

# Reflex HMDの実装と評価

An implementation of ReflexHMD and its evaluation

加納浩行<sup>1)</sup>, 北林一良<sup>2)</sup>, 木島竜吾<sup>2)</sup>

Hiroyuki Kano, Kazuyoshi Kitabayashi, Ryugo Kijima

1) 岐阜大学工学研究科, 2) 岐阜大学工学部

(〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1, {k02kano,k03kitabayashi,kijima}@vsl.gifu-u.ac.jp)

**Abstract :** Head Mounted Display system suffers a loss from the time lag from human motion to display output. A novel HMD with time lag compensation is proposed and the preliminary prototype is constructed. The angular movement is measured by gyroscope in this HMD, modulates the driving signal for LCD panel, and shifts the viewport within the image supplied from the computer. The merit of this system is 1) the independence of computer platform, operating system, and application, 2) low cost and light weight, 3) does not cause any additional delay.

**Key Words:** Head Mounted Display(HMD), Time Delay Compensation, Sensor Fusion, Vestibular Reflex, Gyroscope

## 1. はじめに

### 1.1 時間遅れの影響

頭部搭載型ディスプレイ (HMD) は, Virtual Reality の歴史の当初から提案され, さまざまな実装を得ているが, 特に Head Coupled Display(HCD) と呼ばれる, 頭部の運動計測に応じた画像を提示する構成では, 未だ実用化を見ない. HCD の短所のうち特に, 頭部運動計測が出力に反映されるまでの時間遅れの影響が広く指摘されている. 時間遅れは, 使用者の運動指令, 運動感覚と, 得られる視覚提示の間に齟齬をもたらす, ひいては Motion Sickness 様の酔いをもたらす.

人間は, 人体内部の複数の帰還ループを用いて運動しているが, この帰還ループには, 周波数の低い (バンド幅の狭い) ループと高い (バンド幅の広い) ループがある. 周波数の低いループとは, 首の筋肉を動かすことにより頭部の運動が生じ, 眼球の向きとあわせて網膜像を生じるようなものである. また, 周波数の高いループとは, 頭部の加速度, 角加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もののことであり, 一般に前庭動眼反射と呼ばれるものである. 図1に通常の長いループと速い反射経路について示す.

### 1.2 Reflex HMD

現在の VR システムは周波数の低いループを構成するのみであり, 人間の動作と遅れを持つ描画出力との齟齬が, 感覚の整合性を失わせる. そこで, 前庭反射に相当する周波数の高い遅れ補償経路を付加するために, HMD の視野よりも広い領域をレンダリングしておき, その画像出力信号か

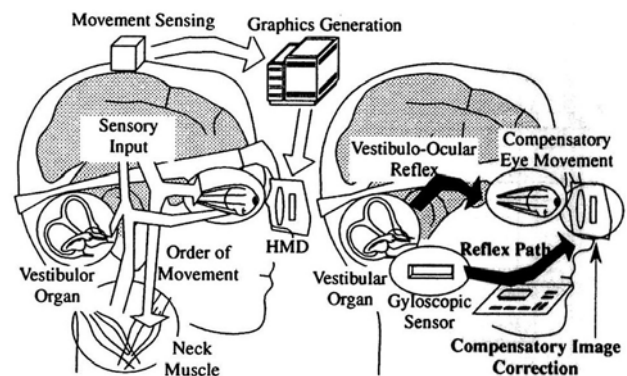


図1: (左) 通常の長いループ (右) 速い反射経路

ら, ジャイロセンサによる回転運動計測を直接的に用いて適切な視界を切り出す, Reflex HMD の報告がされている.

図2に Reflex HMD の動作原理を示す.

