

オプティカルフローの提示によって引き起こされる 自己運動感覚を用いた歩行の誘導

○吉田 俊明[†] 竹中 毅^{††} 伊東 道生[†]
上田 完次^{††} 飛嶋 隆信[†]

本研究は、視覚情報を付加することにより歩行時を誘導することを目的とした。その際、従来のように矢印などの記号を使った局所的な情報提示による誘導ではなく、連続した情報付加によってなめらかに身体を誘導させるシステムを構築した。手法として、カメラの映像をリアルタイムにオプティカルフロー情報に変換し、HMDを用いて観察者に変換された画像を返すという方法を採用した。運動時に提示される画像上のフロー情報を操作することにより、系統的に自己運動感覚 (Vection) を変化させ、それにより起こる姿勢制御を利用した観察者の誘導を目指した。

Guidance of Human Locomotion using Vection Induced Optical Flow Information

○ TOSHIAKI YOSHIDA,[†] TAKESHI TAKENAKA,^{††} MICHIO ITO,[†]
KANJI UEDA^{††} and TAKANOBU TOBISHIMA[†]

This research is aimed to guide a human locomotion by the extended visual information. In the introduced system, we use continuous visual information rather than symbolic information such as an arrow. This system extract the optical flow information from the camera image and provide it to observers through HMD in real time. We intended to guide the participant's locomotion by altering their posture using the optical flow information which induces their vection.

1. はじめに

運動の背後には、脳が具体的にどのように運動に関わっているかという制御の問題から、変化する環境の知覚の問題、更には、目的や意図がどのように運動に寄与していくのかという主体性の問題も含まれている¹⁾。このように、身体という軸を中心にして、様々なレベルの事柄が相互に影響を及ぼし合いながら複雑な問題として立ち上げているもの、それが運動である。一方で、身体と環境の関係に関する研究では、環境の持つ情報 (アフォーダンス)⁴⁾を利用して行動を調節しているという理論を提唱したギブソンから始まる生態学的視覚論²⁾、運動を自己組織化現象として捉

え、脳・身体・環境の相互引き込みによる運動制御を研究する多賀¹⁾などが挙げられる。環境の情報を脳や知覚システムがどのように処理しているかという分析的研究は多い、本研究はこれらの先行研究を応用し、複雑な身体の振る舞いを単純な方法論によって解き明かそうとするものである。

2. 目 的

誘導は通常、標識や文章によって局所的な情報提示によって行われるが、滑らかな動作や危機回避など場合、情報を解釈する時間的猶予の無い状況においては必ずしも有用とは言い難い。このような状況においては、感覚内から浮かび上がってくる身体的誘導がその優位性を強く主張できるものと考えられる。

本研究では、人間に提供される環境からの情報を変質させることで、人間の運動を制御する事を目的とする。人間は環境との関係の中で、自らの行動を調節している。運動を制御理論に基づいて捉えると、被制御系としての身体と環境からのフィードバックとしてモデル化できる。つまり、フィードバックを操作することによって、被制御系である身体の運動を合目的的に

[†] 東京農工大学
Tokyo University of Agriculture and Technology
情報コミュニケーション工学専攻
Department of Computer, Information and Communication Sciences

^{††} 東京大学
The University of Tokyo
人工物工学研究センター
Research into Artifacts, Center for Engineering

制御するのである⁶⁾。

今回は、フィードバック情報として環境からの光を利用する。視覚と運動に関する研究は、ギブソンが提唱した生態学的視覚論を中心に、多くの研究が行われて、様々な成果が報告されている。今回は、生態学的視覚論の考えを中心に据えて、視覚に付随する脳の認知に関する研究を引用することで、無意識的に発生する誘導という目的の達成を試みる。

実験は、身体と環境の実空間・実時間での関係を基本としている。実際に環境内で運動している人間の視覚に、リアルタイムにフィードバックとしての情報を提供するシステムである。

