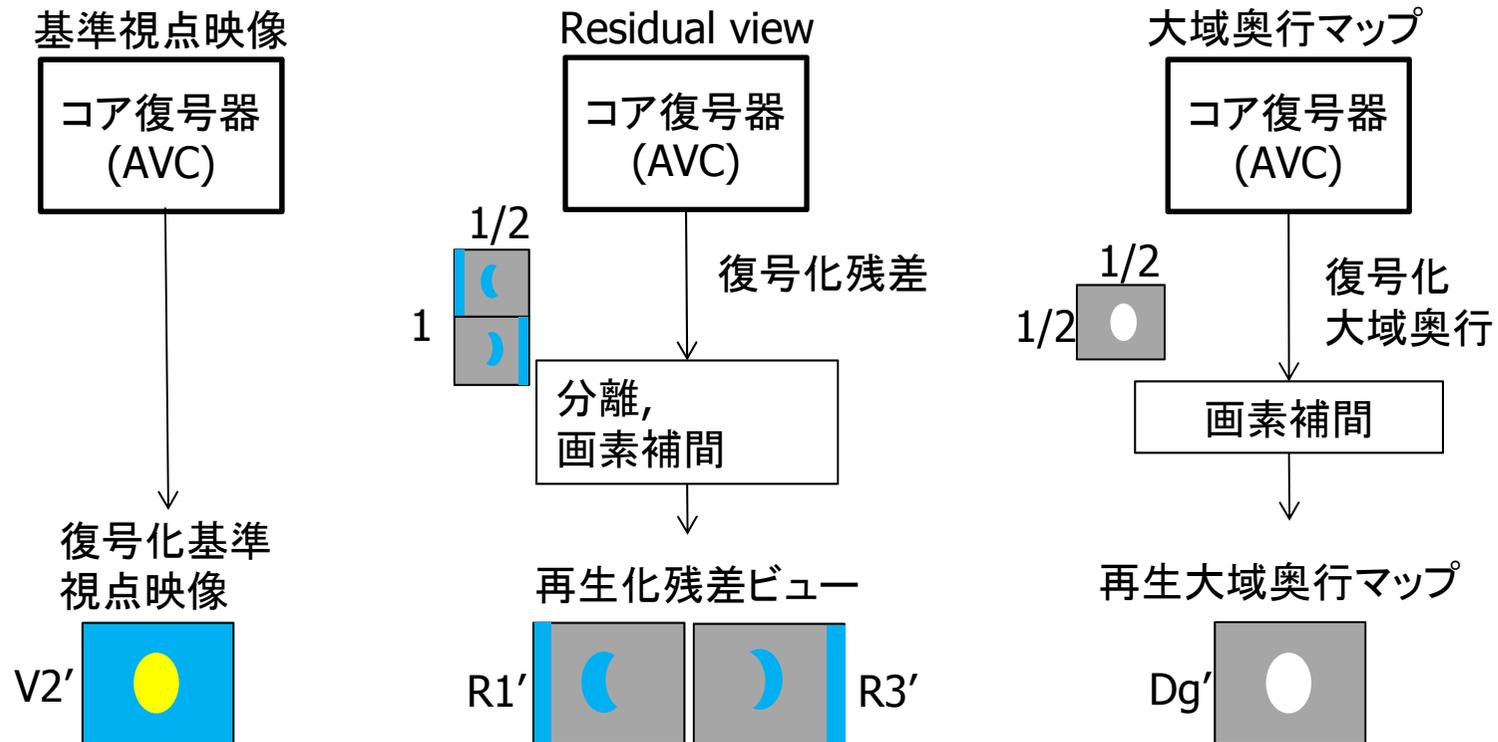
$$\text{if } \Delta = (D_i(x + \delta, y) - D_i(x, y)) \geq 0, \quad \text{calculate } \varepsilon = \frac{fB_i}{255} \left(\frac{1}{Z_{near}} - \frac{1}{Z_{far}} \right) \Delta,$$

$$\text{if } (\varepsilon \geq \delta, \text{ or } D_i(x + \varepsilon, y) - D_i(x, y) \geq k * \Delta), \quad (x, y) \text{ is in occlusion hole.}$$



復号

- 基準視点映像を復号
- 残差映像を復号後, 分離, 画素補間して元サイズに戻す
- 大域奥行を復号後, 画素補間して元サイズに戻す



ホログラム生成^[15]

