

視覚障害者向けリモコンデバイスの開発

松井大和^{*1}

指導教員：白石利夫^{*2}・ドウラゴ英理花^{*2}

Email: toshio_shiraishi@shotoku.ed.jp

*1: 聖徳学園高等学校データサイエンスコース2年

*2: 聖徳学園高等学校教員

◎Key Words 視覚障害者, Arduino, リモコン

1. はじめに

近年、家電のインターフェースがタッチパネル化やフラットデザイン化する中で、視覚障害者がボタンの物理的な位置や操作のフィードバックを把握できないなどの課題が生じている⁽¹⁾。加えて、内閣府が実施「生活のしづらさなどに関する調査」によると、全国の視覚障害者（身体障害者手帳所持者）は約31万2千人のうち、65歳以上（年齢不詳を含む）は22万人と全体の約7割（72.5%）を占めており、当事者の高齢化が顕著となっている⁽²⁾。

このような背景から、高齢の視覚障害者にとって、近年普及が進むスマートスピーカー等の最新機器は、初期設定やネットワーク接続、複雑な音声コマンドの記憶などを要するため、認知面および操作面での心理的抵抗が極めて高い。そのため、昔ながらの物理ボタンによる、設定不要で直感的な操作体系が強く求められている。視覚障害者であっても、防犯対策といった目的から、自力で室内の照明をコントロールしたいという需要は大きい。

現在、様々な障害者向け学習リモコンの開発が行われている。しかし、それらの多くは入力操作のしやすさに重点を置いており、現在の動作状況や操作後、機器が反応しているかなどの情報を得ることができるものは少ない。

そこで本研究では、視覚的な情報に頼らなくて簡単に操作できる入力方法と音・振動・光といった複数の感覚フィードバックによって状況を把握できる機能組み合わせ、視覚に課題がある人でも簡単に利用することができるデバイスの開発を行った。また、照度センサを用いて実際の部屋の明るさなどの情報も取得できるように配慮した。

2. システム概要及びハードウェア構成

本デバイスは、視覚障害者が直感的に照明を操作でき、感覚フィードバックにより、状況を確認することができる。

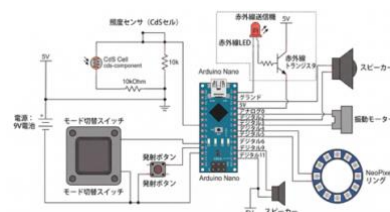


図1 システム構成図（回路図）

2.1 マイコンおよび入出力モジュール

制御用マイコンには、コードの書き込みおよびデバイスの小型化・省電力化に適したArduino Nanoを採用した。入力部にはモード切り替えおよび発射用のタクトスイッチを実装し、出力部には赤外線LEDおよび、空間の明暗変化をリアルタイムで数値化するための照度センサー（CdSセル）を搭載した。さらに、既存の家電リモコンの信号を受信するため、赤外線受信モジュールを実装した。

2.2 多感覚フィードバックモジュール

視覚・聴覚・触覚の3つの感覚をフィードバックするために、フルカラーLED（NeoPixelリング）、圧電スピーカ、および振動モーターを内蔵した。これにより、全盲のユーザーだけでなく、弱視のユーザーや周囲の介助者にもデバイスの状態を共有できる設計とした。



図2 開発した試作機

3. ソフトウェアとユーザーインターフェース

3.1 物理的なインターフェースの工夫

視覚情報に頼らずにボタンの役割を触覚のみで識別できるよう、操作の2つのボリュームスイッチは大きさが異なるものを用いた。そして大きいボリュームスイッチには、立体的なシールを貼り、より識別しやすい

ようにし、指先が触れた瞬間に識別しやすく、直感的に操作できるようにした。

電源については、現段階ではモバイルバッテリーを外部接続する一時的な給電システムを採用している。

これについては今後、デバイスに内蔵するなどの検討が必要である。

3.2 信号補完の仕組み

当初は未知の信号を記録・再現する学習機能を試みた。しかし、安価な受信モジュールやマイコンの性能限界からノイズが混入しやすく、送信する信号が不正確なものになり、家電が反応しないことがあるなどの問題があった。

これを解決するため、受信した信号から家電を特定し、ノイズを含む元のデータは破棄して、事前に用意した正しい信号（辞書データ（図4））に置き換えて送信する仕組みを構築した。（図3）

