

要旨

人間の頭脳が持つ感覚情報処理機構を工学的に実現することを目的とし、ベースとなる生態の認知論としてアフォーダンス理論を取り上げる。アフォーダンス理論で述べられている概念を具体的な工学的モデルとして表し、視覚系の感覚情報について特に距離感覚について考える。ここでは、エージェントの歩行行動を通して、三次元座標空間の知識に頼らず、より直接的に環境に存在する距離情報を獲得することを目指す。

1 はじめに

近年、能動的な感覚情報処理機構に関する研究 [1] の中で、認知論の一つであるアフォーダンス理論 [2] が注目を浴びている。アフォーダンス理論では、運動系の情報に直に結合された様々な形での外部からの感覚情報を通じて、外界を認識し適応的行動をとるという生態の知覚メカニズムの概念モデルが示されている。

本研究では、アフォーダンス理論に示された概念モデルの工学的実現を目指し、運動・感覚情報融合の学習モデルを提案し、計算機実験によるエージェントの歩行行動における距離情報の獲得を通じて、学習モデルの機能を検討するものである。

2 感覚情報獲得モデル

知覚・認識したいというセンシングの意図 (インテンション) から何らかの行動を起こし、行動の実行結果としての環境からの感覚器への入力情報を選択し受け取った行動命令に直結させるシステムを構築する。エージェントは予め環境についての認識・分析能力を備えず、環境に対して多様な働き掛けを行うことにより自律的に環境 (対象) についての知識を獲得し、その獲得した知識に基づいて環境を認識する。また同時に、ある行動命令を受け取った時点で、行動後の状況または行動達成の可否の予測を行う判断基準とする。

本稿では前提として、外部の機構によりインテンションはすでに生成されているものとし、構築する運動情報と感覚情報の融合システムに焦点を当てる。情報を融合させる主要部を融合モジュールと呼び、次の各モジュールにおける情報を統合する。

・行動モジュール

生成されたインテンションによる行動命令 a_i に基づいて、それを具体的な駆動系への命令に変換するとともに、融合モジュールへの入力として情報を送る。

・識別モジュール

自身を取り囲む環境の感覚器への入力情報及び、エージェント自身の体勢情報から、行動命令に関わる現在の状態を識別し、その判断結果 e_r を融合モジュールへの入力として送る。

・認識モジュール

行動実行後の感覚情報に基づいて、行動実行前の感覚情報の中から、行動達成の可否を含んでいると思われる情報 s_p を抽出し、出力として融合モジュールに引き渡す。また必要に応じ、情報 s_p の抽象化もしくは細分化を行う。

融合モジュールの機能を f_f とすると、

$$s_p = f_f(a_i, e_r) \quad (1)$$

であり、ここではニューラルネットワークの一種である誤差逆伝搬法 [3] を用いる (概念図を図1に示す)。また行動、識別の各モジュールについての機能は検証せず、各々からの融合モジュールへの入力 a_i, e_r としてすでに歩行行動、平坦地表という情報が定まっているものとし、認識モジュールについても

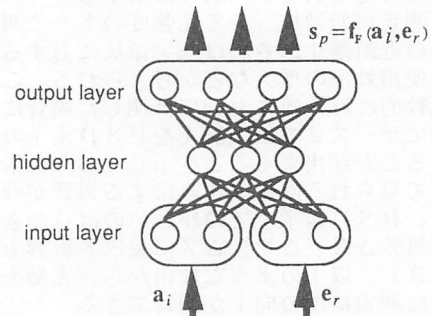


図1. 融合モジュールの構成

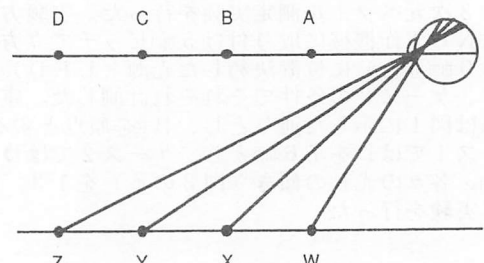


図2. ground theoryによる距離知覚

選択した情報 s_p を距離に限定する。何種類かの融合モジュールの入力ボタン (a_i, e_r) についての距離情報の獲得に関して、融合モジュールの動作を確認する。

具体的な実験環境を述べる前に、アフォーダンス理論における距離情報の概念について次章で述べる。

3 距離情報の直接知覚

距離の知覚として従来考えられてきたものに両眼視差による説明があるが、遠距離における人間の正確な奥行き距離の知覚については十分に説明できないことから、他に知覚可能なより直接的な距離情報が存在するとして、ground theoryが提唱されている [4] (図2)。この理論は、人間はABCDの様な直線距離としてではなく、WXYZのような地面上から眼球への光の入射ボタンとして距離情報を得ているとしたものである。

ground theoryに基づいた知覚モデルとして図3に示す眼球モデルを提案する。垂直方向について正面から下方までの円弧を $b_0 \sim b_{29}$ の30ブロックに分割する。環境からの光ボタンを捉える受光器は $b_0 \sim b_{29}$ の各ブロックに移動可能で、受光器の中心が位置するブロックと隣接する2つのブロックとをあわせた3ブロック (b_0, b_{29} については2ブロックと1ブロック分のスペース) が受光器部分が占る場所でありエージェントの視線方向である。エージェントは、環境のレイアウト (平坦, 坂,

崖, ...) についての識別とあわせることにより, 距離情報を水平方向に対する視線方向の傾き角度として把握することが可能となる. さらに受光器に垂直に入射する環境からの光が, エージェントが現在捕捉している距離の環境情報を示す.