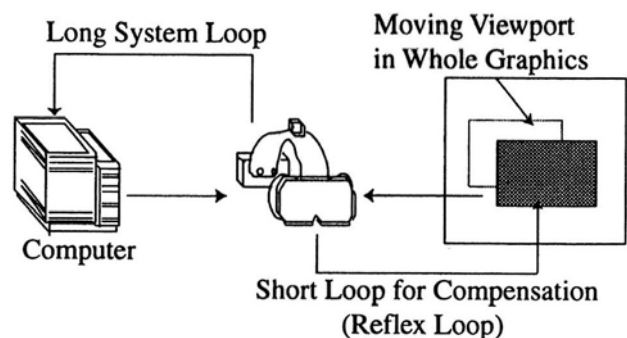


図2: Reflex HMD の動作原理

従来型の Reflex HMD は制御回路に, プログラムにより任

意のロジック回路を実装可能な素子である CPLD(Complex Programmable Logic Device) を用いているものの、基板や素子などが十分に小型化されておらず、頭部に装着することが困難である。本論文では、頭部に装着し、自由に運動が可能な、小型化された Reflex HMD の実装とその評価を行う。

## 2. 垂直方向の回転補償

従来の Reflex HMD は水平方向の回転補償のみが実装されていた。水平方向に広い領域をレンダリングし、そこから視野に当たる画像を切り出す、という Reflex HMD の動作を行うためには、LCD の制御信号のうち、水平クロックパルス及び水平スタートパルスの変調を行う必要がある。

そこで今回製作する Reflex HMD には従来の水平方向に加えて、垂直方向の回転補償を実装する。これは水平方向で行った変調方法を垂直方向の垂直クロックパルス及び垂直スタートパルスに対しても行う。LCD の制御信号は水平・垂直が酷似したものをを用いているため、水平方向用に製作した回路を垂直方向にも適用することが可能である。図 3 に水平/垂直方向の回転補償方法について示す。

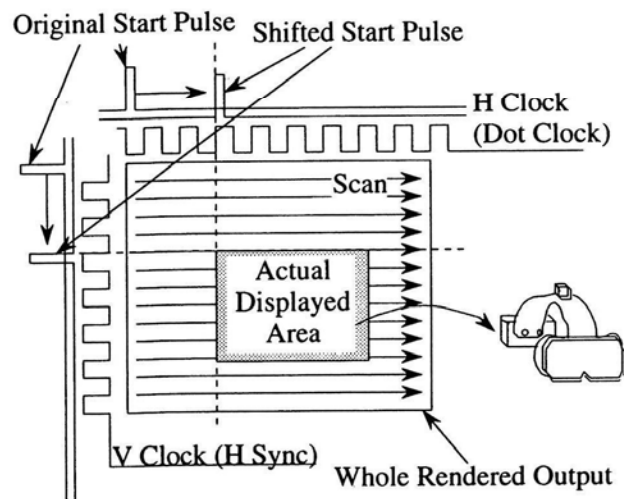


図 3: 水平/垂直方向の回転補償方法

## 3. システム構成

Reflex HMD は主に、ジャイロ部、制御部、LCD 駆動用 IC/LCD 部から構成されている。

ジャイロ部は PIC と 1 軸角速度を検出するジャイロセンサから構成されている。ジャイロセンサで検出された角速度は PIC により変調情報に変換され制御部へ送られる。PIC には小型パッケージである QFP タイプの PIC16F876(Microchip) を、ジャイロセンサには ENC-03J(村田製作所) を用いたユニット SK-GYLO(共立電子) を用いる。表 1 にジャイロセンサ ENC-03J の仕様を示す。

制御部はジャイロ部からの信号を元に、LCD 駆動用 IC からの各種制御信号を変調し、遅れ補償を行った後に LCD に信号を送る。CPLD も PIC 同様、QFP タイプの XC95144TQ100-7(3200 ゲート, Xilinx) を用いている。

LCD 駆動用 IC/LCD 部には Sony Glasstron(PLM-A55) を用いている。LCD には LCX009AKB(Sony, 800 × 255dot,

表 1: ジャイロセンサ ENC-03J の仕様

検出範囲	± 300[deg/sec]
感度	0.67[mV/deg/sec]
応答性	50Hz 以下]
外形寸法	15.5 x 8.0 x 4.3[mm]
重量	1.0[g 以下]

