

ReflexHMDにおける空間歪みの評価

An evaluation of the ReflexHMD's spacial distortion

石田謙次¹⁾, 木島竜吾²⁾

Kenji ISHIDA and Ryugo KIJIMA

1) 岐阜大学大学院 工学研究科 応用情報学専攻, 2) 岐阜大学 工学部
(〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, {k02ishida, kijima}@vsl.gifu-u.ac.jp)

Abstract : In this paper, the spacial distortion generated by Reflex HMD is evaluated and the nature of it is discussed. The static, and the dynamic distortion as well as the distortion on the image plane(2D) and that in the 3D space by stereoscopy is evaluated and compared each other.

Key Words: Reflex HMD, Spherical Rendering, Dynamic Distortion, Static Distortion, Image Ex-traction, Image shift

1. はじめに

VR¹⁾, MR²⁾は, 計算機によって生成される仮想的な環境を用いて, 人間に対し視覚, 触覚等の感覚を提示する技術のことである. それらの分野における視覚提示デバイスの一つとして, HMD³⁾が挙げられる.

HMDを用いたVRシステムでは, 頭部運動が描画出力に反映されるまでの時間遅れが大きな問題となる. 通常のHMDを用いたVRシステムは, 計測, 通信, カーネル, 描画等の各要素が一つの同ループ内に存在することによりシステムを構築している. それらの各要素は, その処理における時間の遅延を持っているが, 通常無視できるほど小さい. しかし, 各要素が同ループ内に存在するため, そのループの遅延は各要素の遅延の総和となり, 無視できない量, つまり時間遅れとなって表れる.

1.1 Reflex HMD

HMDの問題点である時間遅れを解消するため, Reflex HMDが開発されている[1]. 通常のVRシステムが, 一つのループしか持たないのに対し, Reflex HMDでは, 人間の前庭動眼反射⁴⁾の仕組みに対応する周期が短い別ループを, HMDに付加することにより, 頭部運動と描画のズレである時間遅れを解消している.

その原理は, 計算機がHMDの視野角よりも広い画像をHMDに入力し, HMDに搭載したジャイロセンサの計測値により視点方向を求め, HMD内部でその画像から視野部分を切り出し, 表示することにより時間遅れを抑えるものである. 主なReflex HMDの処理の流れの図を図1に示す.

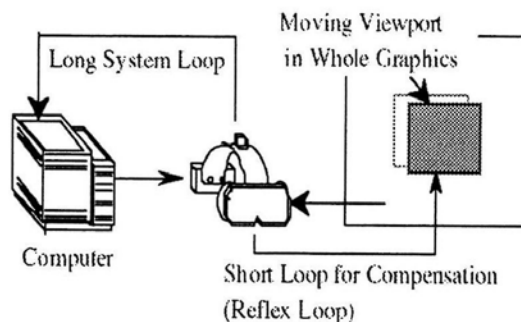


図1: Reflex HMDの処理の流れ

1.2 本研究の目的

Reflex HMDを用いることにより, 時間遅れ解消可能となるが, 本来されるべき表示と実際に表示に, 僅かではあるが歪みが生じてしまう. その主な原因は, Reflex HMDの特徴である画像切り出しによるものである.

頭部回転を行った際, Reflex HMDの表示は, 過去のある時点での頭部姿勢を反映した透視投影の一部である. しかし, 過去の透視投影は, 現在の頭部姿勢の視線方向に対し垂直でないため, 単に過去の透視投影の一部を切り出しただけでは, 現在の頭部姿勢を反映した透視投影とは, 異なる表示をすることになる. また, 頭部の回転速度が変化すると切り出す領域の位置も変化するため, 歪み量も同時に変化する. したがって, この歪みは動的な歪みと言える.

