

1人N脚：ウェアラブルデバイスを用いた 二人三脚におけるパッシブ型力覚提示

深野 淳^{1,a)} 関 一輝^{1,b)} 重野 孝明^{1,c)} ウ チファン^{1,d)} チャン ハオヤン^{2,e)} 清川 清^{3,f)}

概要：「1人N脚」は、遠隔地にいる相手とでも二人三脚感を共有することが出来るウェアラブルデバイスである。本システムでは、ブレーキを用いたパッシブな力覚提示によって体験者の膝の可動域を制限することで、安全かつ低エネルギーでの脚部の動作制御を行う。また、複数デバイス間で可動域を互いに同期し合うことで二人三脚を再現し、息の合わない時の歩行のしにくさや、息が合った時の達成感や一体感を共有可能とする。

キーワード：二人三脚, ウェアラブルデバイス, パッシブ型力覚提示, 電磁クラッチ, テレプレゼンス

N-legged Race: three legged race simulated passive force feedback using wearable device

JUN FUKANO^{1,a)} KAZUTERU SEKI^{1,b)} TAKAAKI SHIGENO^{1,c)} QIFAN WU^{1,d)} ZHANG HAORYANG^{2,e)}
KIYOSHI KIYOKAWA^{3,f)}

Abstract: "N-legged Race" is a wearable device with which you can share the feeling of three legged race to other users remotely. In this system, user's leg motion is controlled safely at a low cost, by the passive force feedback using brake. What's more, the ranges of motion of plural devices are synchronized with each other, so it would be possible to share the difficulty of walking while plural users' movements are asynchronous, and the achievement after they succeed in making their motions synchronized.

Keywords: three legged race, wearable device, passive force feedback, electromagnetic clutch, telepresence

1. はじめに

二人三脚は日常生活において普通行うことがない行為であるが、子供の頃まで遊べば誰でも経験があり、足並みが

揃わない不快感、二人三脚を通じた一体感と達成感を思い出せる共通の体験である。

昨今、インターネットやソーシャルネットワークの普及で、いつでもどこでも誰とでも繋がっていられるようになった。しかし、画面越しの繋がりが強くなる一方で、身体的な接触が薄くなっているのも確かである。そこで、遠隔地に離れた相手と二人三脚で得られる達成感の共有を肉体的相互作用を通して与えることで、今よりもより遠隔地にいる相手と親密にコミュニケーションを図れるのではないかと考える。

本稿では、二人三脚をいつでもどこでも誰とでも体験可能にするデバイスとして、「1人N脚」を開発し、遠隔地にいる相手とのより身近なコミュニケーションを実現した。

¹ 大阪大学 大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology,
Osaka University, Suita, Osaka 565-0871, Japan
² Worcester Polytechnic Institute,
100 Institute Rd Worcester, MA 01609, USA
³ 大阪大学 サイバーメディアセンター
Cyber Media Center Osaka University,
Toyonaka, Osaka 560-0043, Japan
a) fukano.jun@lab.ime.cmc.osaka-u.ac.jp
b) seki.kazuteru@lab.ime.cmc.osaka-u.ac.jp
c) shigeno.takaaki@lab.ime.cmc.osaka-u.ac.jp
d) wu@lab.ime.cmc.osaka-u.ac.jp
e) zhy199111@wpi.edu
f) kiyo@ime.cmc.osaka-u.ac.jp

2. 関連研究

遠隔地にいる相手と音声や映像以外のコミュニケーションを可能にするものとして, RobotPHONE[1] や InTouch[2], 遠隔握手用ハンドロボット [3] がある. これらは遠隔に離れた相手に対して目の前にいるのと変わらないコミュニケーションを取ることを目的としており, 主に身体による接触感覚を通して, それを達成しようとしている.

また, 人の動きを制御する既存のデバイスとして, 空気圧ゴム人工筋を用いた上肢動作支援ウェアラブルマスタスレーブ装置 [4] やネットワーク接続された歩行感覚提示装置による協調歩行感覚の提示 [5] がある. これらのシステムは人の動きを制御し, 同期させることに成功しているが, 空気圧ゴムや歩行感覚提示装置によって能動的に力を加えることで相手の動きを体験者に伝えている.