NTSC) を、ドライバには同社のチップセットを用いる。図 4 に Reflex HMD のシステム構成を示す。

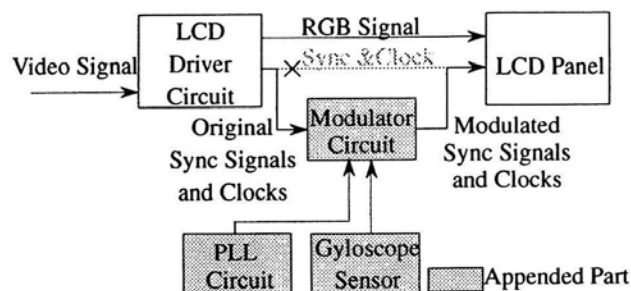


図 4: Reflex HMD のシステム構成

## 4. ジャイロ部の角速度-ずらし量変換処理

ジャイロ部は PIC と 2 つのジャイロセンサからなる。それぞれのジャイロセンサは 1 軸の回転角速度を出力する。ジャイロセンサから出力された角速度は、PIC の A/D ポートに入力される。PIC は入力された角速度から角度を算出し、予め入力されているシステム全体の遅れ時間分を遡り、制御部に補正値を出力する。出力された補正値は 8bit のデジタル値であり、この 1bit は LCD の 1 画素のずらし量に相当する。図 5 に PIC の動作を表すフローチャートを示す。

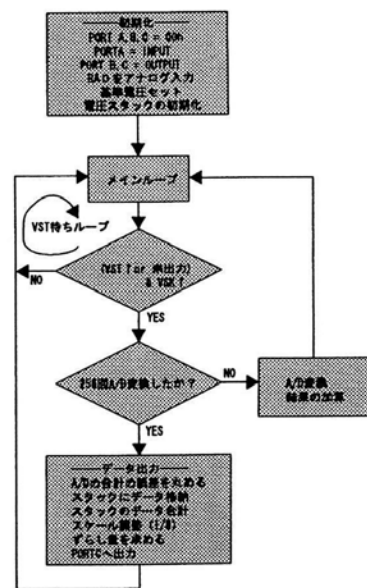


図 5: PIC のフローチャート

## 5. 制御部の変調処理

Reflex HMD は、「引き伸ばし」と「切り出し」と呼ばれる変調処理を行う。

### 5.1 引き伸ばし

引き伸ばしとは、予め PC によってレンダリングされた画像の制御信号のうち、水平・垂直クロックをオーバドライブさせることにより、HMD の視野よりも広い領域の画像を生成することである。本来のクロックとオーバドライブさせるクロックとの比が得られる画像の倍率であり、従来の Reflex HMD は約 1.2 倍程度の引き伸ばしが可能であった。この倍率が大きいほど広い領域の画像が得られ、より大きな回転補償、つまり速い回転運動に対応することが可能である。図 6 に引き伸ばし変調処理方法を示す。

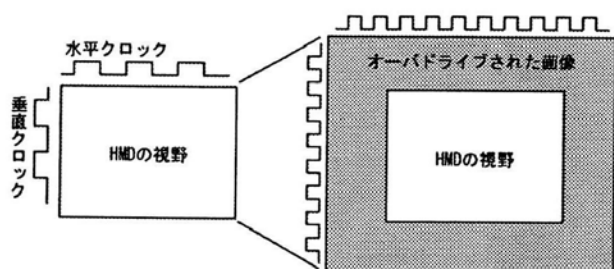


図 6: 引き伸ばし変調処理方法

### 5.2 切り出し

切り出しとは、ジャイロセンサによる角度データを元に、画像の水平・垂直スタートパルスをシフトすることで、任意の視野を得ることである。このシフトの応答速度は、人間の前庭動眼反射によるループ（約 16.6ms）に比べて十分に速く、ジャイロセンサの回転角度計測から切り出しまでにかかる時間は小さい（約 0.02ms）。図 7 に切り出し変調処理方法を示す。

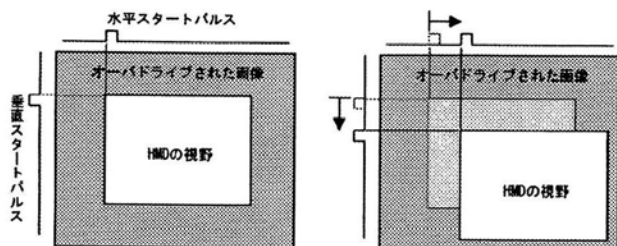


図 7: 引き伸ばし変調処理方法

## 6. 実装

### 6.1 表面実装の利点

従来の Reflex HMD は片面の汎用基板上に実装されていた。これらの配線作業は人の手で行っているため、各種素子は人の手で扱いやすい大きさのものをいざるをえない。結果、配線やパッケージ方法において小型化が行いづらく、本来の目的である頭部搭載が困難であった。

