

高精細タブレット端末を利用したスタンドアロン型ヘッドマウントディスプレイの開発

○野口 傑史*¹ 元池 遼*¹
青野 敏紀*¹ 平沢 岳人*²

キーワード：ヘッドマウントディスプレイ 拡張現実感 シングルカメラ立体視 3Dプリンタ 高速化 高精細

1. 研究背景と目的

ヘッドマウントディスプレイ(HMD)の普及や画像処理技術の向上に伴い、GoogleGlass^{注1}など、拡張現実感(Augmented Reality: AR)を応用したものが一般的にも普及し、注目度が高まっている。GoogleGlassのような透過型HMD^{注2}に対して、没入型HMD^{注3}というものがある。これはユーザーがデジタル環境を体験し、没入できるという利点があるが、周りの様子が見えないためARを利用することができない。没入型HMDの前面にカメラを取り付けた、カメラ付HMDを用いれば、ユーザーの目の代わりにカメラで画像を取得し、ARによる情報をオーバーレイしたものをディスプレイに映し出すことができる。これにより、ARによる情報と現実世界の情報が調和した、没入感の高いARが実現できると考えられる。

建築分野においては、作業教示関連などでAR用没入型HMDを利用している例⁴がある。しかし、HMDとコンピュータの間には映像出力用や電源供給用、外部カメラのケーブルなどが常時接続されている必要が生じるため、利用場所や作業場での移動範囲が制限されるという問題がある。解決法として、ノートパソコンをリュックに入れ、必要機器を全て身につけるという方法⁵もあるが、HMDからリュックへの配線が多く重量もあるため、取り回しが悪いという問題がある。

他方、スマートフォンやタブレット端末といった、いわゆるスマートデバイスの近年における進化は目覚しく、高性能化やディスプレイの高精細化、軽量化が進んでいる。HMDの仕組みは、小型のディスプレイなどに映し出した映像をレンズで拡大して見るという単純な仕組みのものもあり、HMDの映像表示部分にスマートデバイスを用いることも十分に考えられる。スマートデバイスは、それ自身がひとつのディスプレイ付のコンピュータとして完結しており、バッテリーも一体化しているため、種々のケーブルが伸びるということも無く行動が制限されることもない。そのため、スマートデバイスをHMDに利用すれば、ユーザーの移動を伴うARの作業教示やシミュレーションなどに適した没入型HMDが実現できると考えられる。

本研究ではスマートデバイスを用いたスタンドアロン型のAR用没入型HMD制作における留意点を挙げ、実際に試作した結果を報告するとともに、建築分野へのHMDの応用について考察する。

2. 研究手法

本研究では、近年のスマートデバイスの性能や市販されているHMDの構造などを調査し、どのような構成ならばスタンドアロン型のAR用没入型HMDの一部としてスマートデバイスを利用できるかについて考察する。スマートデバイスは性能のより良いものが次々と発売されているため、HMDにより適したスマートデバイスに取り替えてもHMDが成立するような構成案をハード面、ソフト面の両方から複合的に考え、その際の留意点を挙げる。

また、その留意点を考慮しスマートデバイスを用いたスタンドアロン型のAR用没入型HMDが実現できるかどうかを確かめるために、試作を行う。

3. ハードの構成

この章ではHMDを構成するレンズ、スマートデバイス、カメラの選定における留意点と、それらを収める筐体設計の際の留意点について述べる。

3.1. 光学系

HMDの性質上、眼球とディスプレイの距離はかなり近くなり、レンズ無しでは自然な距離感と大きさをもった光景を視認することは困難である。市販のHMDは複数のレンズやミラーを用いて精密な光学系を構成しているものから、魚眼レンズを1組だけ用いている単純なものまで様々である。いずれも、スマートデバイスの画面サイズや筐体の工作精度などと複合的に考えて実現可能な光学系を選定する必要がある。

3.2. スマートデバイス

HMDの没入感を決める要素のひとつに画面の精細さの指標であるdpi^{注4}があげられる。HMDの性質上、ユーザーはレンズを通して拡大された画面を見ることになる。dpiが低いとその表示の荒さが目立ち、没入が妨げられるため、dpiがなるべく高い端末の方が好ましい。また、dpiが高くなるに従って、サイズの大きい画像を処理する必要が生じるため、それに見合った性能の端末であることが好ましい。