- 物体光は, 基準視点映像の画素値と, 大域奥行マップ値から, コンピュータ生成ホログラムの手法(CGH)で計算する.
- 物体光に参照光を加えてホログラムを得る
- オクルージョンホール部分は, 残差映像からホログラムを計算する

大域奥行マップ $D(x,y)$



基準視点映像 $V(x,y)$



参照光 $R(u,v)$

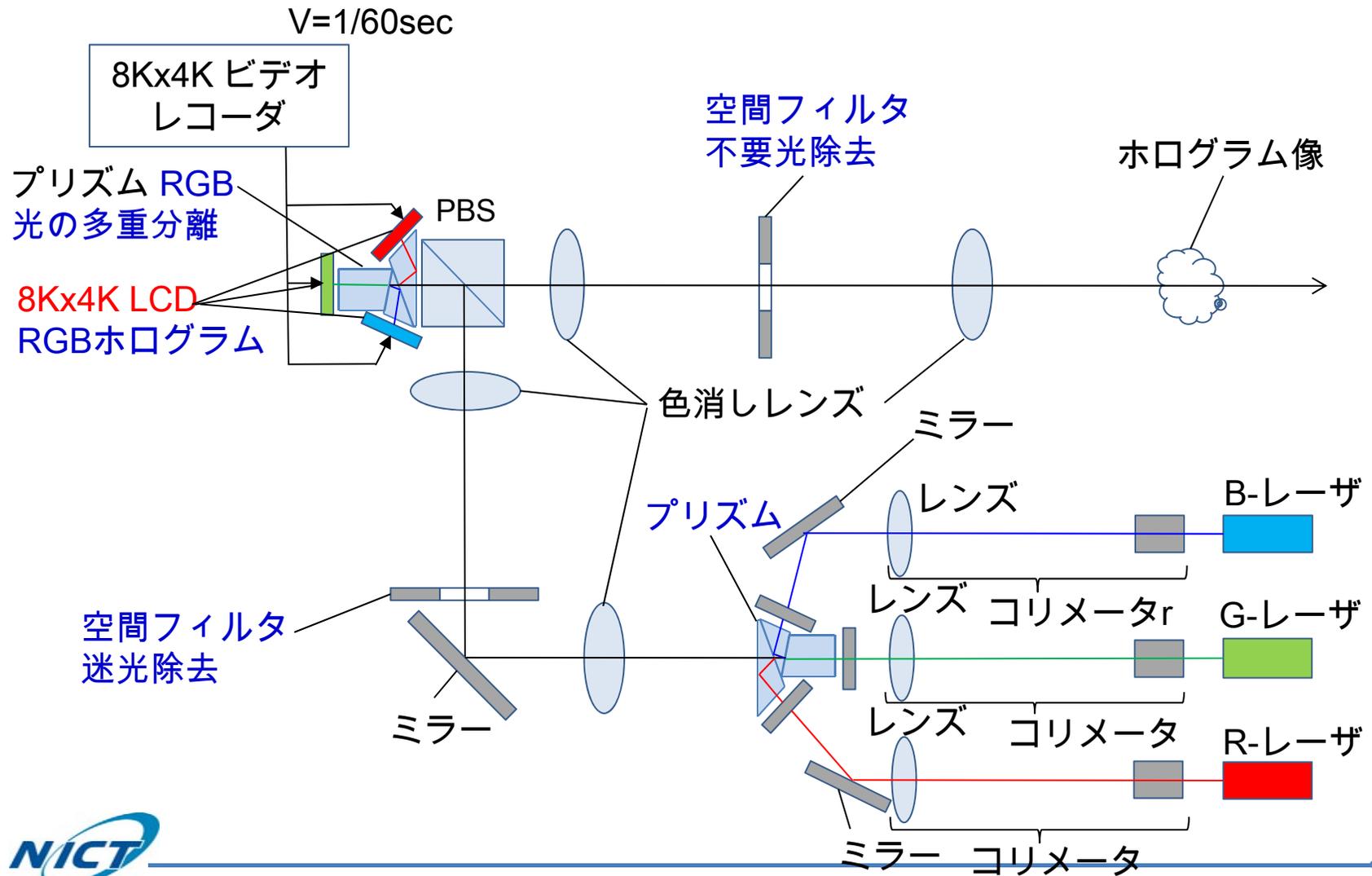
物体光

$$O(u,v) = \sum V(x,y) \exp(-jkd)/d$$
$$d = \sqrt{\{(x-u)^2 + (y-v)^2 + (D(x,y)-w)^2\}}$$
$$k = 2\pi/\lambda$$