そこで従来の汎用片面基板から、専用設計の両面表面実装の基板に変更を行う。各種素子に表面実装用の小型のものを使うことで、本来の動作には不要な配線等の箇所を削るとともに、両面表面実装を行うことで、従来片側のみ

を用いていた基板の素子の実装密度を上げることが可能である。また、基板設計用 CAD を用いる。これは、人の手による配線ミスを発見しやすくすることで、回路のデバッグを容易にし、破損や誤動作を起こしにくくする。

また、素子自体の重量が軽くなると共に、導線パターンが基板上に配線されることで、部品や配線の剥離を防ぐ。これは、頭部搭載時の回転動作に対する安定性の向上につながる。なお、両面表面実装基板の設計には PCBE CAD を用いた。図 8 に基板の配線パターンを示す。

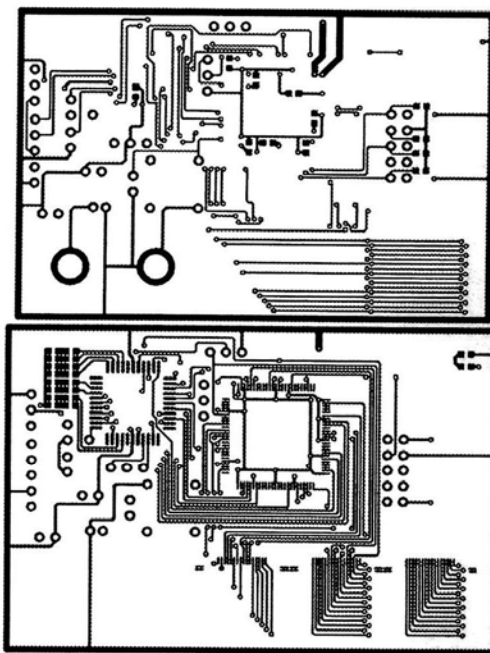


図 8: 配線パターン (上) 表面 (下) 裏面 (約 80x60mm)

### 6.2 表面実装用素子

表面実装は抵抗などに専用の素子を用いる。表面実装用の素子は貫通穴が不要なため、導線パターン上に直接ハンダ付けされる。今回は最も一般的なチップ型の 1608(1.6x0.8mm)と言われる大きさのものをを用いた。チップ型の素子には様々な種類があるが、従来の Reflex HMD 基板に使用されていた抵抗/コンデンサ/LED にこれを用いる。また、PIC や CPLD も表面実装用素子に変更した。従来の Reflex HMD に使用していたものは DIP(Dual Inline Package) や PLCC(Plastic Leaded Chip Carrier) でピン間 2.54mm というパッケージのものをを用いていた。これらは、素子の損傷時に交換が容易なため扱いやすいという一方で、サイズが大きく小型化は困難である。そこで今回は QFP(Quad Flat Package) でピン間 0.5mm や 0.8mm のものをを用いた。

CPLD に書き込まれる回路は、ハードウェア記述言語(HDL)/CAD/状態遷移図等、様々な方法で記述することが可能であるが、今回は HDL の中でも厳密な記述に定評がある VHDL をを用いた。また CPLD には、ISP(In System Programming)と呼ばれる方法を用いて回路を書き込む。

IC に書き込みを行う場合は、ROM ライタを用いる場合が一般的である。しかしこの方法は、基板から IC 自体を取り外す必要があるため、基板側にソケット等の実装が必要

であり、小型化を行うには不向きである。そこでこの ISP を用いると、基板に実装された状態での書き込みが可能となり、結果ソケット等が不要となる。VHDL による回路の記述、コンパイル、及びピンの配線や ISP による書き込みは WebPACK ISE(Xilinx) を用いて行った。