そこで本来平面である投影面を視点を中心とする半径1の単位球とする. すると, 投影面が視線方向に対し常に垂直となるため, 過去の透視投影の一部は現在の視線方向に対し近似的に垂直となる. これを球面投影と言い, 本研究では球面投影を用いたReflex HMDの有用性を, 投影面が

¹⁾Virtual Reality: 仮想現実感

²⁾Mixed Reality: 複合現実感

³⁾Head Mounted Display: 頭部搭載型ディスプレイ

⁴⁾人間の動作に対する頭部の加速度, 角速度を内耳前庭により検出し, 反射的な眼球運動を生じる仕組み

平面である平面投影と比較をすることにより評価を行う。

2. 評価

2.1 評価方法

評価として、単眼視を行った時と両眼視を行った時の2つの場合分けが必要と考えられる。単眼視の評価により横方向の歪みを、両眼視の評価により奥行き方向の歪みの評価を行う。

2.2 単眼視の評価

2.2.1 頭部未回転時における歪み量評価 (静的歪み量)

頭部未回転時における球面投影と平面投影との表示の変化を検証するため、平面投影に対する球面投影の局所拡大率を調べる。そのグラフを図2に示す。

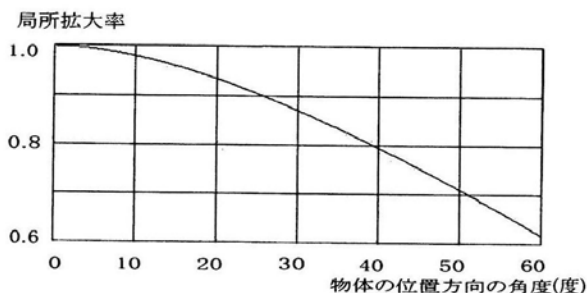


図2: 局所拡大率

視線に対する物体位置の角度が増加していくと、拡大率が低下していくのがわかる。これは、球面投影が常に歪みを保持していることを示しており、静的歪みといえる。

通常HMDに用いられる視野範囲は、水平片側視野角度が15度程度である。水平片側視野角度が15度程度である格子状に並んだ点群の球面投影結果を図3に示す。

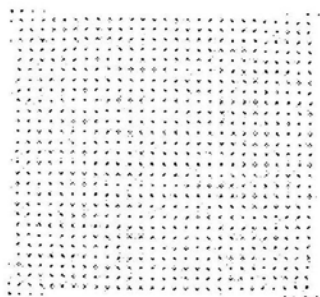


図3: 静的歪みの様子 (水平片側視野角15度)

中心部では、ほとんど歪みは見られず、端に歪みが僅かに見られる程度である。

2.2.2 頭部回転時における歪み量評価 (動的歪み量)

頭部回転を反映した透視投影から切り出された領域と、頭部回転前の透視投影から切り出された領域を比較する。比較部分を図4に示す。

頭部回転が15度の時の動的歪みの様子を、平面投影と球面投影を対比して示す。条件は、水平片側視野角度15度、左への頭部回転15度、格子状に並んだ点群の投影である。その図を図5に示す。

