

モバイル 4DX：全方位の風を再現するウェアラブルデバイス

前田 竜徳^{1,a)} 山田 蒼平¹ 佐藤 僚太¹ Dong Hae Lim¹ Sha Xuanmeng¹

概要：最近の映画館や VR 技術には、コンテンツへの没入感を高める 4DX 機能が存在する。しかし、コンテンツの風を再現する民生品において、前方以外の左右、後方から吹く風を再現したものは存在しない。そこで我々は全方位の風を再現可能な、首輪型のウェアラブルデバイスである「モバイル 4DX」を制作した。「モバイル 4DX」では始めに PC でコンテンツ内の風向き、タイミングを決定する。その後、それらをもとに風源の開放率を制御する。一人称視点の VR ゲーム・映像への没入感をさらに高めることが期待される。

1. はじめに

最近の映画館や VR 技術には、様々なシーンをリアルタイムで同じように体験できる 4DX (Dimensional EXperiences) 機能 [7] が存在する。4DX の要素は多岐にわたり、前後左右や上下に動くモーションシートや水や風、香りなど様々である。しかし、コンテンツの風を再現する民生品において、前方以外の左右、後方から吹く風を再現したものは存在しない。特に一人称視点の VR ゲーム・映像への没入感を高める上でこれは致命的である。VR でヨットを体験できるシミュレーターゲーム [4] がその最たる例だ。ヨットはあらゆる方向の風を帆で受けることにより進む。そのため、前方から吹く風のみ再現しても体験としては味気ない。その他にも、地上 200 メートルでの綱渡り VR ゲーム [8] が挙げられる。綱渡りでは前後よりも左右に力を加えた方がバランスを崩しやすい。そのため、高所を歩くプレイヤーに横風を感じさせることにより、更に恐怖を増幅させられるだろう。以上のことから我々は全方位の風を再現可能な、首輪型のウェアラブルデバイスである「モバイル 4DX」を制作した。

2. 在来研究

2.1 Vortex

「Vortex」[3] は家庭での 4DX 体験を目的として開発された設置型のデバイスである。映画等の映像、更にはネット対戦ゲーム等々、PC のモニターに表示される映像に対してであれば、Environmental Experience (EX) アルゴリ

ズムに基づき画面上に表示される気流や温度変化をリアルタイムで分析・認識して風を発生させる。加えて「Vortex」にはヒーターが内蔵されているので暖かい風、室温の風の 2 種類の風を送り出せる。

「Vortex」が設置型であるのに対して「モバイル 4DX」は装着型であるため、スペースの節約につながる。その他にも「Vortex」が椅子に座りながらの利用を前提とするのに対し、モバイル 4DX は立ちながら遊ぶ VR ゲームにも対応できる。

2.2 ZephVR

「ZephVR」[5] は VR 体験の没入感をさらに高めることを目的として開発された、臨場感のある風を起こせる VR ヘッドセット用アクセサリである。PSVR/Vive/Oculus に対応しており、空中飛行、銃弾被弾、ゴーストに襲われた時の感覚などをリアルに演出することができる。また、機械学習の使用により VR ゲームの風とモーションの音を自動的に認識することができる。

「ZephVR」が前方からの風のみを再現するのにに対して、モバイル 4DX では左右、後方を含めた全方位の風を再現できる。

3. システム構成

モバイル 4DX を利用したシステム構成図を図 1 に示す。まず、PC でコンテンツ内の風向を取得する。その後、取得した風向を Arduino[1] に伝え、Arduino がサーボモータ [6] を動かしてネックファンの風向を制御する。風を吹かすタイミングは PC で視覚情報と聴覚情報に同期される。