また、全視野を覆うことのできる7~8インチ帯のスマートデバイスなどを1台だけ使い、ひとつのディスプレイを左右半分ずつ使う手法や、左右の目の前にそれぞれ4~5インチ帯の小型スマートデバイスなどを2台配置し、それぞれに左右の画像を表示する手法が考えられる。

3.3. カメラ

没入型 HMD において AR を実現するためにはスマートデバイスの前面にカメラが必要となる。スマートデバイスにはフロントカメラの付いているものが多い。フロントカメラの性能や位置によっては利用しづらい場合もあるため、外付けの USB カメラ等を別途組み込む手法も考えられる。

立体視を実現するために、HMD の左右それぞれに表示する映像には視差が必要である。ふたつのカメラで取得した映像をディスプレイに表示するという手法では自然な立体視用映像が得られるが、カメラ同士の同期が適切でないと左右の画像に時間的なずれが生じるため、正常に像を結ぶことができない。一方、ひとつのカメラから立体視用の左右の映像を生成する方法では同期の必要は無いが、ソフト面の開発により立体視用映像の作成が必要となる。

3.4. 筐体の設計

スマートデバイスやレンズを収めるために、筐体の設計が必要となる。目とレンズの距離など個人差の大きい部分では可動部を設けて融通が利くように設計する。

筐体と顔が接触する部分、特に鼻梁の部分は装着感に大きく影響する。また、筐体と顔の間に隙間があると、外部からの光が入ってしまい没入感低下の原因となるため注意して設計する。

スマートデバイスの進化は目覚ましく、性能のより高いものが次々と発売されることが予想される。スマートデバイスを取り換え、少々ソフト面の調整だけで、より高精度、高性能な HMD が実現できるように設計することで HMD の性能が相対的に低下するという事態が避けられる。また、スマートデバイスの取替えに対応していれば、普段別の用途で使っているスマートデバイスを一時的に HMD に利用することも出来る。

4. ソフトの構成

この章ではカメラから画像を取得、変換してスマートデバイスに表示する手順を説明する。

4.1. AR

左右の画像それぞれに対して AR による情報をオーバーレイする。本研究では試験的にマーカトラッキングによる AR を実装する。マーカトラッキングはマーカがカメラから常に見えていることが必要であり、ユーザーの行動範囲に制限はあるが、重畳精度が高い。

4.2. シングルカメラによる立体視

シングルカメラの場合、画像を立体視用のものに擬似的に変換する必要がある。カメラから取得して、AR により三次元モデルをオーバーレイした画像を、視差を考慮して、立体視用のふたつの画像に透視投影変換することで、あたかもそれぞれ左右の眼球の位置にあるカメラから取得したような画像が得られる。

4.3. 画像変換による光学系の補完

魚眼レンズを 1 組用いたものなど、単純な光学系を通してディスプレイを見ると、景色が歪んで見えることが多い。この歪みを画像の幾何学変換などによりソフト側で補完し、レンズ越しで自然に見えるようにする必要がある。

4.4. 画像の表示

加工した左右それぞれの画像をレンズの配置や筐体の設計などを考慮してディスプレイの適切な箇所に適切な大きさで表示する。

5. HMD の制作

本章では、これまでの留意点を元に、実際に HMD を制作した過程を紹介し、その結果を考察する。様々な制約や選択肢がある中で、完成された HMD を制作するには、様々なデバイスの選定や画像処理方法の決定が必要となる。

5.1. レンズ

本研究では入手性と確実性から、図 1 のような、Oculus RIFT^{注 5} に備え付けられている魚眼レンズを用いる。Oculus RIFT には厚さが違う 2 組のレンズが付属しているため、視力の違いや装着感などによって取り替えることが可能となる。



図 1 Oculus RIFT とそのレンズ

5.2. スマートデバイスの選定

スマートデバイスには ThinkPad8^{注 6} を選定した。WindowsOS のパソコンで開発を行なうため、WindowsOS を搭載したスマートデバイスから選定した。ThinkPad8 はそのラインナップの中でも高精細な画像出力を可能としており、その他の性能も良いため、今回の研究では試験的にこのスマートデバイスを使用する。

5.3. カメラ

ThinkPad8 付属のフロントカメラは筐体の隅に付いており、HMD のディスプレイとして顔の前にタブレット端末を配置したときにカメラの視点と肉眼による本来の視点が一致しないため、カメラを通して見た外の様子が、不自然に感じられる。そのため本研究では外付け USB ウェブカメラである Logicool 社製 C930e を HMD 前面の目線高さの部分に取り付けるようにした。

