

生体情報による温冷感推定を用いた個別適合冷暖房デバイスの試作

高橋 一聡 (15414061)

ロペズ研究室

1. はじめに

現状の冷暖房システムは空気を媒介として身体を加温冷却するため、床や壁、窓への熱エネルギーの流出によるロスが大きい。身体を直接加温冷却することができれば、現状のシステムよりも省エネルギーな体温調節が実現できる。また、冷暖房システムが自動的に最適な加温冷却動作を行うことができれば、自分の意思で冷暖房操作が困難な小児や身体障害者に最適な温冷環境を提示することが可能になる。

本研究では、生体情報による温冷感推定に基づいて身体を直接加温冷却するデバイスを制御することを目的とした、個別冷暖房デバイス及びアプリケーションの試作を行う。

2. 関連研究

個別冷暖房デバイスの関連研究として、和田らの頸部の加温冷却が可能なウェアラブル局所冷暖房機の開発がある [1]。電流を流すことで片面から反対面に熱を移動させる性質を持つペルチェ素子を加温冷却部に用いており、加温動作時は 37~40.5℃、冷却動作時は 20~28℃の範囲で、計 14 段階の温度切換が可能である。冷却時には冷却面の反対面が発熱するため、水冷式の冷却法によって高い冷却性能を有するが、制御は手動であるほか、加温冷却動作の切換のためにハードウェアの組み換えが必要である。

製品化されているものでは、腕を加温冷却する Embr Labs 製の Embr Wave がある [2]。皮膚は急激な温度変化の方が変化を強く感じやすいため、温度を上下させて波状の温度変化を提示する。製品化前のプロトタイプは Wristify として発表されており、周辺温度を元に自動的に加温冷却する機能があったが、Embr Wave には実装されず、16 段階の手動制御のみとなった。加温冷却は本体表面のスイッチで容易に切換可能である。

3. 冷暖房デバイス及び制御システムの試作

本研究では、個別冷暖房デバイス(以下、デバイス)と、推定した温冷感に応じてデバイスを制御するアプリケーションの試作を行う。システム全体の動作は、デバイスで測定した心拍間隔(RRI)をアプリケーションに送信、アプリケーションに蓄積された RRI から HRV を計測し温冷感を推定、推定された温冷感に基づいて動作指示をデバイスに返す、デバイスで加温冷却動作を行う、といった処理を繰り返す。

デバイスの動作には Arduino Sri 製のマイコン開発ボードの Arduino Nano を使用する。加温冷却にはペルチェ素子を使用し、冷却のためにヒートシンクとファンを用いる。ペルチェ素子を温冷の両方で駆動するためには電流を逆向きに流す必要があるが、このためにモータの回転を制御するための IC である

モータドライバを用いる。ペルチェ素子の温度制御のために NTC サーミスタを用いて温度を測定する。温冷感推定のための RRI は脈波センサを用いて耳から取得する。後述の Android アプリケーションとの通信には Bluetooth シリアル通信を用いる。電源は最大 5V, 2A 出力のモバイルバッテリーから USB 経由で供給する。試作したデバイスの構成を図 1 に示す。

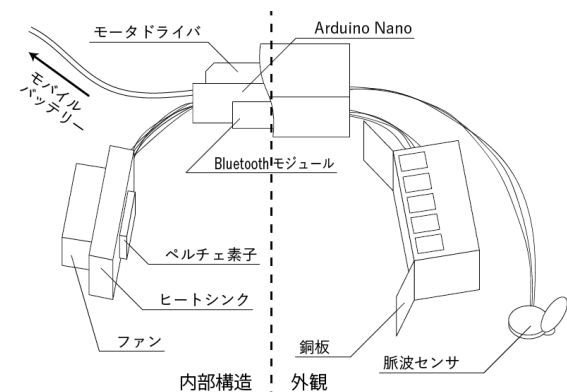


図1 試作したデバイスの構成

アプリケーションは Android スマートフォン上で実行する。温冷感の推定には Nkurikiyeyezu らの構築した推定アルゴリズムを用いる [3]。心拍変動(HRV)の指標である、Mean RR, RMSSD, SDSD, pNN25, VLF, サンプルエントロピーの 6 指標を用いた SVM 分類器による推定アルゴリズムを用いることで、最大 93.7%の精度で Cold, Neutral, Hot のいずれかの温冷感の推定が可能であることが確認されている。最新の 300 個の RRI から HRV を取得することで温冷感が推定され、新たに RRI を取得するたびに推定結果は更新される。推定結果が Cold なら加温, Neutral なら停止, Hot なら冷却の動作指示をデバイスに送信する(自動制御)。また、推定結果による自動の動作指示以外にも手動操作による動作指示も可能である(手動制御)。試作したアプリケーションを図 2 に示す。

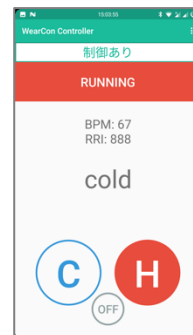


図2 試作したアプリケーション

2017（平成 29）年度卒業論文要旨

4. 試作デバイスの評価実験

加温冷却の限界温度や持続時間を確認するために、加温冷却それぞれの動作の方向に最大供給電圧である5Vを印加し2分間電流を流し続けたときの温度変化を計測した。ここでは、デバイス装着時と非装着時のそれぞれにおいて実施した。また、寒、暖、快適な3環境において温冷感推定を試験した。