¹ 大阪大学情報科学研究科竹村研究室

^{a)} maeda.tatsunori@ist.osaka-u.ac.jp

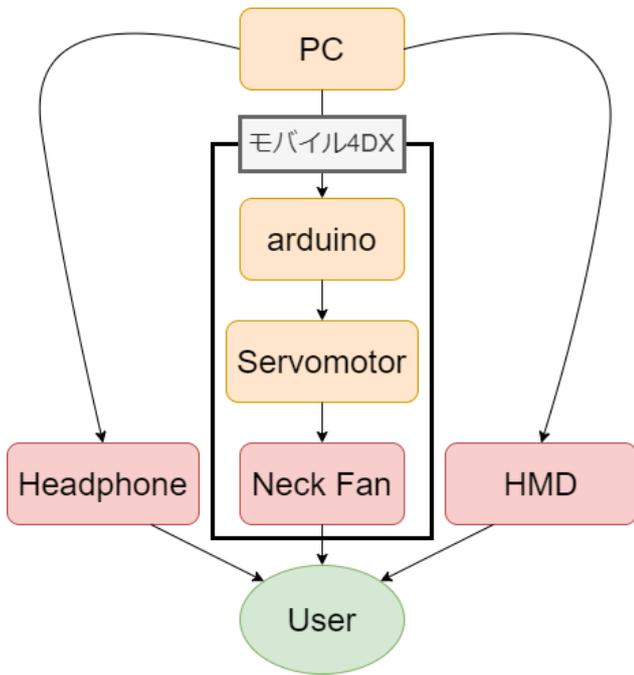


図 1 システム構成図



図 2 筐体としたネックファン

4. デバイスの筐体

「モバイル 4DX」は Bestore 社のネックファン [2] (図 2) に手を加えて作成した。ネックファンの詳細を以下に記す。

- 型番：WT-F41
- 定格電流：1A
- 定格容量：2400mAh
- 定格電圧：3.7V/4.44Wh

ネックファンをデバイスの筐体に採用した理由は 2 つある。1 つ目はネックファンが首輪型であることだ。首輪型だと 1 つのデバイスでユーザーへ吹く全方向の風を再現可能になる。2 つ目は装着可能であることだ。装着可能だと FPS のような一人称視点のゲームや映像に加えて、周囲を見渡す VR ゲームとも非常に相性がいい。

5. 風源の制御

風源（ふうげん）とは、ネックファンの送風口の集合のことである。モバイル 4DX では、ネックファンの送風口を 4 つの風源に分割した。これらの風源の開放率が高くなるほど風が強くなり、低くなるほど弱くなる。各風源の開放率は PC で決定され、PC から Arduino へ、Arduino からサーボモータへ伝達される。その開放率に応じてサーボモータを回転させ、開放する穴の数と穴の領域の開放割合を調整することで風源を制御する。具体例として、開放率が 50%、100% のときの様子をそれぞれ図 3 と図 4 に示す。



図 3 開放率 50%



図 4 開放率 100%

6. 風向き再現

各風源の開放率を調整することで風向きを再現する。その際に同時に 3 つ以上の風源を開放することはない。これは向きを風向き、大きさを風力とした風ベクトルで考えたときに、2 つの風源から得られる風の合成ベクトル、または 1 つの風源から得られる風ベクトルで 360 度どの方向からの風も表現できるためである。

開放率の決定方法を図 5 に示す。ユーザーの視点の左前方、左後方、右後方、右前方（赤線）には風源があり、風 P が視点と成す角 θ で吹いている。このときの各風源の開放率は和が 1 となるように、以下の計算式で決定する。ただし、0 以下の開放率は 0 に丸める。

- 左前方： $\cos\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right) \%$
- 左後方： $\cos\left(\frac{3\pi}{4} - \theta\right) \%$
- 右後方： $\cos\left(\frac{5\pi}{4} - \theta\right) \%$
- 右前方： $\cos\left(\frac{7\pi}{4} - \theta\right) \%$