5.4. 画像変換

コンピュータビジョン向けライブラリである OpenCV とコンピュータグラフィックス向けライブラリである OpenGL を用いて、画像変換処理を行なうソフトを開発した。

図2はシングルカメラから取得した未処理の画像である。

図3は取得した画像にARにより三次元モデルをオーバーレイした画像である。

図4は三次元モデルが表示された画像を、立体視用に視差のある左右の画像に変換したものである。

図5は立体視用の画像を魚眼レンズによる歪みを考慮して、それぞれ樽型に変換したものである。



図2 シングルカメラから取得した画像

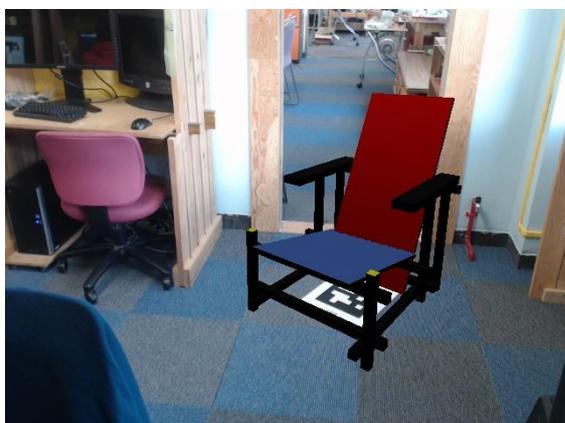


図3 ARにより三次元モデルをオーバーレイした画像

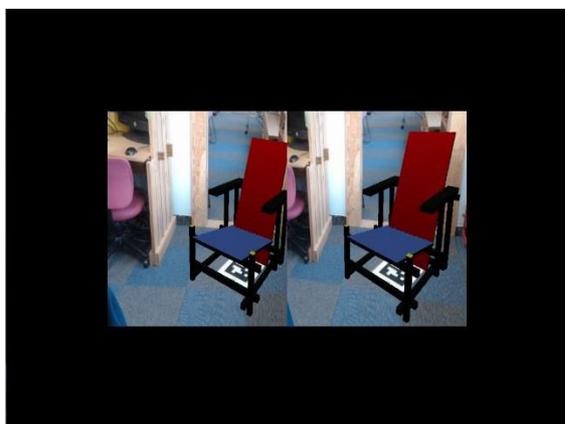


図4 立体視用の画像

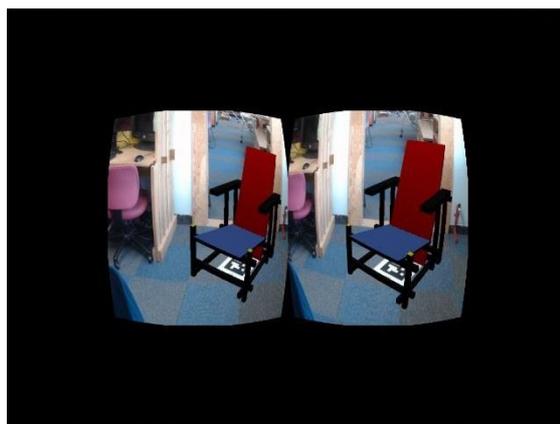


図5 補完用に歪ませた画像

5.5. 筐体の設計と出力

筐体の設計には、パラメトリックな形状変更が可能である点から ArchiCAD16^{註7}を用いた。ディスプレイからレンズまでの最適な距離は個人差が大きいと3段階に調節が可能とした。また、一般的な8インチ帯のスマートデバイスの大きさを調査した結果から、高さ、幅、厚さ、それぞれ最大寸法のものを取り入れることができるように約225x136 x 11mmに設計し、スペーサーをかませることでスマートデバイスの差し替えが可能な設計にした。

部品の造形には、卓上3Dプリンタである Replicator 2X^{註8}を利用した。Replicator 2Xは、造形テーブルの大きさから出力サイズが限られており、筐体の一体出力は出来ない。そのため、筐体を複数の部品に分けて出力した。筐体にはある程度の強度が必要とされるため、部品の接合部に無理な力がかからないように設計した。

また、部品同士の噛み合わせが悪いと、HMD内に外部の光が入り、没入感が低下してしまう原因となるため、部品の接合部に注意して設計した。図6は部品ごとに別れた設計データである。