灰色の点は、頭部回転を反映した透視投影から切り出された物体の位置、つまり正しい位置である。黒点は、頭部

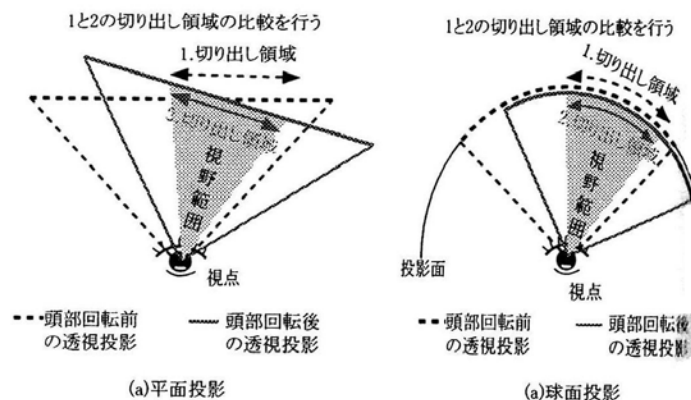


図4: (a) 平面投影の比較 (b) 球面投影の比較

- 頭部回転前の透視投影から切り出された物体の位置
- * 頭部回転後の透視投影から切り出された物体の位置(正しい位置)
- 動的歪み量

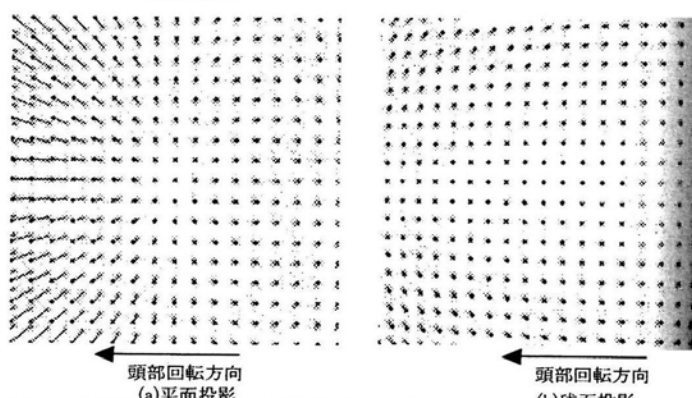


図5: 動的歪みの様子 (視野角度15度、左へ頭部回転15度、(a) 平面投影 (b) 球面投影)

回転前の透視投影から切り出された物体の位置である。それらを2つの点を結ぶ黒線は、動的歪み量を示している。

平面投影では、図左側に放射状に頭部回転方向への歪みが発生しており、図右側では、僅かに右方向に歪みが発生している。球面投影では、図左上側に右上方向に歪みが発生しており、図右側中央部では、歪みが無いが、上、下側は僅かに右方向の歪みが発生している。しかし、平面投影に比べその量は小さい。

2.2.3 歪み検証結果

平面投影と球面投影との動的、静的歪み量をまとめたグラフを図6に示す。

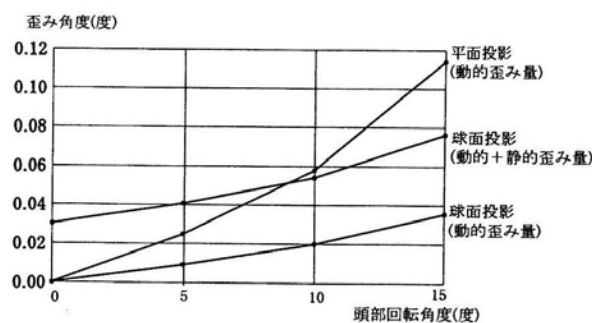


図6: 平面、球面投影の歪み量グラフ

横軸が頭部回転角度、縦軸が歪み角度である。歪み角度

とは、頭部回転前の切り出された物体の位置方向と、頭部回転後の切り出された物体の位置方向との角度のズレ量、つまり横方向ズレである。

グラフから、平面投影の動的歪みは、頭部回転角度が増加していくと、急激に歪み角度が大きくなるのがわかる。一方球面投影の動的歪みは、明らかに歪み角度が抑えられている。また、静的歪みも含めた場合、球面投影の歪みは、頭部回転角度が0度から9度程度の間、平面投影よりも歪み角度が大きくなっていることがわかる。

2.3 両眼視の評価

球面投影を用いて両眼視を行う時の様子をあらわす図を図7に示す。

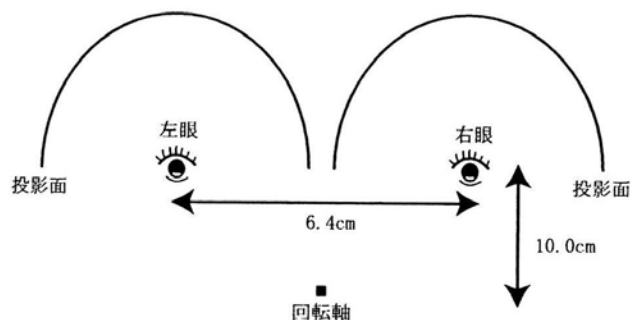
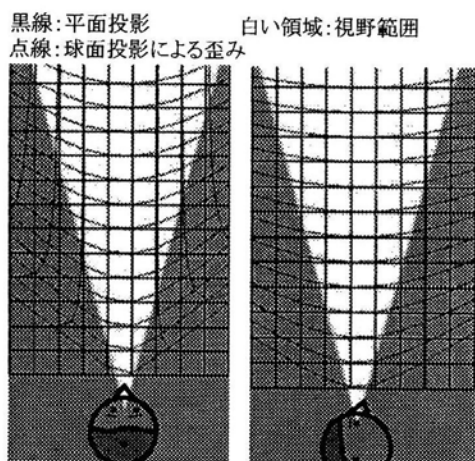