ホログラム
 $H(u,v) = |O+R|^2$

電子ホログラフィ再生システム^[17]

- フルカラー: 3 LCDs. 4.8 μ m画素 (像サイズ:対角4cm, 視域:5.6°)



実験に使った多視点映像

- 入力: 3視点映像: Champagne Tower V37, V39, V41 (名古屋大学提供[19])
- 奥行マップは, MPEG参照ソフトDERS5に繰り返し奥行推定を加え, 視点映像V36~V42から, 初期マップを手動で与えて推定(将来はデプスカメラ取得が好ましい)



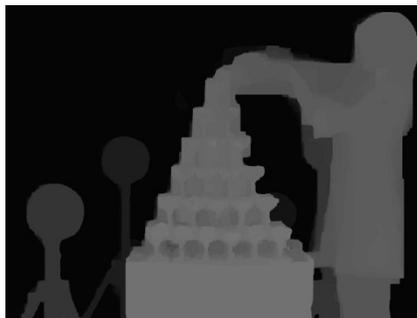
左視点映像 V37



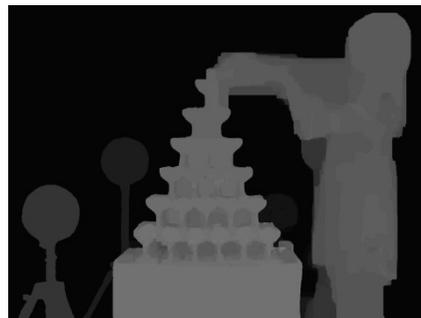
中央視点映像 V39



右視点映像 V41



左奥行マップ D37



中央奥行マップ D39



右奥行マップ D41

画像サイズ (画素)	1280x960
フレームレート (fps)	30
長さ (フレーム)	300
色成分	YUV/420

カメラパラメータ

焦点距離 f (画素)	2963
基線長 B (mm)	100
最近距離 Znear (mm)	2032
最遠距離 Zfar (mm)	7784

符号化基準視点映像と大域奥行マップ

- データ量が削減されたが、画質劣化は見えない



入力映像 V39 (org, 442Mbps)



符号化映像 V39 (QP=41, 268Kbps)
1/1650圧縮



入力奥行マップ D37,39,41 (885Mbps)



符号化奥行マップ (QP=41, 41.3Kbps)
映像の15%

符号化残差ビュー

- データ量が削減されたが、画質劣化は見えない



入力映像 V37,41 (884Mbps)



