

# 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 Virtual Three Legged Race using Networked Locomotion Interfaces

野間 春生<sup>†</sup>、矢野 博明<sup>††</sup>、宮里 勉<sup>†</sup>、岩田 洋夫<sup>††</sup>  
Haruo Noma<sup>†</sup>, Hiroaki Yano<sup>††</sup>, Tsutomu Miyasato<sup>†</sup>, Hiroo Iwata<sup>††</sup>

A T R 知能映像通信研究所<sup>†</sup>、筑波大学機能工学系<sup>††</sup>  
ATR-Media Integration & Communications Research Lab.<sup>†</sup>, Univ. of Tsukuba<sup>††</sup>

## 1. 序論

日常生活で他の人と並んで歩く際には、双方の歩行のリズムが無意識に同調する傾向がある。また、急に立ち止まったり、逆に足を早めたりすることで、会話の話題転換の契機となることもある。あるいは、複数名のグループでの団体行動においてはグループ内の個人は自主性を持って移動しながらも全体としては一群となって移動する。これらでは、意識的な交換は行っていないながらも、歩行動作によってそこはかたない関係を保ち、相手の存在を意識しながら行動する状況が発生していると考えられる。我々は、このような対話者同士が言外の動作の相互意識により互いの存在感を実感できる効果を通じて、遠隔地間で双方の擬似的な存在感を再現することを目指している。

本報告では、対話者間で歩行動作を相互に交換・共有する手段を検討し、その実施例として遠隔地同士の2台の歩行感覚提示装置を用いた仮想二人三脚の実装を行った。これは“歩きながらのコミュニケーション”に焦点を当てたものであり、歩行動作の共有によって遠隔地の対話者の動作認識を期待したものである。試作システムでは遠隔地に設置された二基の歩行感覚提示装置をISDN回線を用いて接続し、それぞれのユーザーが双方の歩行動作を協調させることで仮想空間の景観内を一緒に歩ける機能を実現した。

## 2. 実時間歩容計測と半自律歩行手段の実現

このシステムは、筑波研究学園都市(筑波大学)と関

西文化学術研究都市(ATR)にそれぞれ設置された歩行感覚提示装置、GaitMaster(筑波大、以下GM)[1,2]とATLAS(ATR)[3,4]をISDN回線を用いて相互に接続したものである(Fig.1)。

一般に、歩行感覚提示装置はセンサー情報から実時間で利用者の足先の運動を追跡して歩行状態を計測する歩行動作計測手段、ならびに、この計測結果を元に歩行動作をキャンセルする動作相殺機構から構成されている。筑波大に設置されたGMでは二基の機械リンクによって歩行面を構成し、このリンクで利用者の歩行動作を検出すると共に歩行動作を相殺する。一方、ATRに設置されたATLASはトレッドミル方式の歩行感覚提示装置であり、ビデオカメラによって利用者の歩行動作を検出し、ベルト速度を制御することで歩行動作を相殺する。

仮想二人三脚では一方のユーザーの片足の動作計測結果を他方のユーザーの歩行感覚提示装置の動作相殺機構制御系への入力として相互に交換する手法で実現した。Fig. 1 に示すように、試作環境ではATLASユーザーの右足とGMユーザーの左足の動作計測結果が相互に交換されており、これらが仮想的に拘束されている。この構成では、一方だけが歩行動作を行っても、他方の歩行動作が連動しなければ自分の側の歩行動作の相殺機構が起動しない。この関係が相互に成立するため、双方が歩行するには歩行時の自立的な踏み出し動作を連動させねばならない。これはまさに実際の二

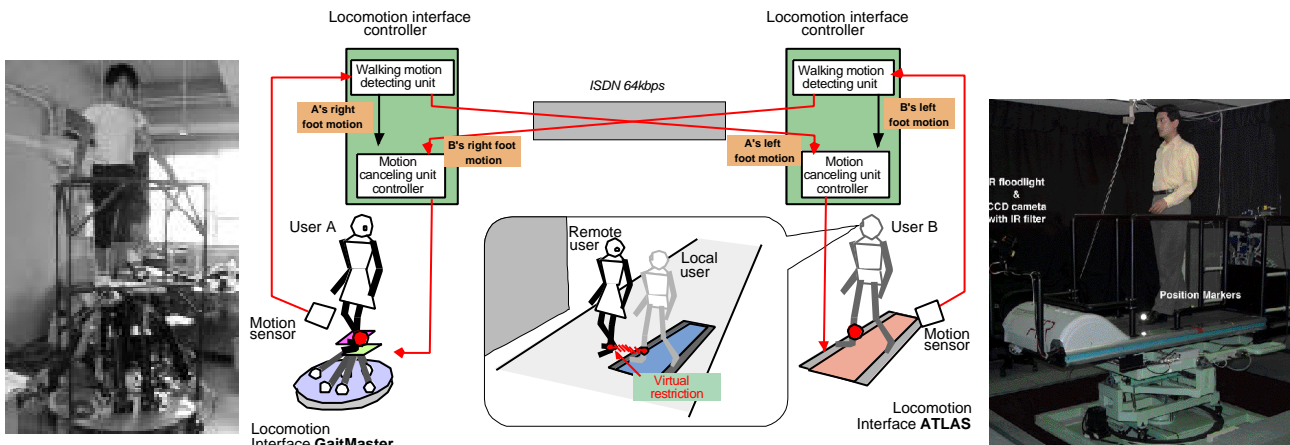


Figure 1 Overview of the virtual three legged race system

人三脚での拘束条件に等しい。さらに、この拘束歩行動作に連動して変化する仮想空間の景観データを付加することで、一緒に仮想空間の景観内を歩き回る感覚の共有を可能とした。