しかし, 能動的に力を加えて人の体を制御する場合, とても大きな力が必要になる. そして, その分だけ装着者に危険が伴い, また, その大きなエネルギーを捻出するための大きな装置が必要となり, ウェアラブル性に欠けることになる.

そこで本研究では, 体験者の力を電磁クラッチにより制御することで能動的に力を加えることなく相手の動きを体験者に感じさせることにより, 従来に比べて再現に必要なエネルギーを大幅に減少させることを目標とする.

3. 電磁クラッチを用いたパッシブ型力覚提示

3.1 ハードウェア構成

ハードウェア構成は, 図 1 の通りである. 二人三脚による足の不自由さを電磁クラッチ, ロッド付きサーボモータを用いて再現する. 再現方法については, 次節で詳しく述べる. また, センサーとして, 膝部に角度センサーを搭載しており, それにより現在の歩行状態を認識する.

電磁クラッチは, 小倉クラッチ マイクロ電磁ブレーキ AMB10E を使用し, 10Nm まで力を制御可能である. 嵯峨ら [6] によると, 10Nm は 60step/min の歩行でかかる力と同程度であり, 二人三脚での走行動作を制御しようとした場合, より強力な電磁クラッチが必要となる. しかし, 本稿では二人三脚を開始した直後のリズムの合わない感覚とそこからの協調を表現するには十分ではないかと考え, 上記のブレーキを使用した.

3.2 システム構成

「1人N脚」のシステムは, 図 2 の通りである. 制御の詳細は次節にて述べるが, デバイスにより取得した膝の角度を元にブレーキの制御を取り決め, 角度差を同期させることで, 2 者 (あるいはそれ以上) の歩行動作を協調させる.

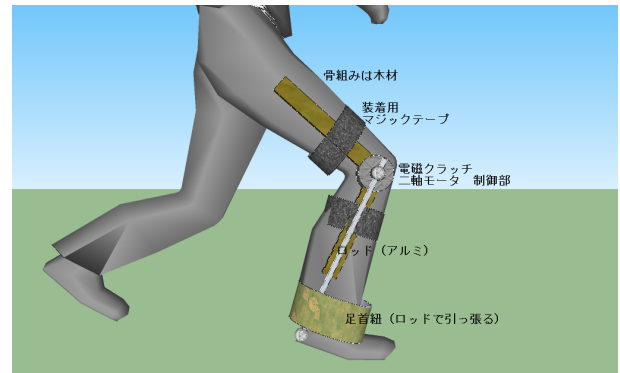


図 1 ハードウェア構成図

Fig. 1 Hardware

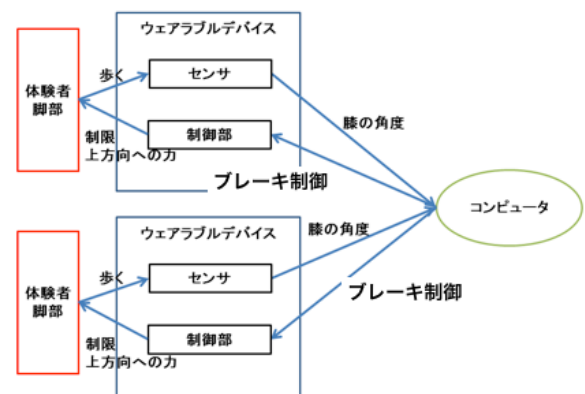


図 2 システム構成図

Fig. 2 System

4. パッシブ型力覚提示を用いた二人三脚の表現

二人三脚感は, 2 者間の歩行のズレから来る歩きにくさとお互いが協調しながら歩くことでそれが解消される心地よさの 2 つから来る考えた. そこで, 2 者間の歩行のズレにどのようなパターンがあるかを分類したものが表 1 である.

以降, この表に基づいて, どのように二人三脚感を表現したかについて述べる.

