

要旨

振動にてユーザーに情報を呈示する Vibration Alert Interface (VAI) の警告設計について報告する。VAI を把持した場合、把持力によって振動感覚が異なることを確認し、把持力の変化による皮膚の変形量から振動周波数の補正量を導き補正することで、把持力によらない振動警告を可能とした。

1. はじめに

振動を用いた触角による情報呈示は情報を本人のみに伝えたい場合などに非常に有用であり、触覚呈示や触感に関する様々な研究が従来からなされている [1][2]。情報呈示の手段として視覚、聴覚を利用したものもあるが、視覚を利用した情報呈示はディスプレイのようにユーザの視野、視線方向を考慮しなければならない、聴覚を利用した場合にはユーザ本人だけでなく、近くにいる者にも情報が伝わり、他人の携帯電話の着信音のように、それが不必要な者にとっては不快感を伴う場合もある事に気をつけなければならない。

我々は振動によりユーザーに距離感覚を呈示するシステムの振動警告の設計を行っている [3][4]。ユーザーに距離を呈示する場合、ユーザは直感的にかつ正確に振動に含まれる情報を理解できることが望ましいが、ユーザーが VAI を把持している場合、振動から受ける距離感覚は把持力によって変化してしまう。

この把持力により振動の感じ方に違いが生じる原因が、主に振動を感じる機械受容器であるパチニ小体と皮膚との距離に関するのではないかと考えた。VAI から発せられた振動は皮膚を減衰しながら伝わり機械受容器で受容される。把持力を強くした場合は、皮膚の表面が骨と VAI で押される形となるので機械受容器と皮膚表面との距離は短くなり振動が減衰しにくくなる。把持力が弱い場合は、皮膚表面とパチニ小体間の距離は皮膚がほとんど変形しないために長くなるので機械受容器に振動が到達するまでに振動は減衰しやすくなる。我々は把持力を強くした際の皮膚の変形量から機械受容器であるパチニ小体までの距離を推定し、把持力が変化した時の振動周波数の補正量を求め、把持力によらない振動警告を可能にした。

2. 把持力による振動感覚の変化

VAI を振動により距離感覚を呈示する携帯型の障害物センサと想定した上で、把持力による振動感覚の変化を調べた。周波数を 6 パターン用意しておき、あらかじめ被験者には各周波数の振動を呈示し、各周波数に対応す

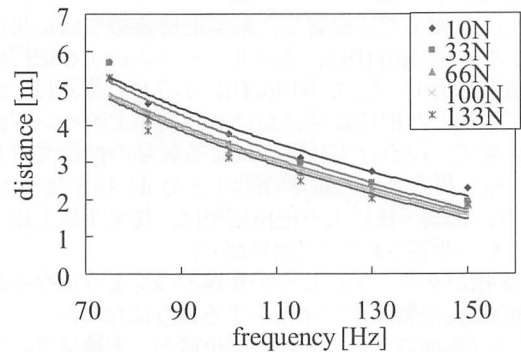


Fig. 1: change of recognition distance by grip force

る距離を 75Hz のとき 5.6m, 83Hz のとき 4.3m, 100Hz のとき 3.5m, 115Hz のとき 2.9m, 130Hz のとき 2.5m, 150Hz のとき 2.3m と教えてうえで実験を行った。

実験結果を Fig. 1 に示す。同じ周波数の振動でも把持力が強いほど振動を強く感じ、把持力を強くしていくほど、把持力による距離の変化が小さくなることが確認された。

3. 把持力による皮膚の変形

振動などの触覚情報は皮膚中に存在する機械受容器で受容される。VAI の振動は皮膚を減衰しながら伝わっていくが、把持力による皮膚の変形によって皮膚表面と機械受容器までの距離が変化し、振動が機械受容器に振動が到達した時の減衰の度合いが異なってくる。そこで、機械受容器の中でも主に振動に反応するパチニ小体に着目して、超音波エコーを用いて皮膚表面と骨までの距離を求めることで皮膚表面とパチニ小体間の距離を推定した。推定結果を Fig. 2 に示す。把持力の変化に対する皮膚表面とパチニ小体間の距離は非線形性を有しているのがわかる。