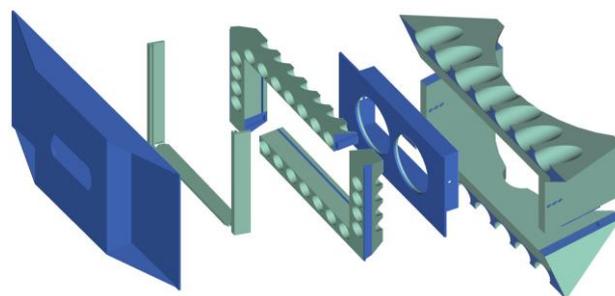


図6 筐体の設計データ

5.6. 結果

これらのものを組み合わせてできたHMDの外観が図6、図7である。図8は装着した様子である。

装着感は悪くないが、頭部にThinkPad8の重さを直に感じ、大きい動作をするとHMDがずれ落ちてしまった。ThinkPad8は、8インチ帯のスマートデバイスの中では軽量ではあるが、より軽量の構成にする必要があると思われる。

る。また、顔と HMD を結ぶバンドの改良など、重さを感じさせない工夫が必要であると感じた。

カメラの性能上、毎秒 30 フレームの画像を取得できるが、ディスプレイに映し出されるのは毎秒 14 フレーム前後となった。同じプログラムをデスクトップパソコンで実行すると毎秒 30 フレームをマークすることから、スマートデバイスの性能による問題で画像処理に遅れが生じていると考えられる。高速化には、より高性能なスマートデバイスに差し替えれば対応できると考えられる。

フレームレートの低いという問題から、多少の遅延が感じられるものの、周りの様子が立体的で自然に映し出されており、AR も実現できていることが確認できた。



図 6 HMD の外観(1)



図 7 HMD の外観(2)



図 8 装着の様子

6. 建築への応用

従来の HMD とは異なり、行動範囲や場所の制限がなく、屋内でユーザーの自由な移動を伴うシミュレーションを行なう、屋外で施工途中の建築物に対し、施工後の様子を確認するといった利用が考えられる。

しかし、本研究で開発したシステムではカメラが画像を取得してからディスプレイへの表示まで遅延があり、安全性に問題がある。建築現場内など、安全性が確認できない場所での本研究で制作した HMD を装着したままの作業は難しいと考えられる。

7. まとめ

スマートデバイスの性能の進化は目覚ましい。本研究による HMD の構成であれば、より性能が高く、より HMD に適したスマートデバイスが発売された際に、必要に応じて差し替え、ソフト面を微調整するだけで対応できる。また、HMD 制作に対して、優先すべき項目によっては小型スマートデバイスを 2 台利用する、あるいは画像取得用のカメラを 2 台利用するなど、本研究で制作した HMD とは違った構成になることも考えられるが、HMD 制作の流れとしては同じであるため、様々な構成に対応できる。

[脚注]

注1 Google 社が開発しているメガネ型の透過型 HMD。

注2 半透明のディスプレイを用いたもの、単眼のみに映像を映すものなど、周りの様子が直接視認できるタイプの HMD を指す。

注3 目の前を全て覆って外部の情報を遮断し、内部のディスプレイに映像を映し出すタイプの HMD を指す。

注4 dots per inch の略。1 インチあたりの画素数を表す単位。

注5 Oculus VR 社製のバーチャルリアリティ向け没入型 HMD。

注6 Lenovo 社製のタブレット端末。OS: Windows8.1, ディスプレイ: 8.3 インチ(1920x1200), 重量: 約 430g, 本体寸法: 約 224.3x132x8.8mm。

注7 GRAPHISOFT 社製の建築向け三次元 CAD。

注8 MakerBot 社製の熱溶解積層型卓上 3D プリンタ。造形可能範囲は 246x152x155mm。

[参考文献]

- 1) 野口傑史, 他 4 名: 拡張現実感を用いた模型製作支援システムに関する研究, 日本建築学会大会(近畿)学術講演会梗概集, A-2, pp47-48, 2014.9.
- 2) 中林拓馬, 他 2 名: 拡張現実感と模型を用いた建築設計用ツールの開発, 日本建築学会技術報告集, 第 17 巻第 37 号, pp. 1053-1056, 2011. 10.

*1 千葉大学工学研究科 博士前期過程

*2 千葉大学工学研究科 准教授