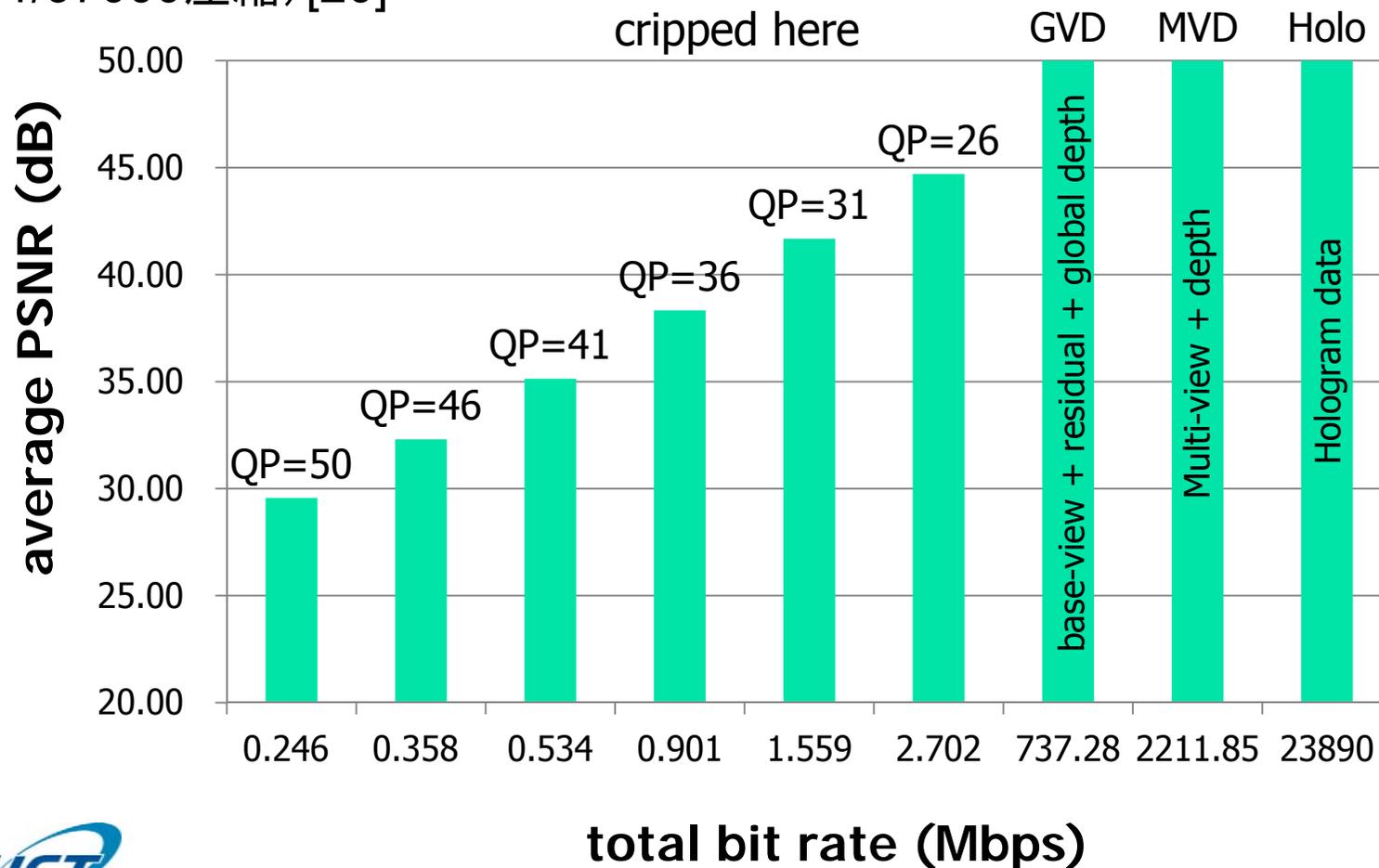
残差ビュー
(QP=0, 221Mbps)



符号化残差ビュー
(QP=41, 238Kbps)
1/3700圧縮

符号化映像のPSNRと全ビットレート

- ホログラムデータを直接伝送すると、23.9Gbps.が必要
- 2.2Gbps の多視点映像と奥行マップ(MVD)を 246kbpsまで圧縮(QP=50) (1/97000圧縮)[20]



生成されたホログラム

- 非圧縮データから生成されたホログラム(左)と, 圧縮データから生成されたホログラム(右)はややボケて見える.



非圧縮データ (23.9Gbps)から生成



圧縮データ(QP=41, 534Kbps)から生成
1/44700圧縮

再生された電子ホログラム映像

- 非圧縮(左)と, 圧縮データから再生されたホログラム像(右)は同じに見える



非圧縮 (23.9Gbps)



圧縮 (QP=26, 2.702Mbps)
1/8850圧縮

再生された電子ホログラム映像

- 圧縮データから再生されたホログラム像は、どれも同じに見える



圧縮 (QP=31, 1.559Mbps)
1/15300圧縮



圧縮 (QP=36, 901Kbps)
1/26500圧縮

再生された電子ホログラフィ映像

- 符号化SN($>31\text{dB}$)が, ホログラム再生SN($\approx 24\text{dB}$, 主にスペックル雑音)より, 6dB 以上高い場合は, 符号化雑音はホログラム再生雑音にマスクされたと思われる.



圧縮 (QP=41, 534Kbps)
1/44700圧縮



圧縮 (QP=46, 358Kbps)
1/66700圧縮

再生された電子ホログラフィ映像

- 符号化SN(≒ 29dB)が, ホログラム再生SN(≒24dB)に近くなると, マスクが効かなくなり, 符号化雑音(細部のボケ等)が見えだす.



