

# 再帰型神経回路モデルを用いた視野変化予測と 場所知覚ニューロンの発現

信田 春満 ‡

西出 俊 ‡

奥乃 博 ‡

尾形 哲也 ‡

‡ 京都大学大学院 情報学研究科 知能情報学専攻

## 1. はじめに

ロボットの予測制御において順モデルすなわち運動指令からフィードバックを予測する事は重要である [1]. 特に将来人と共に暮らすロボットには与えられた環境で順モデルを獲得することが求められる. このようなロボットは視野から物体を切り出し, そのどれが自己身体であるか識別する必要がある. しかし順モデル等自己身体の制御の従来研究では自己身体の位置が既知である事が前提となっていた [2][3]. 本研究では仮想的な視野画像から移動物体を抽出し, 自己身体の識別と順モデルの獲得を同時に行うモデルを提案する. 物体抽出は畳み込みニューラルネットワークに似た階層型ニューラルネットワークを用い, 順モデルには再起結合付きニューラルネットワークを用いた. また「運動指令から動きの予測可能な物が身体である」というアプローチに基づき身体・非身体を識別する.

## 2. 物体抽出・運動予測-自他識別モデル

本モデルは物体抽出モデルと運動予測モデルから成る. 前者は画像から物体を抽出し, 画像と物体位置の変換を行う. 後者は運動指令から物体位置の推移を予測し, また複数物体を自己身体と外部物体に分離する.

### 2.1 物体抽出モデル

物体抽出モデルは図 1 のような階層型ニューラルネットワークであり, 画像列から移動物体を抽出する. このモデルは画像列を入力され, 学習によって物体及び背景のテキストチャを獲得し, 各画像中の物体の位置を予測できるようになる. 前提として, a) 物体のテキストチャは物体の位置に依らないこと, b) 物体の数と大きさが分かっていること, c) 背景は不変 (視線方向は固定) が必要である.

モデルは 1) 視野レイヤー, 2) 物体位置レイヤー, 3) 背景レイヤー, の 3 つのレイヤーに分かれており, それぞれニューロンがグリッド状に配置されている. 1) 視野レイヤーのニューロンは  $\tanh$  を出力関数とし画像の各画素の輝度値に対応して発火する. 2) 物体位置レイヤーは物体毎に用意されそれぞれ物体位置に対応したニューロンが発火する. ニューロン群の出力関数に softmax 関数を使うことにより一つのニューロンのみが発火しやすい性質を持つ. 物体位置レイヤーの一つのニューロンは視野レイヤーの対応する位置の  $3 \times 3 = 9$  個のニューロンに接続し, その重みには学習の結果物体のテキストチャが獲得される. 3) 背景レイヤーのニューロンは視野レイヤーのニューロンと同じ数存在しバイアス値として 1.0 を持ち出力関数は恒等写像である. すなわち入力が無い場合 1.0 に発火する. 背景レイヤーのニューロンは対応する視野レイヤーのニューロン一つに接続し, その重みには学習の結果背景が獲得される. すなわち背景レイヤーのニュー

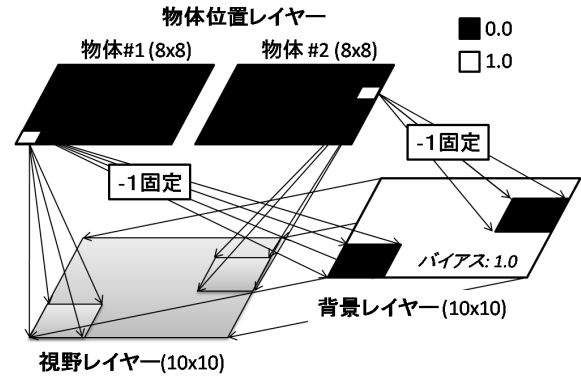


図 1: 物体抽出モデル

ロンが発火すると視野レイヤーに背景が描写される. 最後に物体位置レイヤーのニューロンは背景ニューロンの対応する  $3 \times 3$  のニューロンに接続し, その重みは -1 に固定される. これは視野レイヤーの物体が存在する領域の背景を描写させないためである.

学習はバックプロパゲーション (BP) によって行われる. ただし物体位置は教師信号として与えられず, 位置も BP によって学習する. まず位置-視野レイヤー間, 背景-視野レイヤー間のコネクション及び, 各視野画像に対応するランダムな物体位置レイヤーの内部値が設定される. 次に物体位置レイヤーの出力は視野・背景レイヤーに伝わる. 背景レイヤーは物体の存在する部分のみ発火が抑制され, 視野レイヤーには物体テキストチャと物体部分以外には背景が描写される. この時の視野と教師信号の誤差から BP によりコネクションの重み (物体のテキストチャ) 及び視野画像毎の物体位置レイヤーの発火値が更新される.

### 2.2 運動予測-自他識別モデル

運動予測-自他識別モデルは再帰結合付ニューラルネットワーク (RNN) の一種である Multiple Timescale Recurrent Neural Network (MTRNN [4]) によって実装され, 運動指令の時系列から複数物体 (手先, 外部物体) の位置の時系列を予測する. 物体は 2 つ存在しその位置情報は前節の物体位置レイヤーとほぼ同様であるが, 物体位置を表すニューロンの近傍 8 個のニューロンも微小に発火するようにする. 運動指令は手先の移動速度ベクトルであり手先は運動指令に従って動き外部物体は無関係に動く.

ネットワークの接続は図 2 のようになっている. 各グループは基本的に相互に全結合しているが位置ニューロンは近傍結合 (自身の周囲と自身の 9 ニューロンに接続) している. MTRNN は各ニューロンに時定数を持ち, これが大きいものほど内部状態が変わりにくくなる. 時定数は入出力ニューロン, Cf (Fast Context) ニューロン, Cs (Slow Context) ニューロンの順に大きくなり, この階層的構造がより複雑な時系列の学習を可能にする.

