

# 歩行環境提示システムのプログラミング

ATR 知能映像通信研究所 野間 春生 宮里 勉

## 1. 歩行環境提示システムとは

VR 研究において歩行環境提示システム (Locomotion Interface:以下とLIと表記する)とは "ユーザが自身の歩行動作によって仮想空間の移動感覚を得る装置"を意味する。具体的には、ユーザがごく普通の歩行、あるいは走行動作を行った際に、その動作を相殺してユーザを定点に保持し、遠隔地や仮想空間内を実際に歩行しているかのような感覚を提示する装置である。

従来の航空機や車両のシミュレーター、さらに、一世を風靡したVRMLのようなWalk-throughシステムにおいても、同様の機能が実現されるとも考えられるが、これらとLIが最も異なるのは、LIでは操作(動作)の入出力関係とともに、ユーザと移動面との間で動力学的な運動エネルギーの入出力関係をも再現する点である。これはつまり、疲労や距離感覚といった体感そのものをディスプレイするインタフェース技術であるといえる。

以降では、まずLIの基本構成と既存研究例の分類を示し、次に我々の開発したLIによって具体的な処理の一例を示すこととする。

## 2. 歩行環境提示システムの実例

これまでに提案されている多くのLIの実現例での処理の流れは、いずれもユーザの歩行動作を計測する手段とその結果を用いて歩行動作相殺する手段から構成される。しかし、それぞれの特徴が反映される動作相殺機構に着目すればこれらを大別できる。なお、紙面の都合上、各実施例の引用先は参考文献<sup>[1,2]</sup>を参照されたい。

### ・フットパッド型

フットパッド型は歩行者の足先動作に追従する複数の可動板によって歩行運動を計測し、相殺する手法であり、最も自然な歩行動作への対応が可能である。2機の多自由度ロボットアームによる装置を利用した例としては、LathamのOmniTrek、岩田らのGaitMaster、RostonらのWhole Body Display、Sarcos社のBiportなどが提案されている。いずれも、高い周波数応答と高剛性リンク機構が

必要となるが、斜面や凸凹面などの任意の地形形状提示機能を有している。

### ・トレッドミル型

トレッドミル型はベルト機構によりユーザの歩行動作を相殺する手法であり、ユーザへのアクチュエータの装着が必要なくなる。ベルトの駆動方式によってさらにユーザの重力分力で駆動するパッシブ型と、アクチュエータでベルトを制御するアクティブ型に細分できる。前者の場合は動作計測系と相殺系がハードウェアとして統合されるが、対象となる世界が常に上り斜面に限定される。後者の場合は下り斜面や柔軟な平面などを再現可能であるが、動作計測とアクチュエータの駆動系が複雑化する。

トレッドミル型の問題点として、歩行方向がベルトの運転方向に限定される点が挙げられる。HollerbachらのTreadportではハンドルや上体、あるいは頭部の方向による方向指示手段を併用している。一方で、DarkenらのOmni Directional Treadmill、岩田らのTorus Treadmillでは2方向ベルトを構成する手法で、EyreらはSpherical Projection Systemで巨大な半透明球殻内に歩行面を生成して、パッシブ型ではあるが2次元平面の任意方向への移動を実現している。

また、ベルトが動作に連動して加減速する際に生じる慣性力が実歩行と異なる。この慣性力を打ち消す手段として、加減速が充分小さくなるような長大なベルトを用いる手法、あるいは、Treadportで採用されているTheterと呼ばれる棒によって腰部へ反力提示手法が考えられる。

### ・スライディングサフェース型

歩行面を固定しユーザ側に相殺機能を持たせる例として、岩田らのスライド式インタフェースの提案がある。ここではユーザの足の裏に車輪、あるいは、摩擦係数の低い素材を取り付けた特殊な靴によって実現された。ユーザの上体の固定には特殊ハネスや円形の手摺状の保持機構を用いており、基本的にはパッシブ型となるが、装置が非常に簡略化される。

### ・ペダル型

動作計測を単純化するために歩行動作の自由度を下げ、歩行に近い動作によって移動感覚を実現する手法として、ペダルを用いる手法がある。Darkenらは軍事訓練のためにUniPortと呼ばれる固定された一輪車形状装置を提案した。さらに自転車そのものにセンサをとりつけ、インタフェースとして用いる例も提案されている。ペダルへの負荷調整で、若干の地形情報の提示機能が実現される。

### ・その他の方式

さらに単純化を進め、歩行動作に類似した動きによ

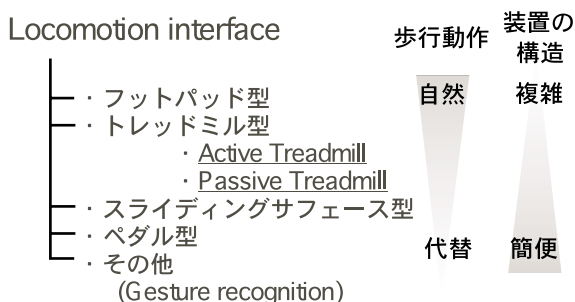


図1 歩行環境提示システムの分類

て仮想空間内の移動操作を行なう手法も数多く提案されている。Choiらは靴底に配置した4個の圧力センサによって足踏み動作を検出するCyberBootを提案した。移動と動作をマッピングする方式として、門林らのVISTA Walkでは画像処理により得られるユ - ザの位置情報を、小林らのTilting Discではユ - ザの重心位置を、それぞれ移動方向と移動速度に対応させて仮想空間移動を行なう装置を提案した。