また、双方の歩行感覚提示装置の差異は動作計測データの通信の段階で吸収されているが、この方式によって他の歩行感覚提示装置とも原理的には相互に接続が可能である。

試作環境では、ISDNの1B回線で歩行動作検出結果を通信し、約20Hzで動作交換を行っている。さらに別の1B回線によるTV会議システムを介して会話と双方の映像の交換が可能となっている。

### 3. 仮想二人三脚システムの動作評価実験

仮想二人三脚システムで期待される双方の歩行動作の協調状態を確認する実験を行った。実験は15分間にできるだけ速く歩くように各被験者に教示し、拘束された双方の足先が離床(遊脚開始)する時間差 $t_1$ と着地(遊脚終了)する時間差 $t_2$ のそれぞれについて計測した。被験者はこのシステムを全く体験したことのない4組8名の組み合わせとした。なお、ATLAS側被験者からGM側に試行の開始時にタイミングを取りやすくするためにかけ声を掛けたが、 $t_1, t_2$ はこのかけ声を掛けたATLAS側被験者の拘束足(右足)の離床・着床を基準時間とし、GM側の拘束足(左足)の動作が遅れた場合を正とした時間差である。

$t_1, t_2$ の計測結果を実験開始から5分ごとの三区間に分け、各区間での平均と標本偏差を四組の被験者ペア別にまとめた結果をFig.2に示す。図中、コラムは平均値を、誤差棒は標本偏差を示す。試行の序盤は $t_1, t_2$ ともばらつきが大きかったが、試行が進むに連れてタイミングが一定値に収束する傾向が観察された。しかし、遊脚終了時間差 $t_2$ は全被験者ペアで0.4秒近傍に収束するものの、遊脚開始時間差 $t_1$ は全体として同一値に定まらなかった。そこで、この時間差のばらつきの程度を示す標本偏差について統計的有意差を計算すると、被験者ペアを要因とする有意差は得られず、

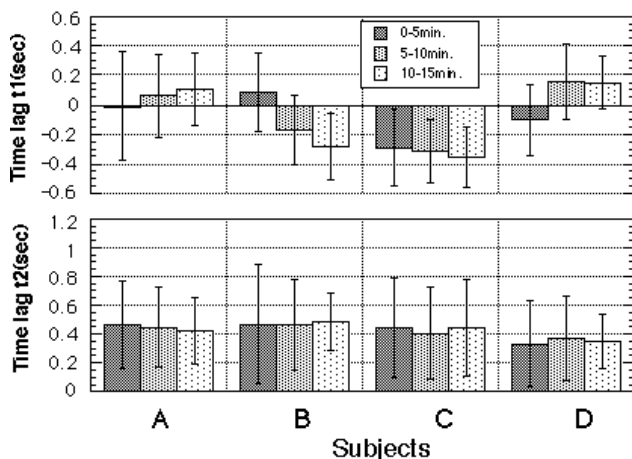


Figure 2 Time lag of starting and ending swing phase of restricted feet:

一方で $t_1$ と $t_2$ 、並びに、計測区間を要因とした有意差(5%)が確認された。

これらの結果より、被験者ペアには関係なく実験開始から10分経過以降に遊脚開始・終了の時間差のばらつきが有意に収束する事、これらの収束値は被験者ペア毎に異なる事、さらに、遊脚終了時間差 $t_2$ のばらつきが遊脚開始時間差 $t_1$ のばらつきよりも大きくなる事が分かった。つまり被験者が習熟を積むことで、タイミングがある一定の時間差に徐々に収束していくが、収束値は被験者ペアの動作協調の戦略によって異なっていると思われる。また、踏み出す動作に比べて踏み出した足を着地するタイミングのばらつきの方が大きく、そのタイミングを取る方が難しかったといえる。実際の歩行状態の観測でも、開始直後は双方の利用者がかけ声に合わせて一歩ずつ確認しながら動き出さねば歩行できなかったが、15分程度の計測の間に相手の動作に対して掛け声をかけながらも連続的な歩行動作が可能となった。これらの結果は、本システムで歩行感覚提示装置を介して双方の動作の協調、つまり、相手の動作を知り、自分の動作に反映させて行動することが可能となったことを意味している。

### 4. 結論と応用展開

本報告では、歩行動作の相互交換によって互いの存在感を遠隔地間で通信する手段の実現を目指し、まず対話者間で歩行動作を相互に交換・共有する実現例として仮想二人三脚の実装を行なった。実験により遠隔地同士での歩行の動作が徐々に協調して収束される結果が確認でき、システムの有効性が検証された。今後この協調動作が形成される過程から、対話者の動作状態がどのように認識されるかについての検討を行う。

さらに、仮想二人三脚で実現される拘束関係はここで目指している存在感のある協調歩行感覚の実現だけでなく、特に歩行動作のリハビリテーション分野への応用も期待できる。例えば、歩行訓練において、療法士と患者が共にこのシステムを利用すると、療法士が患者の自律的な歩行動作を自身の運動への反映としてモニターしながら患者にBody to bodyで遠隔地から動作訓練を実施する手法などが期待できる。

### 参考文献

- [1] 岩田, "凹凸面を呈示する仮想歩行装置GaitMaster", proc. of 4th VRSJ annual conference, pp.345-348, 1999.
- [2] 奈良, 中泉, 岩田, "GaitMasterを用いた昇降感覚の合成", proc. of 4th VRSJ annual conference, pp. 349-352, 1999.
- [3] Noma, Miyasato, "A New Approach for Canceling Turning Motion in the Locomotion Interface, ATLAS", Proc of ASME-DSC-Vol.67, pp.405-406, 1999.
- [4] 野間, 宮里, 中津, "能動的歩行動作に対応した歩行感覚提示装置の開発", 日本VR学会論文誌, Vol.4, No.2, pp.407-416, 1999.