## 7. 議論、展望

図 9 に従来の基板と今回製作した基板を示す。従来のも

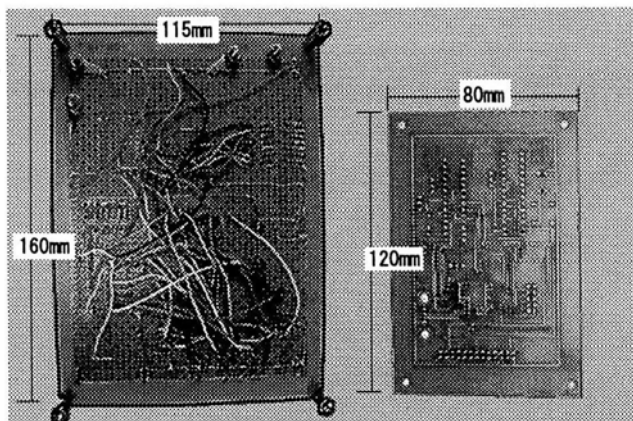


図 9：従来の基板と今回製作した基板

のに比べ基板自体が小型化された。また、各種素子の剥離などが起こりにくくなったため、頭部搭載して回転運動を行った時の安定性が向上した。更に、回路の電氣的な動作、例えば PIC や CPLD へのプログラムや回路の書き込み等の安定性も向上した。これは回路内でのハンダの不備などによる不安定な要素が減少したからだと考えられる。また、従来の Reflex HMD は水平方向の回転補償のみであったが、今回製作したものは垂直方向の回転補償も実装された。これにより、より自由な運動に対しても回転運動補償が可能となった。

Reflex HMD がより厳密に時間遅れ補償を行うための問題点として、システムのループにかかる時間の揺らぎが考えられる。「ジャイロセンサが計測を行う～LCD が映像を提示する」というループにかかる時間を考えた場合、フレーム毎にわずかな違い(揺らぎ)が存在する。この揺らぎの原因は、システム内のループと関係がある。Reflex HMD には、従来型 HMD が用いている位置/角度センサのループ、仮想空間の映像を計算している PC の OS のループ、およびその PC の映像計算プロセス自体のループ等、複数の計測/計算ループが存在している。これらのループの計測/計算のタイミングはフレーム毎に一定ではないため、そのずれが計測～画像提示までの時間にわずかな揺らぎを引き起こすと考えられる。

実験により、この揺らぎは 1 フレーム以下であることがわかっている。しかし現在の Reflex HMD は、1 フレーム以下の回転角度補償をすることが不可能である。これは、PIC がジャイロセンサからの角速度を 1 フレームごとに積分し、頭部回転に対する補償値を算出しているためである。

今後は、Reflex HMD が補償することが不可能な、遅れ

量が 1 フレーム以下の領域において、Reflex HMD の遅れ時間補償能力が人間の運動感覚の齟齬にどれほど効果があるのか、と言うことを実験により検証していく。

## 8. まとめ

従来の片面汎用基板を用いて水平方向の回転運動補償を実装した Reflex HMD を改良し、小型の素子と両面表面実装基板を用いて、水平/垂直方向の回転運動補償を実装した Reflex HMD を製作した。これにより、頭部回転運動と画像提示の齟齬の解消を行う HMD を、より自由度の高い頭部回転運動にも対応可能とした。

## 参考文献

- [1] Azuma, R., T., : A survey of augmented reality, Presence, vol.6, no.4, pp.355-385, MIT Press, 1997.
- [2] 木島竜吾, 山田英治郎, 小鹿丈夫 : -Reflex HMD-前庭反射機能を備えた HMD の開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 6, No.2, pp. 107-114, 2001.
- [3] 木島竜吾, 山田英治郎, 小鹿丈夫 : 前庭反射機能を備えた HMD の開発, 日本バーチャルリアリティ学会第 5 回大会論文誌, pp. 43-46, 2000.
- [4] Kijima, R., Ojika, T.: Reflex HMD to Compensate Lag and Correction of Derivative Deformation, International Conference on Virtual Reality 2002 (VR2002), pp. 172-179, IEEE, 2002.
- [5] Kijima, R., Yamada, E., Ojika, T. : A Development of Reflex HMD - HMD with Time Delay Compensation Capability -, Procs of International Symposium on Mixed Reality (ISMIR2001), pp.40-47, VRSJ, 2001
- [6] 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.
- [7] Burbidge, D., Murray, P., : Hardware Improvements To The Helmet Mounted Projector On the Visual Display Research Tool (VDRT) At The Naval Training Systems
- [8] 加納浩行, 竹内研太, 木島竜吾 : 前庭動眼反射機能を備えた時間遅れの補償のための Reflex HMD - 小型ハードウェアの実装 -, 日本バーチャルリアリティ学会第 7 回大会論文誌, pp.11-14, 2002.