7. 利用例

モバイル 4DX を活かせる簡単な VR ゲームを作成した。

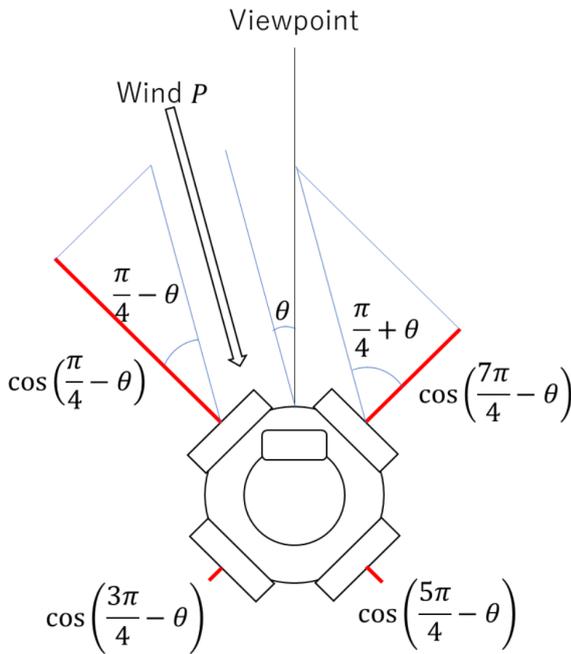


図 5 各風源の開放率の決定



図 6 ゲームプレイ時の様子

ゲームタイトルは「洞窟からの脱出」で、洞窟の奥深くでトロッコに乗ったプレイヤーが風を頼りに進路を決定し、洞窟からの脱出を目指す選択型脱出ゲームである。ゲームプレイ時の様子を図 6 に示す。図 6 は十字路に差し掛かったところで、ここで左、前、右の 3 つの進行方向のうち 1 つを選択する。それら選択肢のうち風を感じる進行方向が正解の道である。

このゲームは実際に夏や冬の洞窟にて生じる風を参考にしている [9], [10]。プレイ途中には落石やコウモリの通過などの風を体感できるイベントも発生する。

8. 制約

モバイル 4DX は Unity 内のオブジェクトに組み込まれた風向きを取得し、対応する風をプレイヤーの首周りに再現する。そのため、あらかじめ風を起こすオブジェクトに風向きを設定しなければならない。

2 章で紹介した「Vortex」と「ZephVR」は、映像解析や機械学習を用いて映像に応じた風向きを取得することによ

り、この制約の克服に成功している。

9. おわりに

本稿では、全方位の風を再現する装着可能な 4DX デバイスである「モバイル 4DX」を紹介した。今後の展望として、映像解析と機械学習を組み合わせた風向きの決定方法により、ワールドに配置されるオブジェクトへの風向き設定の省略が期待される。筆者らは、この研究が一人称視点の VR ゲーム・映像への没入感をさらに高め、より良い体験になることを切に願う次第である。

謝辞 大阪大学の前田太郎教授、竹村治雄教授、古川正紘准教授、浦西友樹准教授にご鞭撻、ご指導を頂いたことを深謝する。また、TA の庄起希氏、西尾直樹氏に何度もアドバイスを頂戴したことを深謝する。

参考文献

- [1] Arduino: Arduino Hardware, Arduino (online), available from <https://www.arduino.cc/en/hardware> (accessed 2022-07-28).
- [2] Bestore: Bestore 首掛け扇風機 ネットクーラーハンズフリー, Bestore (オンライン), 入手先 <https://www.amazon.co.jp/dp/B094CYS3RB?tag=drone-wiki-22&linkCode=ogi&th=1&psc=1> (参照 2022-07-28).
- [3] FX, W.: Vortex - 4D Environmental Simulator, Whirlwind FX (online), available from <https://www.kickstarter.com/projects/whirlwindfx/vortex-4d-environmental-simulator> (accessed 2022-07-28).
- [4] MarineVerse: MarineVerse Cup, MarineVerse (online), available from <https://www.marineverse.com/marineverse-cup> (accessed 2022-07-30).
- [5] Team, T. W. L.: ZephVR - Real Wind for Virtual Reality, The Weasel Labs Team (online), available from <https://www.kickstarter.com/projects/1089532524/zephvr-real-wind-for-virtual-reality> (accessed 2022-07-28).
- [6] TowerPro: SG90 analog servo, TowerPro (online), available from <https://www.towerpro.com.tw/product/sg90-analog/> (accessed 2022-07-28).
- [7] スクリーン編集部: 今さら聞けない?4DX・MX4D ってなんだろう (知っておきたい映画館のこと), 近代映画社 (オンライン), 入手先 https://screenonline.jp/_ct/17375439 (参照 2022-07-30).
- [8] バンダイナムコアミュージックメント: 極限度胸試し高所恐怖 SHOW, バンダイナムコアミュージックメント (オンライン), 入手先 <https://bandainamco-am.co.jp/others/vrzone-portal/activity/koshokyohushow.html> (参照 2022-07-30).
- [9] 後藤 聡: 横穴探検技術, 日本洞窟学会 (オンライン), 入手先 <http://www.speleology.jp/caving/advance/advance.html> (参照 2022-07-30).
- [10] 大館どこでも博物館: 風穴現象のしくみ, 大館どこでも博物館 (オンライン), 入手先 <https://dokodemo.oodate.city/nagabashiri/attachment/02/> (参照 2022-07-28).