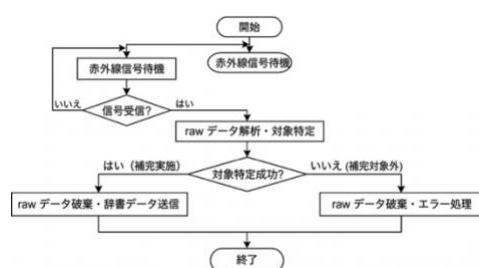


図3 信号処理の流れ

```
36 // * アイリスオーヤマ「黄金データ」(プリセット)
37 const uint16_t IRIS_FINAL_DATA[] = {
38     2050, 950, 5500, 950, 1550, 400, 1550, 450, 550, 450,
39     600, 450, 550, 450, 550, 450, 600, 400, 600, 400,
40     1600, 400, 600, 400, 600, 450, 550, 450, 600, 400,
41     550, 450, 550, 450, 1600, 400, 600, 400, 1600, 400,
42     600, 400, 600, 450, 550, 450, 550, 450, 550, 450,
43     600, 400, 600, 450, 550, 450, 600, 400, 600, 400,
44     600, 400, 550, 500, 550, 450, 600, 400, 600, 400,
45     1600, 400, 600, 400, 1600, 400, 1600, 400, 550, 450,
46     1600, 400, 1550, 450, 500
47 };
```

図4 プログラム内の辞書データ

学習した不安定な信号を使うのではなく、この綺麗な辞書データだけを代わりに送信することで、ハードウェア側の精度の限界をソフトウェアの力でカバーし、純正リモコンと同等の極めて安定した家電操作を行うことができる。

3.3 光と音によるフィードバック

操作モードごとにフルカラーLEDの発光色を変化させ、例えば照明点灯操作時は赤、消灯操作時は青といったように視覚的な情報を提示すると同時に、それぞれ異なる周波数の操作音出力されるようプログラムした。また、高輝度のLEDを採用することで、弱視のユーザーであっても色の変化を視認しやすくする工夫を施した。

また、本デバイスの光の配色においては、利用者の多くを占める高齢の弱視の人の視覚特性を考慮し、カラーユニバーサルデザインの観点に基づいて色彩設計を行った。

人間の水晶体は加齢や白内障の進行に伴って黄変し、特に短波長である青色系の光の透過率が著しく低下す

ることがある。これにより、高齢の弱視者は青色を暗く感じ、黄色や白との区別が困難になる傾向がある。そこで本研究では、高齢者の目でも色がハッキリと見分けやすく、注意を引きやすい長波長の赤や黄色を意図的に採用した。これにより、残存視力を持つユーザーが直感的に操作結果やデバイスの状態を識別できるようにした。

3.4 振動による合図

送信ボタンを押下した瞬間に、デバイス本体に内蔵されたモーターが振動するよう設計した。この物理的な振動伝達により、厚手の手袋を着用している場合や、加齢等で指先の触覚が低下している状態であっても、ボタンを押し込んだという感覚で操作を確認することができる。これにより、ユーザーはデバイスの操作に対して高い安心感を得ることができる。

3.5 照度センサーによるフィードバック

本システムの最大の特徴として、操作の結果として実際に照明が変化したかを検知するプログラムを開発した。設計段階において、照度変化の判定基準（閾値）を固定の数値で設定した場合、元の部屋の明るさによって未検知や誤検知が頻発することが判明した。

これを解決するため、部屋の元の明るさをセンサーで読み取り、その明るさに応じて判定の基準を自動で計算・調整するプログラムを導入した。

さらに、操作者の手や体がセンサを横切った際に生じる一時的な影を消灯と誤検知するリスクへの対策として、変化を検知してから0.5秒待つて再計測を行う処理を実装した³⁾。

これにより、事前の環境設定を必要としない堅牢な判定システムを構築した。

3.6 結果通知の音響最適化

照度センサーが照明の動作を確定検知した際の結果通知において、生活音の中で聞き取りやすさを向上させるため、ブザーの音を人間の耳に一番聞こえやすい高めの音（2000Hzから4000Hz付近）に設定した。成功時には聞き取りやすい高音のメロディの再生と緑色LEDの点滅が行われ、操作者に最終的な結果を通知する。

4. 検証と考察

4.1 実証実験の概要

本システムに実装した明るさの自動調整プログラムが、実生活の多様な環境光の下で正確に機能するかを検証するため、開発者およびその家族を含む3名を対象に実証実験を行った。同一の室内において朝、昼、夜の3つの時間帯を設定し、アイマスクを着用して視覚障害を模擬した被験者が天井照明への操作を各10回ずつ計90回実施した。なお、本検証は健常者がアイマスクを用いて視覚を遮断した模擬的なテストである。そのため、実際の視覚障害者を対象とした使いやすさの評価ではなく、朝昼夜といった異なる環境光の下で、本システムの自動調整プログラムが設計通りに