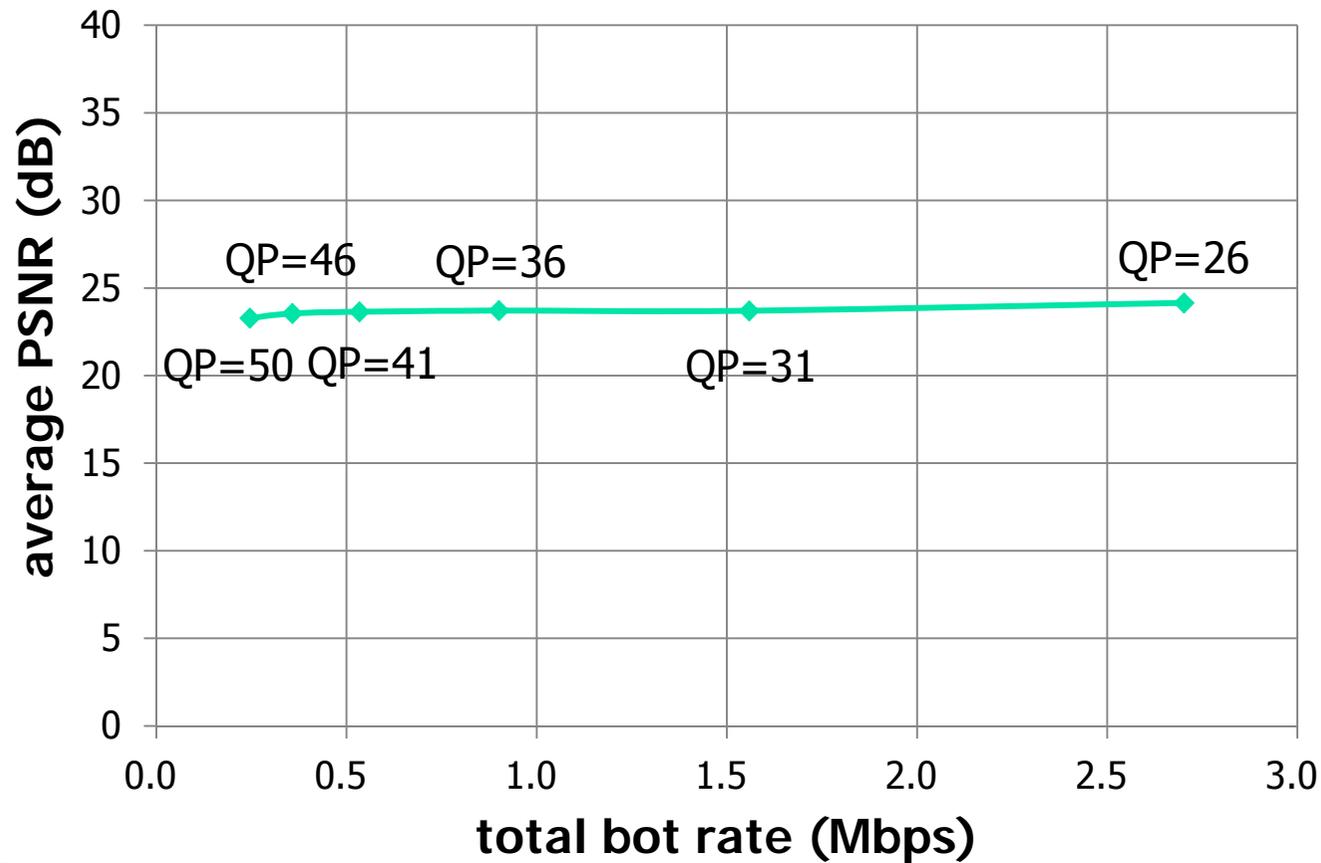
圧縮 (QP=50, 246Kbps)
1/97000圧縮

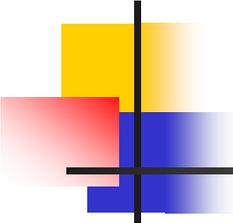


非圧縮 (23.9Gbps)

ホログラフィ像のPSNR対全ビットレート

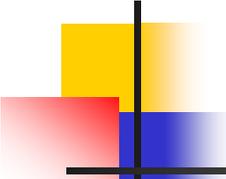
- 電子ホログラフィ再生映像のPSNRは、圧縮率によらず殆ど変化なし[20]
- SNの基準：非圧縮の電子ホログラフィ像の写真データ





結論

- 多視点映像と奥行マップを圧縮伝送して受信側でホログラム生成を行う電子ホログラフィTV システムを提案した.
- 提案方法は, ホログラムデータの直接伝送に比べて, 伝送すべきデータ量を1/97,000 まで削減出来た.
- 圧縮雑音が, ホログラム再生雑音(主にスペckル)より6dB以上小さい場合は, ホログラム再生雑音に圧縮雑音がマスクされたと思われる.
- 今後の課題は, スペckル低減, 実時間化, 大画面化等である.