表 1 二人三脚感の分類

Table 1 Tyoe of feeling of three legged race

2 者の状態	足の動き	感覚
一致している	相手と同じ	一体感
自分が相手より遅い	足を上げる 足を下げる 棒立ち	上前方向へ引っ張られる 特に違和感なし 上前方向に引っ張られる
自分が相手より速い	足を上げる 足を下げる	足が思ったように上がらない 特に違和感なし

4.1 自分が相手より遅い場合

二人三脚において、自分が相手より遅い場合に感じる感覚は、主に足を相手に引っ張られる感覚である。特に足を引っ張り上げられる感覚は強く認識することができ、これによって自分が相手より遅れている、歩調が合っていないということが分かるようになっている。しかし、足を下方方向に引っ張られる場合、重力に従って勝手に足が下がるために引っ張り上げられる時ほど強く感覚を認識しない。

そこで、本システムでは、二人三脚感を表現するために、足を引っ張り上げられる感覚を提示する。

具体的な方法としては、ロッド付きサーボモータのロッド部分を足首部に巻いた紐と足首の間に差し込み、サーボモータによりロッドを動かし紐を引っ張ることで再現する。

実際に引っ張られる力と同じ力で紐を引っ張るには、大容量のモータを使う必要があるが、小型のサーボモータでもその方向に引っ張られているというズレの通知をするだけであれば十分であると判断した。

4.2 自分が相手より速い場合

逆に、相手より速い場合に感じる感覚は、主に相手を引っ張る感覚である。遅い場合と同様に足を下ろしながら引っ張る場合はさほど力を感じないが、上方向へ引っ張り上げる時の力は強く認識することができる。

引っ張り上げる力と書いているが、実際に自分の力だけで相手の足を持ち上げることは難しい為、足を前に動かそうにも動かせない状態になるのが正しい状態である。我々は、この状態を電磁クラッチによる膝の拘束で表現することにした。

まず、相手と自分の足の状態を角度センサによって把握する。角度センサが得られた情報により、自分が相手よりも速く、さらに足を上げる動作に入ったとき、電磁クラッチによって膝の角度を動かせないようにすることで、足を出せない状態にする。一方、相手側は電磁クラッチによってなにも拘束を受けないため、次第に相手が自分に追いつく。近づくにつれ、電磁クラッチの拘束が弱めることで、相手が追いつく頃には、協調した歩行へと戻ることができる。

以上のような流れで電磁クラッチを制御することで、足を出せない拘束感を再現している。

謝辞

大阪大学の安藤英由樹准教授、伊藤雄一准教授には計画当初から多くの助言を頂いたことをここで深謝します。

参考文献

- [1] Dairoku Sekiguchi, Masahiko Inami, and Susumu Tachi: *RobotPHONE: RUI for Interpersonal Communication*, Proc. of CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors

- in Computing Systems, pp. 277-278, (2001).
- [2] Scott Brave, and Andrew Dahley: *inTouch: A Medium for Haptic Interpersonal Communication*, Proc. of CHI '97 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp. 363-364, (1997).
- [3] Yuya Wada, Kazuaki Tanaka, and Hideyuki Nakanishi: *A Robot Hand Transmits Grip Strengths, Body Temperatures, and Skin Softness in Remote Handshakes*, Journal of the Information Processing Society of Japan, 12(3), pp. 169-174, (2012).
- [4] Daisuke Sasaki, Toshiro Norisugu, Masahiro Takaiwa, Katsufumi Nakanishi, and Hirofumi Maruta: *Development of Wearable Master-Slave Device for Upper Limb Constructed with Pneumatic Rubber Muscles*, Journal of the Robotics Society of Japan, 28(2), pp. 208-214, (2010).
- [5] Takumi Taketomi, and Yoshiyuki Sankai: *Walking Assistance for Cerebral Palsy with Robot Suit HAL*, Transactions of Japanese Society for Medical and Biological Engineering, 50(1), pp. 105-110, (2012).
- [6] Norihiko Saga, Takashi Saikawa and Hideharu Okano: *Study on knee joint torque during human gait locomotion*, The Japan Society of Mechanical Engineers, pp. 19-20, (2004).