図7: 球面投影を用いた両眼視

両眼の距離を6.4cm、眼から頭部回転軸までの距離を10cmとした。左右の眼にそれぞれ球面投影面を置くことで、両眼視を実現する。

2.3.1 頭部未回転時における空間歪み

眼前に水平なメッシュ平面を置き、頭部未回転時における球面投影を用いた両眼視の空間歪みを真上から観察した様子と、眼前に垂直なメッシュ平面を置いたときの球面投影の空間歪みを真横を観察した様子を図8に示す。



(a) 真上から観察した様子 (b) 真横から観察した様子

図8: 頭部未回転時における空間歪み (a: 真上から観察した様子 b: 真横から観察した様子)

白色の領域は、片側視野範囲が15度の視野範囲、図の(a)の3つの点は上2つが左右の眼の位置、残りの1つが回転軸であり、図の(b)の2つの点は、上の点が眼の位置、下の点が回転軸である。

球面投影によって黒線のメッシュが、歪んだ点線のメッシュに大きく変形しているのが分かる。これは、左右の眼の球面投影によるそれぞれの表示歪みは僅かだが、その歪みによって両眼の視線がそれぞれ僅かに変化し、結果大きな空間歪みが発生したと考えられる。

2.3.2 頭部回転時における空間歪み

頭部回転を行う際、Reflex HMDによって画像のシフトが行われる。この画像のシフトは、過去の頭部姿勢を基に行っているため、頭部回転時は眼の位置が移動してしまい、目の位置のオフセットによる空間歪みが発生する。画像シフトと眼の位置のオフセットによる平面投影と球面投影の空間の歪みの様子と、頭部未回転時と比較した様子を真上から観察した図を図9に、真横から観察した図を図10に示す。頭部回転前と比較することにより、頭部回転時にどのような空間歪みが見られるかを検証する。

黒線: 頭部未回転時 白い領域: 視野範囲
点線: 頭部回転時

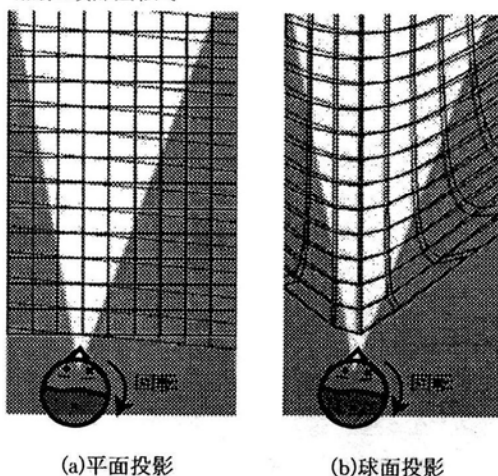


図9: 頭部回転時の空間歪み (真上から観察、右へ頭部回転5度、水平片側視野角度15度 a: 平面投影 b: 球面投影)

黒線: 頭部未回転時 白い領域: 視野範囲
点線: 頭部回転時

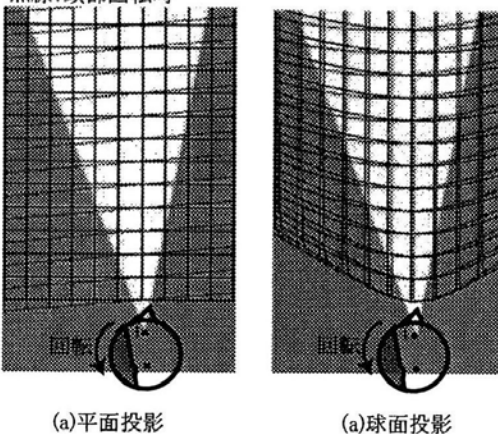


図10: 頭部回転時の空間歪み (真横から観察、上へ頭部回転5度、水平片側視野角度15度 a: 平面投影 b: 球面投影)