正しく照明変化を検知できるかという技術的な動作確認を主目的としている。



図7 アイマスクを着用した実証実験の様子

4.2 実験結果

実験の結果、表1及び図8に示す通り、実験環境の明るさが変化することによって判定精度に明確な差が生まれた。室内照明のみの外光がない夜間においては100%の成功判定を記録した。一方で、自然光が差し込む朝および昼の時間帯においては、環境光の強さに比例して一部で判定の取りこぼしが発生する割合が増加した。特に太陽光が直射する昼間においては成功率が76.7%まで低下し、未検知となる割合が全体の2割以上(23.3%)を占める傾向が視覚的にも確認された。

なお、全試行を通じて影などの一時的な誤検知をするエラーは0回であった。

表1 時間帯および部屋の状況別の実験結果

実験時間帯	部屋の状況	操作回数	成功判定回数
朝 (8:00)	カーテン越しの自然光と照明	30回	26回(86.7%)
昼 (13:00)	太陽光の直射等による強い自然光	30回	23回(76.7%)
夜 (20:00)	室内照明のみの外光なし環境	30回	30回(100%)

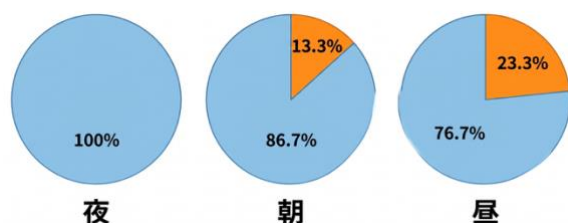


図8 時間帯別の操作成功率の比較
(青：成功、橙：判定取りこぼし)

4.3 考察

時間遅延フィルターの導入により、操作者自身が落とす影による誤検知は完全に防ぐことができ、プログラム処理による誤検知対策の有効性が実証された。

しかし、自然光が入り込む環境下ではアルゴリズムの限界が浮き彫りとなった。数万ルクスにも及ぶ強い太陽光が差し込む昼間において、照度センサの測定限界(ダイナミックレンジ)に達してしまい、数百ルクス程度の照明による微小なプラスの変化が相対的にノイズに埋もれてしまう。設定した元の明るさから30%変化するという判定基準は、元の環境光が強すぎる場合には計算上、到達が困難となることがデータによって示された。

5. 今後の課題

本研究では、視覚情報に頼らず直感的に操作と結果フィードバックが行えるスマートリモコンの開発を行った。一方で、開発と実験を通じて実用化に向け、以下のような課題が明確になった。

- 手探り操作時の無意識な動作によりうまく動作しないことである。例えば、センサーなどを触れてしまったり、覆ってしまうことでうまく動作できなくなることがあった。
- 今回は家族に目隠しをしてテストしてもらったため、障害を持つ当事者特有の課題を確認することができなかった。今後は、実際の視覚障害者を対象とした実地テストを行う必要がある。
- ハードウェアの物理的限界とコンセプトとの矛盾である。照度センサの測定限界の特性上、昼間の強い外光下では相対変化の検知することができない。
- 正確にデバイスを向けるための利用者がデバイスを機器に向ける必要がある。これは、視覚に頼らないという本機のコンセプトに矛盾している。このことを解消するため、現在の赤外線方式のリモコンの仕組みを見直すなどの検討が必要である。
- リモコンの学習機能の省力化である。本試作機は手動による事前データの定義と補正を必要であるが、これを誰でも簡単にを行い、利用しやすくする必要がある。

今後はこれらの課題に取り組み、より障害のある人が、快適に暮らせる環境の実現に貢献していきたい。

参考文献

- (1) 渡辺哲也, 山口俊光, 南谷和範: “視覚障害者の携帯電話・スマートフォン・タブレット・パソコン利用状況調査”, 電気通信普及財団 研究調査助成報告書.
https://niigata-u.repo.nii.ac.jp/record/33340/files/TAF_Report_H26.pdf
(2026年6月2日閲覧)。
- (2) 厚生労働省: “平成28年生活のしづらさなどに関する調査(全国在宅障害児・者等実態調査)”, p.10,
https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/dl/seikatsu_chousa_c_h28.pdf
(2026年6月14日閲覧)。
- (3) Arduino: “delay()”, Arduino Documentation,
<https://docs.arduino.cc/language-reference/en/functions/time/delay/>
(2026年6月10日閲覧)。