参考文献

- [1] H. Yoshikawa and J. Tamai, "Holographic image compression by motion picture coding," Proc. SPIE 2652, 2-9 (1996).
- [2] A. Shortt, T. J. Naughton, and B. Javidi, "Compression of digital holograms of three-dimensional objects using wavelets," Opt. Express 14(7), 2625-2630 (2006).
- [3] E. Darakis and T. J. Naughton, "Compression of digital hologram sequences using MPEG-4," Proc. SPIE 7358, 735811 (2009).
- [4] Le Thanh Bang, Zulfiqar Ali, Pham Duc Quang, Jae-Hyeung Park, and Nam Kim, "Compression of digital hologram for three-dimensional object using Wavelet-Bandelets transform," Optics Express, Vol. 19, Issue 9, pp. 8019-8031 (2011).
- [5] JTC3V-C1003 | ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/N13342, "3D-AVC Test Model 5" (2013).
- [6] Z.J. Yang, F. Chen, J. Zhao and H.W. Zhao, "A novel camera calibration method based on genetic algorithm", 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2008. ICIEA, 2222 - 2227 (2008).
- [7] F. Shao, G. Jiang, Z. Jiang, M. Yu, W. Liu and X. Chen, "New multi-view image color correction method with karhunen- loeve transform", 8th International Conference on Signal Processing, 2 (2006)
- [8] R. Lange and P. Seitz, "Solid-state time-of-flight range camera", IEEE Journal of Quantum Electronics, 37(3), 390 - 397 (2001)
- [9] J. Smisek, M. Jancosek and T. Pajdla, "3D with Kinect", IEEE International Conference on Computer Vision Workshops (ICCV Workshops), 1154 - 1160 (2011)
- [10] LT. Sach, K. Atsuta, K. Hamamoto and S. Kondo, "A Robust Stereo Matching Method for Low Texture Stereo Images", International Conference on Computing and Communication Technologies, RIVF '09, 1-8 (2009).
- [11] F.Pitie, "Using One Graph-Cut to Fuse Multiple Candidate Maps in Depth Estimation", Conference for Visual Media Production, CVMP '09, 205 - 212 (2009).
- [12] SB. Lee, KJ. Oh and YS. Ho, "Segment-Based Multi-View Depth Map Estimation Using Belief Propagation from Dense Multi-View Video", 3DTV Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video, 193 - 196 (2008).
- [13] T. Senoh, K. Yamamoto, R. Oi and T. Kurita, "Adaptive Depth Estimation for Multi-view Images", Proc. of Workshop on Picture Coding and Image Processing, PCSJ2010/IMPS2010, 143-144 (2010).
- [14] T. Senoh, K. Yamamoto, R. Oi, Y. Ichihashi, T. Kurita, "Simple Multi-View Coding with Depth Map", Proc. of 3DSA2012, S6-1, 223-227 (2012).
- [15] T. Senoh, K. Yamamoto, R. Oi, T. Mishina and M. Okui, "Computer Generated Electronic Holography of Natural Scene from 2D Multi-view Images and Depth Map", Proc of 2nd International Symposium on Universal Communication, 126-133 (2008).
- [16] T. Senoh, T. Mishina, K. Yamamoto, R. Oi and T. Kurita, "Viewing-Zone-Angle-Expanded Color Electronic Holography System Using Ultra-High-Definition Liquid-Crystal Displays With Undesirable Light Elimination", IEEE JDT, 7(7), 382-390 (2011).
- [17] T. Senoh, K. Yamamoto, R. Oi, Y. Ichihashi and T. Kurita, "Image Quality Improvement for Full-color Viewing-Zone-Angle-Expanded Electronic Holography System", Proc. of 3DSA2011, S6-1(Invited Paper), 191-194 (2011).
- [18] T. Senoh, Y. Ichihashi, R. Oi, H. Sasaki, K. Yamamoto, "Study of a Holographic TV System Based on Multi-View Images and Depth Maps", Proc. of SPIE 2013 Photonics West, 8644-10,1-15 (2013).
- [19] <http://www.tanimoto.nuee.nagoya-u.ac.jp/>
- [20] 妹尾, 市橋, 佐々木, 山本, "多視点映像と奥行マップ符号化と電子ホログラフィ再生", 3次元画像コンファレンス2013, 3-1, pp.41-44, 2013