3. 概 念

この章では、本研究で用いている概念について簡潔に述べることにする。

3.1 オプティカルフロー

オプティカルフローとは、自己運動に伴い生じる網膜上運動のことを一般的に言う。このオプティカルフローには、対象運動、自己運動、そして奥行きなどの対象情報が非選択的に投影されているといえる。視覚処理は、オプティカルフローを入力として逆問題を解くようにして、対象や自己の運動、また対象の構造を分解復元するプロセスであると言える。よって人間は、外環境における自身の位置方位・運動を認識し、対象への行為や自身の行為を制御している⁷⁾。ギブソンが生態光学の中で提唱している“包圍光配列”は観察点に流入する光の束を指し、オプティカルフローはその概念の一部を切り抜いたものといえる⁵⁾。

3.2 自己運動感覚

自己運動感覚 (Vection) は、対象物体の運動によって生じた網膜上のオプティカルフローが、観察者自身の運動によって発生したと知覚されることによって生じる感覚のことを指す。網膜上の運動成分が対象運動によるものなのか自己運動によって生じたものなのかを一意に決定することは不可能であり、そこでは体性感覚などの他の器官からの情報を必要とする。視覚性自己運動に関するこれまでの研究により、この感覚は、小領域よりも大領域、中心視野よりも周辺視、また手前よりも奥の運動成分と反対方向に生じることが示されている¹⁰⁾。また、自己運動感覚は、発生したエラーに対する付随的な処理として、姿勢の補正反応を発生させる。これは静止時においては重心動揺という形でその変化を捉えることが可能である⁷⁾。そして、映像等による“視覚酔い”と呼ばれる現象もこの自己運動感覚を引き起こす過剰な刺激の影響とされている⁸⁾。

4. 開発の内容

ヘッドマウントディスプレイ (HMD) やカメラを組み込んだシステムを構築して被験者実験を行った。被験者は小型のカメラが付けられている HMD を装着し、HMD から提示される画像情報を元に行動する。ここに提示される画像は、被験者の視線の光景を捉えているカメラからの映像を下に作成されたものであり、被験者の周囲の環境が織り込まれているものである。

この人間とコンピュータとの相互の情報交換によって、実時間・実環境に寄ったシステムを構築した。以下に今回作成したシステムのモデルを提示する (図 1)。

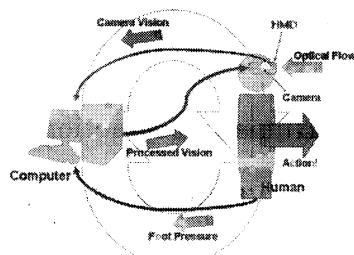


図 1 構築したシステムのモデル
Fig.1 Model of construct system

コンピュータが得られる被験者の状態に関する情報は、目に取り付けられたカメラからの映像と足裏に装着する感圧センサの情報に限られる。しかしながら、映像を工学的なオプティカルフローのアルゴリズムによって解析することで、人間の視線の移動や環境の変化を捉える事が可能である。逐次の変化量を捉えるこの手法と、センサによる人間の重心移動のサンプリングを組み合わせることで、歩行時の人間活動を補足し、且つ誘導へと応用する。

今回の研究に用いた機材を表 1 に示している。プログラミングは Windows 上で VisualC++ と DirectX を用いて行っている。USB から得られた画像から特徴点抽出を行い、その点群に対してオプティカルフローを適応している。よって被験者が顔等を動かすことで、視覚には網膜上の光の流れを模した光の流動が与えられる事になる。本研究は、この流れを意図的に変化させることによる身体への影響を応用するものである。

本システムには、取得したカメラ画像に対してオプティカルフロー処理を行った結果として得られた光点群の移動量を算出する仕組みを組み込んである。これにより被験者が X 軸 (左右) Y 軸 (上下) Z 軸 (前後) それぞれの方向にどれ程の距離を動いているかを

逐次の相対的な値として観察することができ、これによって歩行時の体の揺れなどを記録することが可能である..