4. 皮膚の変形に基づく補正

ヒトが振動から感じる感覚量を E 、振動の振幅を I とすると感覚量は刺激量の対数に比例する *Fechiner's law*

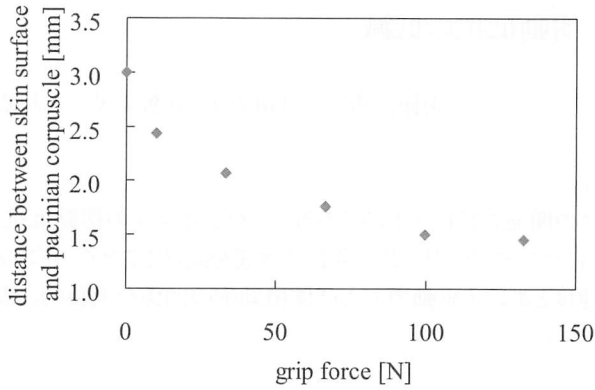


Fig. 2: estimate of distance between skin surface and pacinian corpuscle based on distance between skin surface and bone

より

$$E = K \log I + C \quad (1)$$

と表される。ここで K, C は定数である。把持力が変化したとき、それぞれの皮膚表面からパチニ小体までの距離を x_1, x_2 とすると

$$E_{x_1} = K \log I_{x_1} + C$$

$$E_{x_2} = K \log I_{x_2} + C$$

である。 $I = A \sin \omega t$ であり、パチニ小体までの距離によって $e^{-\lambda x}$ の減衰が起こるとすると

$$\begin{aligned} E_{d_1} - E_{d_2} &= K(\log I_{x_1} - \log I_{x_2}) \\ &= K \log \left(\frac{Ae^{-\lambda x_1} \sin \omega t}{Ae^{-\lambda x_2} \sin \omega t} \right) \\ &= K\lambda(x_2 - x_1) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\therefore E_{x_1} - E_{x_2} \propto x_2 - x_1 \quad (3)$$

と求めることができる。つまりこの (3) 式は同じ振動における把持力による感じ方の違いの差は、機械受容器であるパチニ小体と皮膚表面の距離の差に比例するということを表している。

(3) 式から感覚量 E を周波数に対応させる関数を g 、皮膚表面とパチニ小体までの距離 x を把持力に対応させる関数を h とし、周波数を f 、把持力を F とすると

$$\begin{aligned} E_{x_1} - E_{x_2} &= K\lambda(x_2 - x_1) \\ g(f) - g(f') &= K\lambda(h(F_2) - h(F_0)) \end{aligned} \quad (4)$$

となる。ここから周波数の補正量を求めると

$$\Delta f' = e^{\frac{K\lambda}{A}(h(F_2) - h(F_0)) + \ln f} \quad (5)$$

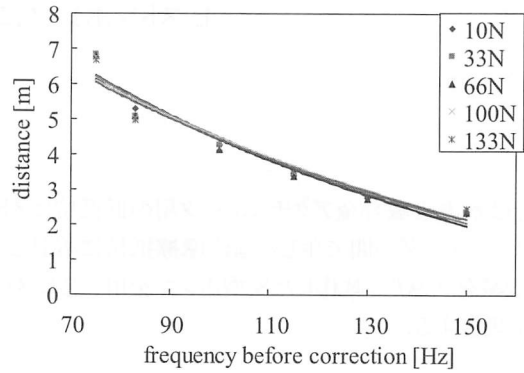


Fig. 3: correction result based on transformation of skin

となり、補正後の周波数 f' は

$$f = [75 \ 83 \ 100 \ 115 \ 130 \ 150]$$

の時

$$f' = f - \Delta f \quad (6)$$

と求まる。この補正量を基に補正実験を行った結果を Fig. 3 に示す。Fig. 1 では把持力により距離の変化が生じていたが、補正量を用いた実験では把持力による距離の変化はなく、認識距離を一定にすることができた。

5. 結論

把持力による振動感覚の変化を調査し、皮膚の変形に基づいた補正方法を提案した。把持力が強くなるにつれ、同じ振動でも強く感じる事が確認された。また、把持力の変化によって生じる皮膚の変形から、振動周波数の補正量を導き補正を行うことで、把持力によらない距離感覚を呈示することを可能とした。

参考文献

- [1] 丁, 金子, 東森, 松川: 指根元部圧迫時における指先触感度の向上, 計測自動制御学会論文集, Vol. XX, No. 0, 1/7 (2007)
- [2] 岡本, 昆陽, 嵯峨, 田所: 皮膚感覚呈示における時間遅れの影響調査と検知限の同定, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 183-186 (2007)
- [3] 森, 田中, 金子: 把持力に応じた携帯型障害物認識補助装置の警告設計, 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (2007)
- [4] 森, 田中, 金子: 触圧覚の順応性を考慮した携帯型障害物認識補助装置の警告設計, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (2008)