平面投影では、手前に伸びる直線に対して位置の変化はあまり見られないが、水平、垂直線は、全体的が均一に傾いているのが分かる。一方球面投影では、空間全体が横方向に僅かに移動しているのが分かる。これは、球面投影の

場合、静的歪みによって頭部回転中に空間の形状が変化しづらいたんことを示していると考えられる。

2.4 評価のまとめ

2.4.1 単眼視

単眼視における球面投影の有用性を検証するため、動的歪みと静的歪みを平面投影と比較することにより評価を行った。その結果から、球面投影は常に平面投影より動的歪みが少ないことが分かった。また静的歪みも含めると、頭部回転角度が0度から9度までの間、球面投影は平面投影より歪み量が大きくなる結果を得た。しかし、球面投影の静的歪みは、比較的小さく、影響は少ないと考えられる。また、静的歪みを与えることで動的歪みを抑えられる。したがって、球面投影は単眼視における画像歪みに対し有用である。

2.4.2 両眼視

Reflex HMD を用いた両眼視によって発生する空間歪みについての評価を行った。平面投影の場合、頭部未回転時では、空間歪みは発生しないが、球面投影の場合では、左右の眼の静的歪みのため、空間歪みが発生している。視野範囲中心部では、歪みが小さく、端部では歪みが大きくなっている。

頭部回転時では、画像シフトと眼の位置のオフセットによる空間歪みが発生する。平面投影では、視野範囲における正方形のメッシュが僅かに平行四辺形の形状に変化する程度の歪みが見られる。球面投影では、視野範囲の端では非常に大きな歪みが見られるが、視野範囲中心部では、比較的歪みは少ない。また、静的歪みを与えることで動的歪みを抑えられることが分かった。以上の事から、両眼視による空間歪みにおいて、球面投影と平面投影はどちらも長所短所があり一概にどちらが優れてると言う事は困難である。

3. まとめと今後の課題

本論文では、Reflex HMD における単眼視、両眼視を行った際の歪みの評価を行った。その結果、単眼視では、球面投影の有用性が明らかになった。しかし、両眼視では、平面、球面投影ともに性質の違った歪みが発生しており、今回の評価では、優劣を決定出来なかった。それは、両眼視における評価の基準の設定の難しさに有るためと思われる。

更なる評価として、今回の評価結果は、計算機を基にシミュレーションを行った結果であるため、Reflex HMD の被験者への装着実験を行う必要があると考えられる。

参考文献

- [1] 木島竜吾, 山田英治郎, 小鹿丈夫, " 前提反射機能を備えた HMD の開発 ", 日本バーチャルリアリティ学会第 5 回大会論文集, pp. 43-46, 2000.
- [2] 石田謙次, " Vertex Shader を用いた Reflex HMD における画像歪みの補正 ", 岐阜大学卒業論文, 2002
- [3] 柳原功治, " Reflex HMD による画像歪みの補正に関する研究 ", 岐阜大学卒業論文, 2001
- [4] Olano, Marc, Jon Cohen, Mark Mine, Gary Bishop, " Combatting Rendering Latency ", Proceedings of the

1995 Symposium on Interactive 3D Graphics, ACM SIGGRAPH, New York, 1995.

- [5] Regan, M., Pose, R., D., " Priority rendering with a virtual reality address recalculation pipeline ", Siggraph '94 computer graphics annual confseries, pp.155-62, ACM, 1994.
- [6] Wells, M.J., and Griffin, M.J., " Performance with Helmet-mounted Sights ", Inst of Sound and Vibration Research, TR 152, Univ. of Southampton, Southampton, England, UK.
- [7] 柳田康幸, 稲見昌彦, 舎官日章 " 適切なオブティカルフローを実現する視覚提示法の研究 (第 1 報)-HMD 装着時の頭部回転運動に伴う遅延の補償手法-", 日本 VR 学界第 2 回大会論文集, pp147-150, 1997
- [8] 木島竜吾, 山田英治郎, 小鹿丈夫, " Reflex HMD-前提反射機能を備えた HMD の開発-", 日本バーチャルリアリティ学会誌, 6, 2, VRSJ, 2001.