<ul style="list-style-type: none"> ・HMD:i-Visor DH-4400VP ・カメラ:USB接続ボードカメラ(640:480 30fps) ・センサ:イナストマ-SFシリーズ(4本) ・HMDとPCの接続:TVC-XGA2 ・ケーブル長:10M ・PC:DynaBook(G4/U17PME)
--

表 1 システムの構成
Table 1 Composition of system

5. 実 験

5.1 非歩行時の重心変化

本システムの有効性を確認する目的で被験者には上記の装置を装着させ、足を揃えてその場で動かさない状況で実験を行った。その状態でHMDを通して図2に示すような映像を見てもらった。この映像には中心部に被験者の動きに影響を受けない白丸が映し出されており、その周囲に被験者の動きに合わせて振舞うオプティカルフロー刺激を提示している。その際、被験者には中心部の白丸(視角 10°)を注視してもらった。視覚誘導性自己運動感覚は周囲の非注意成分の影響から発生することが先行研究で提示⁴⁾されており、注視点を設定することでその効果を期待するものである。

5秒間隔で提示される5秒間のオプティカルフローを刺激として用意した。刺激は時間が経つ毎に速度を増しながら左右交互に画面上を流れる。但し、この刺激は周囲環境と連動している為、システムからの一方的な刺激ではなく、被験者が体を動かすことで助長や緩和が可能である。

図3は刺激を提示した際の各足に掛かった体重の変動を表したものである。全体的に右足(特に外側)に強い力が掛かっている事が読み取れる。この時、提示された刺激は左方向に流れるものであり、自己運動は網膜上の運動と逆方向になる¹⁰⁾という報告に準拠した結果となった。

自己運動感覚に関する分析的なアプローチの研究においては、CAVEなどの没入型の投影装置を用いて被験者に強い臨場感を与えようとするもの¹¹⁾が多く、この場合の視野角は大きいものとなる。HMDでは視野角が狭く、今回のタイプは 31° とされており、必ずしも大きなものとは言い難い。より強い自己運動感覚の為には情報の提示や強さに工が必要と思われる。

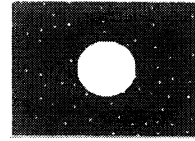


図 2 周辺部へのオプティカルフロー提示
Fig. 2 Peripheral with Optical Flow

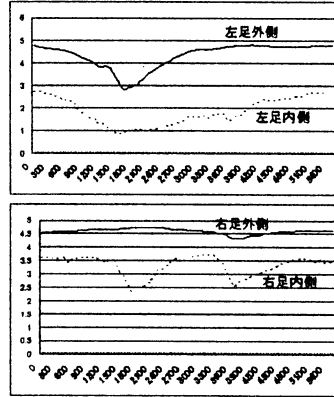


図 3 各足の圧力変化(刺激負荷時)
Fig. 3 Pressure Graph of Each Foot(Add Stimulation)

5.2 歩行時の重心変化(誘導)

今回の研究では、人間が歩行を行っている際の誘導に自己運動感覚およびオプティカルフローを用いることを主題としている。被験者が静止した状態での実験を示したが、歩行時には身体の運動を伴う為、システムが身体から得る情報には多くのノイズが入り込む、よって静止時と同様の分析手法、更には情報提示の方法では実験の遂行が円滑に遂行できないことが判明した。その為、システムに改良を加え被験者が歩行活動を行えるように変更した。

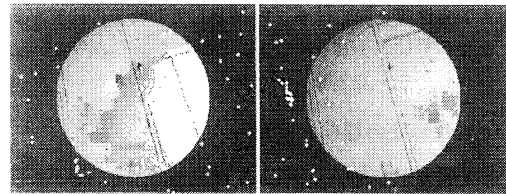


図 4 歩行時の情報提示方法
Fig. 4 A Way of Showing Information in Walking

図4は歩行時の情報提示の在り方の一例である。人間は光点群の動きから情景を再構築することが可能である(バイオロジカルモーションディスプレイ)¹⁾と

されているが、本システムにおいては点群のみでは情報が少なく、その情報を頼りに歩行を行うことは困難であった。その為、歩行時の誘導では被験者に実環境を見せる方法として、静止時に作成した注視点の概念を応用し、中心部にカメラから得られた画像を表示しつつ、フローによる誘導時には実画像の影響を低減させて刺激を相対的に強調させる仕組みを組み込んだ。