また, 受光器の傾き角度は, 設定した座標系について換算される数値データとして表すものではない. 融合モジュールに送る視線方向についての認識情報を $u_0 \sim u_{29}$ のユニットで表し, 受光器が占めるブロックの位置が発火するものとして, 次の様な形で表される. 受光器の中心の傾き角度が α 度であった時, 中心位置のブロック番号を k として, その対応関係を以下のようになる.

$$k = [30 \times \alpha / 90] \quad (2)$$

[] はガウス記号である. この時の各ユニットの値は,

$$u_i = 1 \quad (i = k-1, k, k+1) \quad (3)$$

$$u_i = 0 \quad (i \neq k-1, k, k+1) \quad (4)$$

である.

4 前進行動による距離情報の獲得

行動情報 a_i として歩行行動, 識別情報 e_r として平坦地表を融合モジュールに入力した場合における, エージェントによる認識情報 s_p としての直接的距離情報の獲得を目的とし, 次の様な問題を設定する.

エージェントはその歩行行動において一定の歩幅間隔を常に保っているものと仮定する. この場合行動達成の可否は, エージェントに固有の歩幅間隔だけ離れた地点の環境状態により決定されるが, 初期状態においてエージェントはこの距離知識は備えていない. エージェントは以下の手続きに基づき, 歩幅間隔を3章で示した眼球高さからの視線方向として学習する.

STEP.1: 歩行行動可能であることを示すターゲットを設定し, エージェントは自身の眼球高さからターゲットに視線を向ける.

STEP.2: 視線をターゲットに固定しつつ, 1-action分の歩行行動を行う.

STEP.3: 行動後のターゲットの視線方向がどの位置に変化しているかをみる.

以下, 設定した全てのブロックの視線方向についてSTEP.1~3を繰り返す.

n-action後, ターゲットが足下にきた状態において, 視線方向は真下 ($u_{29}=1$) になっているとし, (n-1)-action後の視線方向が行動達成の可否を判断する選択すべき距離であるとする. このときの a_i 及び e_r をネットワークへの入力, 歩行行動可能であるというターゲットの情報及び視線方向をネットワークの出力 s_p として融合モジュールに送る. これを繰り返すことにより学習を行う.

5 計算機実験

前述の問題設定にもとづいて, エージェントの眼球高さ h , 歩幅 w のパラメータを変えて計算機実験を行った.

融合モジュールとしてのネットワークの構成は, 行動モジュールからの入力 a_i として3ユニット, 識別モジュールからの入力 e_r として3ユニットからなる6ユニットの入力層, 20ユニットの隠れ層, 認識モジュールへと引き渡される s_p として, 視線方向を表す30ユニット, ターゲットの情報を表す5ユニットの35ユニットからなる出力層である. また, 学習速度係数を0.75に設定し, 150回後の学習結果について検討する. 各実験ごとのパラメータ設定と学習後獲得した視線方向から換算した角度 α_L (式5) 及び, 設定したパラメータから実際に計算

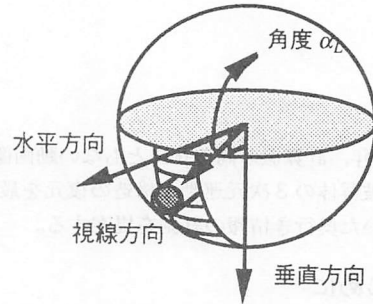


図3. 眼球モデル

実験	眼球高さ h	歩幅 w	視線方向 a_L	計算角度 a_R
1	1000.0	500.0	63.0	63.4
2	1000.0	1000.0	45.0	45.0
3	1000.0	2000.0	27.0	26.6
4	2000.0	1000.0	63.0	63.4
5	2000.0	2000.0	45.0	45.0

表1. エージェントの特徴設定と獲得した視線方向

$$\alpha_L = 90 \times (k+1) / 30 \quad (5)$$

$$\alpha_R = \tan^{-1}(h/w) \quad (6)$$

した正確な視線角度 α_R (式6) を示したものを表1に示す.

この結果から分かるように, エージェントは自身についての知識がないにも関わらず, 体格や運動能力にみあった行動の達成を判断する距離情報を視線方向として学習している. また, 異なる眼球高さのエージェントが同じ視線方向を向いていてもそれが表す環境の距離情報は異なり, 同一の行動をとるにしても異なった環境情報を知覚していることが分かる.

6 おわりに

アフォーダンス理論に基づき, 工学的感覚情報処理機構実現の目的から, 運動情報と感覚情報の融合を行う学習モデルを提案した. また, 距離の知覚に関してground theoryの立場から, 限定した条件のもとで学習モデルの機能及び環境の直接知覚の可能性を計算機実験により確認した. 今後の課題としては, 環境のレイアウトの識別をここでの距離知覚と同様, 座標空間を用いずに識別すること及び, 行動による環境状態の変化から, オプティカルフローなどの環境情報の変化規則を自律的に生成する機構の構築である.

参考文献

- [1] 長田茂美, 増本大器, 山川宏, 木本隆: ニューラルネットによる感覚運動融合の階層型モデル, 日本ロボット学会誌12巻5号, 1994.
- [2] J.J.ギブソン (吉崎敬, 吉崎愛子, 辻敬一郎, 村瀬 旻 訳): 生態学的視覚論, サイエンス社, 1985.
- [3] P.D.Wasserman (石井直広, 塚田稔訳): ニューラルコンピュータリング, 森北出版株式会社, 1993.
- [4] J.J.Gibson: The perception of the visual world, Houghton Mifflin, Boston, 1950.