また、試作したデバイス及びシステムの使用評価を確認するためにSD法と自由記述を用いた主観評価実験を行った。始めに被験者は座位安静状態でデバイスを装着し、RRIが300個蓄積され温冷感の推定が開始されたら以下に示す①②の動作を、被験者ごとにランダムな順番で行った。

- ① 【自動制御】推定結果に応じて自動的にデバイスの動作を制御する。1分間動作後、動作を停止し、アンケートに回答してもらう。
- ② 【手動制御】被験者の主観的な温冷感に応じて、被験者自身にデバイスの動作を制御してもらう。1分間動作後、動作を停止し、アンケートに回答してもらう。

5. 実験結果と考察

試験結果を図3に示す。理想的な冷暖房機能を実現するための装着時の温度範囲は20~40℃であるが、本デバイスにおいては28~38℃であった。また、動作中にモータドライバが非常に高温に発熱していた。動作開始から約25秒後以降は動作とは反対の温度変化を示した。温度範囲の向上にはより高電圧・大電流でペルチェ素子を駆動する必要があること、素子の過剰な発熱は破損の原因や動作不良を引き起こす可能性があることから、電源及びモータドライバ等のデバイス構成の変更を検討する必要があると考えられる。

Cold, Neutral, Hotの温冷感を得られる環境において温冷感推定アルゴリズムの試験を行ったが、試験者に対してはそれぞれ主観的な温冷感と等しい温冷感推定を得られた。

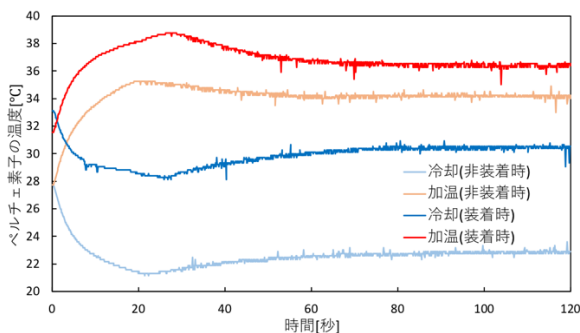


図3 電流を流し続けた時のペルチェ素子の温度変化

SD法による評価実験の測定結果を図4に、自由記述回答を表1に示す。動作強度が弱い、不十分といった回答より、前述したデバイスの改良が必要であると言える。一方で、SD法の結果で「やや~かなり実用的な」を示したことや使用したいといった回答が得られたことから、頸部に装着する冷暖房デバイスは有用であると言える。

加えて、現在の主観的な温冷感を7人の被験者全員がColdであると回答したが、内5人で主観的な温冷感とは異なる温冷感推定が得られた。そのためにSD法において自動制御時に「やや冷たい」という否定的な結果となったと考えられる。自由記述において、自動制御では否定的な、手動制御では肯定的な回答のみが得られたことから、現状の自動制御システムは効果的ではないと言える。本システムでは温冷感の変化によるデバイス制御の切替が非常に重要なため、使用者の温冷感の変化時における推定精度の向上が求められることが明らかになった。

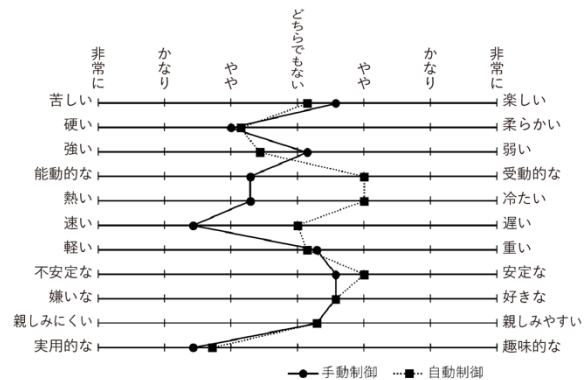


図4 被験者全員のSemantic Profileの平均

表1 自由記述回答結果

	自動制御	手動制御	全体
Pros	—	好き、心地よい、早い	軽い、苦にならない、使用したい
Cons	遅い、冷たい	—	変化に気づかなかつた、弱い、不十分

6. おわりに

頸部装着型個別冷暖房デバイスと、推定した温冷感に応じてデバイスを制御するアプリケーションの試作を行った。デバイス制御のための推定アルゴリズムは、推定精度の向上が必要であり、再検討の余地がある。今後は、冷暖房機能として十分な加温冷却動作を行うことができるよう、試作デバイスの改良を行いたい。

7. 参考文献

- [1] 和田将典, 保坂寛, 佐々木健, 板生清, “携帯型頸部冷却装置の開発,” 精密工学会誌, Vol. 82, No. 10, pp919-924, 2016.
- [2] Embr Labs, “Embr Wave,” <https://embrlabs.com/>.
- [3] K. N.Nkurikiyeyezu, Y. SUZUKI, G. Lopez, “Heart Rate Variability as a Predictive Biomarker of Thermal Comfort,” Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, pp1-13, 2017.