### 3 . ATLASでのプログラミング

ATRで開発した、アクティブトレッドミル型のLIであるATLAS(ATR Locomotion Interface for active self-motion、図2)の実現方式について示す。

ATLASは、ユーザーの自由な歩行、つまり、任意速度での前進歩行、さらに左右へ曲がる進路変更動作を相殺し、どのように移動してもユーザーを室内の一点に保持することを目指したLIである。

ATLASでは、動作計測手段として画像処理によってユーザーの足先の動作を計測して歩行動作推定する方式を採用し、動作相殺手段として前進動作についてはトレッドミルベルト速度制御機構を用い、進路変更動作についてはベルト機構全体を回転させて相殺する手法を採用した。これにより、ユーザーは単に足先に反射マーカーを取り付けて装置上に乗り、意識的に操作するのではなく通常の自由歩行動作を行うだけで運用できる点を特徴としている。

試作機は速度制御可能なトレッドミルとそれを3軸で回転させる姿勢保持装置、さらに、トレッドミル先端に固定されたCCDカメラから構成される。処理の流れは、まず、画像処理によってユーザーの両足先のトレッドミル上での位置と速度が計測され、この結果とベルト速度を比較することで足の遊・立脚の状態判定を行う。事前の計測により、歩行速度と立脚時間が反比例関係にあることが確かめられており<sup>[1]</sup>、画像処理系によって計測される立脚時間をからこの関係により歩行速度を推定する。ATLASではこの速度推定結果によるフィードフォワード制御と、この推定結果誤差を補償するために画像処理から得られるベルト上での歩行者位置に基づくPIフィードバック制御を組み合わせることでベルト速度を制御し、歩行者を常にベルト上の定点に保持する。

一方、左右への進路変更動作に対しては、歩行時の遊脚の軌道の違いに着目した。直進歩行の際は遊脚はほぼ正面に弓なりの軌道を描きながら着地するのに対し、進路変更時には遊脚が斜前方に大きく振り出される。ATLASではこの動作を画像処理によって計測し、進路変更動作が計測されるとベルト面自体を姿勢保持装置によって水平方向に回転させ、振り出された足を常にベルトの中央に着地させることで進路変更動作相殺する手法

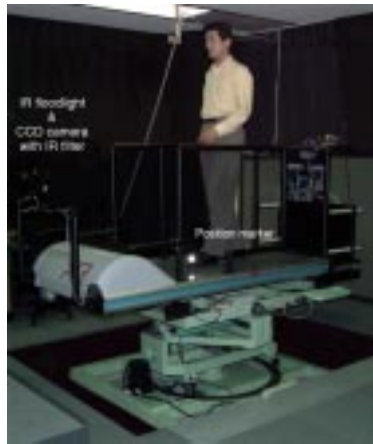


図2 歩行感覚提示装置 ATLAS



図3 移動ロボット AIR

を実現した。

試作環境では画像処理装置はQuickMug-IV(OKK製)を使用し、60Hzでの両足先位置追跡処理を行っている。また、動作解析および機構制御系はPC上に実装され、画像追跡に連動して60Hzで実行されている。

### 4 . 歩行環境提示システムの応用

前述のようにLIは移動におけるユーザーの体感再現機能の特徴とする。この特徴を生かす応用例を以下に示す。

まず通信手段として、ユーザーの存在を遠隔地に提示可能な通信システムが考えられる。LIで得られる歩行動作検出結果を遠隔の移動ロボットの動作指令として反映させる。図3に試作した移動ロボットAIRを示す。AIRの上部にはユーザーの顔画像を表示するモニターとスピーカー、さらにユーザーに提示する映像を撮影するカメラが装着されている。これによって、ユーザーは実際に遠隔地に行ったかのような感覚を得ると共に、遠隔地でもLIユーザーの動作がロボットによって提示される。

また、歩行動作検出結果を仮想環境へ反映させると、例えば設計段階での都市や公園内の歩行者環境の確認や、大規模空間を対象としたゲームにも適用可能である。

さらに、複数台のLIをネットワーク接続し、それらのユーザーの歩行動作を相互に交換することで、相手の動作を体感するシステムも提案される。これは歩行動作のリハビリテーションにおいて療法士が患者の歩行訓練をBody to Bodyで行う手法への応用が考えられる<sup>[3]</sup>。

### 参考文献

- [1] 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.
- [2] Noma, Sugihara, Miyasayo, "Development of Ground Surface Simulator for Tel-E-Merge System", Proc. of IEEE-Virtual Reality 2000 Conference, pp. 217-224, 2000.
- [3] 野間、矢野、宮里、岩田、" 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 "、インタラクシオン2000論文集、Vol.2000, No. 4, pp.147-148, 2000.