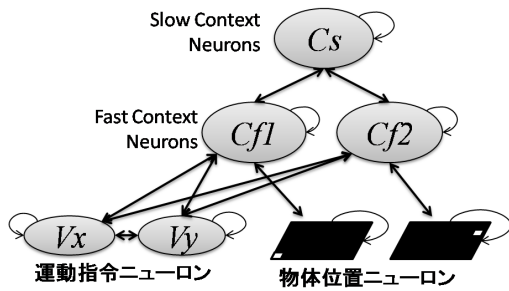


図 2: 運動予測-自他識別モデル

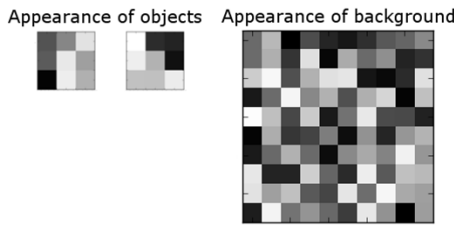


図 3: 実験に使用された手先 (左), 外部物体 (中) と背景 (右) テクスチャ

まずモデルは運動指令とそれに対応した 2 物体の位置情報の時系列を入力され Back Propagation Through Time (BPTT) によって学習を行う。モデルに 2 物体のどちらが手先かという情報は与えられない。次に未学習の運動指令から物体位置の時系列の予測を行う。本研究では運動指令から動きの予測可能な物を身体として識別する。すなわちここで予測精度の高いものは身体 (手先) として識別され、低いものは非身体として識別される。

### 3. 実験

#### 3.1 物体抽出モデル

図 3 のようなランダムに生成された物体テクスチャ、背景で物体抽出実験を行った。ランダムな位置に物体を置いた 80 枚の画像を学習させた。

図 4 は学習結果である。右側の正解のテクスチャとまったく同じものが学習の結果獲得されている事がわかる。これにより、重みを固定した BP により教師信号として画像を与え物体の位置を予測することができる。

#### 3.2 運動予測-自他識別モデル

10 の時間をかけて 8x8 マスのある場所からある場所まで 2 つの物体が等速直線運動するデータを 400 パター

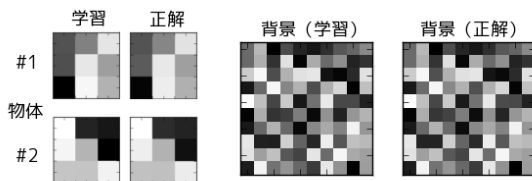


図 4: 物体・背景テクスチャ学習結果

ン作成した。データは運動指令と各物体位置レイヤーの発火パターンの時系列である。このうち 380 パターンを学習に使い、残り 20 パターンの運動指令から各物体の位置の時系列を予測させた。結果手先の予測誤差は 1.14 マス (SD:0.61) であり、外部物体の予測誤差は 2.41 マス (SD:0.98) であった。この様に手先は外部物体と比べ 2.11 倍の精度で予測が可能であり、この予測精度の差から自己身体と外部物体の識別が可能である。

### 4. 解析

運動予測モデルでは運動指令は 2 つのニューロンの発火率が X,Y 座標を表す X-Y 座標系の速度ベクトルを成し、物体の位置は物体位置に対応するニューロンが発火するグリッド座標系を採用している。これらの座標系の変換がどのように行われるのかの解析を行った。

図 2 の Cf ニューロン群の発火と手先位置の関係について調べた。400 のデータについて、時間 0 における Cf の各ニューロンの発火のベクトルに PCA をかけ 2 次元に圧縮しプロットしたのが図 5 である。点の色はそのデータの手先の初期位置を表す。色と位置の対応は図 6 のとおりである。このように Cf の発火の主成分 2 軸は X-Y 座標系で手先の位置を表象していることが分かった。

### 5. おわりに

本論文では提案モデルにより、画像列から背景と物体のテクスチャを獲得し画像中の物体の位置の予測が可能なこと、さらに運動指令から各物体の動きを予測することにより、視野内の自己身体とそれ以外の物体の識別が可能であることを示した。

### 6. 謝辞

本研究の一部は JST さきがけ、科研費基盤 (B)、科研費学術創成の支援を受けた。

### 参考文献

- [1] Desmurget, M. and Grafton, S., "Forward modeling allows feedback control for fast reaching movements", Trends in cognitive sciences, vol.4, No.11, pp.423-431, 2000.
- [2] 福家佐和, 荻野正樹, 浅田稔, "自己受容器を介した視野外の身体像獲得モデルの提案", ロボティクス・メカトロニクス講演会 '0 予稿集, pp. CDR0M(1P1-E1), 2006.
- [3] 鍋厚厚太, 國吉康夫, "マルチモーダル感覚の同期性に基づくロボット身体図式延長モデルと実機実現", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2005 (ROBOMEC2005), pp.2P1-N-043, 2005.
- [4] Y.Yamashita and J.Tani "Emergence of Functional Hierarchy in a Multiple Timescale Neural Network Model: a Humanoid Robot Experiment", PLoS Comput. Biol., vol.4, no.11, 2008.

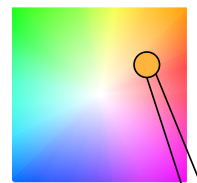
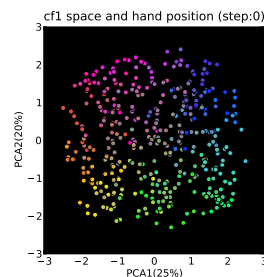


図 6: 手先位置・色対応

図 5: Cf ニューロンと手先位置