この条件の下、被験者には装置を装着してもらい目標に向かって約20Mの距離を直線的に歩いてもらうという実験を行った。実験者は被験者が歩行している間に左右の方向に関するオプティカルフローの刺激を付加することによって、直線的な運動を行っている被験者に左右の運動を感じさせ、姿勢制御の結果として重心の変化、更には移動方向にズレを生じさせることを目指している。

6. 考察・まとめ

歩行時の誘導に関して、現段階では取得データのノイズの多さや提示される刺激の質の問題で誘導と呼べるような現象は確認出来ていない。チューニングの難しさの原因の1つとして、実世界と画像に付加される刺激とのバランスの問題が挙げられる。実世界の情報を多くすることで、被験者はより現実に近い世界を見る事になるが、それによって刺激の影響は薄くなる。対して、情報を削ると滑らかに歩けなくなる。両者を同時に成立させる為の、より適切な情報提示の在り方を追求する必要はあるだろう。

1つには自己運動感覚を生じさせる為に付加される光点群の数をより多くし、大領域・背景として認知されるように描くことである。ある種の模様を描くように点群を配置することによって”地”としての効果を期待するものである。

自己運動感覚に関する分析的な先行研究の結果を利用し、歩行時における身体の誘導という目的を達する為の方法論を模索する。結果としてこれらの研究が新たな形式のナビゲーションシステムや危機回避へのアプローチとなる事を目指している。

7. 今後の課題と発展

今現在のシステムでは、人間の歩行が実験者の意図するように変化を起こすというレベルには至っていない。自己運動感覚がどのような条件で強く働くのかを今一度整理していく必要があるだろう。そして更には、身体と提示される映像との間で引き込み現象を起こす事によって、より強く、確実に身体を誘導させることを目指していきたい。本研究では、身体と環境・身体

とコンピュータのデータの遣り取りを介してインタラクションを発生させ、動的に変化し個人に適応的に振舞うシステムとして構築して行く。

参考文献

- 1) 多賀源太郎：脳と身体の動的デザイン，金子書房(2002)。
- 2) James J.Gibson：生態学的視覚論，サイエンス社(1985)。
- 3) 佐々木正人・三嶋博之：アフォーダンスの構想，東京大学出版会(2001)。
- 4) 佐々木正人・三嶋博之・松野孝一郎：複雑系の科学と現代思想アフォーダンス，青土社(1997)。
- 5) David N.Lee&David S.Young：Visual Timing of Interactive Action, Brain Mechanisms and Spatial Vision, Kluwer Academic Publishers(1985)。
- 6) 山崎健：身体運動研究の動向～アフォーダンスと運動の自己組織化～，運動文化研究，Vol.22, pp.1-4(2004)。
- 7) 宇和伸明・金子寛彦・金次保明：視差・視角変化刺激観察時の重心動揺と奥行き運動知覚，映像情報メディア学会誌，Vol.53, No.9, pp.1300-1307(1999)。
- 8) 中村信次：広角奥行き刺激により誘発される自己運動知覚と視覚酔いとの関連，放送文化基金研究報告平成14年度成果報告,(2002)。
- 9) 横塚敬一・北崎光晃：独立対象の輪郭運動と要素運動が進行方向知覚に与える影響，Vision, Vol.4, No.2, pp.95-98
- 10) 北崎充晃：進行方向知覚と自己運動知覚の分離と統合，日産科学振興財団研究報告書，(2004)。
- 11) 渡邊洋，梅村浩之，吉田千里，松岡克典：周辺視オプティカルフローと中心視奥行き知覚のインタラクション，電子情報処理通信学会論文誌，Vol.J84-D-I, No.5, pp.491-500, (2001)。