知識選択型転移強化学習を用いた移動ロボットによる動的障害物回避

高矢　空＊　　河野　仁　　須賀　哉斗　　鳥谷部　悠希（東京電機大学）池勇勳（北陸先端科学技術大学院大学）　　藤井　浩光（千葉工業大学）  
鈴木　剛（東京電機大学）

Dynamic Obstacle Avoidance by Mobile Robot Using Transfer Reinforcement Learning with Knowledge Selection

Takaya Sora＊, Kono Hitoshi, Toriyabe Yuki, Suga Kanato, (Tokyo Denki University)   
Ji Yonghoon, (Japan Advanced Institute of Science and Technology)   
Fujii Hiromitsu, (Chiba Institute of Technology). Suzuki Tsuyoshi, (Tokyo Denki University)

In recent years, machine learning technologies have been actively implemented in society. Especially technologies such as reinforcement learning and transfer learning are being implemented in intelligent robot systems. The authors have proposed knowledge-selective transfer reinforcement learning based on the spreading activation model, which is a knowledge in the field of cognitive science. In past research, although static obstacle avoidance has been achieved in mobile robots with knowledge-selective transfer reinforcement learning, dynamic obstacle avoidance has not been investigated. In this paper, it is realized that dynamic obstacle avoidance by tuning the hyper-parameters of transfer reinforcement learning with knowledge selection.

キーワード：転移学習，強化学習，知識選択，活性化拡散モデル

(Transfer learning, reinforcement learning, knowledge selection, spreading activation model)

1.　緒言

近年,自動運転技術の進展により,利用者が運転の負担から解放され,交通の安全性と効率性が向上する可能性が高まりつつある.自動運転車は機械学習技術を駆使して,リアルタイムの状況判断や障害物検知,交通ルールの遵守などを行い,自律的な運転を実現する.しかし,自動運転車が直面する課題の一つとして,動的な障害物の回避がある.現行の自動運転技術では静的な障害物への対応は従来の経路計画手法などで適応可能であるが, 動的な障害物の予測と回避は依然として課題とされている.このような課題に対して著者らは,知識選択型転移強化学習を用いた移動ロボットにおける動的障害物回避の実現を提案している(1) (2).

著者らの従来の研究においても同様に自動運転シニアカーにおける静止障害物の回避は実現しているが，動的障害部の回避は実現できていな．そこで，本研究では,知識選択型転移強化学習を用いた移動ロボットによる動的障害物回避について基礎的な検討と実験を行ったので報告する．知識選択型転移強化学習のハイパーパラメータを調整することで,動的障害物の回避が実現できることを確認し，知識選択型転移強化学習は,過去の学習経験を転移させることで学習速度の向上や新しい環境への適応度の向上を図る手法であることを示す．.

2.　提案システム

〈2･1〉 知識選択手法SAP-net

SAP-net(Spreading Activation Policy Network)とは、知識選択型の転移学習モデルのことを指す．転移学習前の手続きとして，予め学習した複数の強化学習の知識を距離と角度で知識として分類する．それらの複数の知識に類似度を計算した集合を指している．生成したカテゴリを用いて知識のネットワークを作成し保存する.

〈2･2〉 ハイパーパラメータチューニング

また、先述のSAP-net(Spreading Activation Policy Network)では、すでに静的障害物の検知及び回避には完了している。しかし、本研究ではSAP-netにあらたに角度情報と距離情報をタグとして各強化学習の知識を紐づけることで動的障害物の回避を可能にしている。

〈2･3〉 提案手法の流れ

今回の研究では、知識選択型の転移学習モデルにより、強化学習した知識を選択し、動的障害物をよける手法の提案を行う。具体的な手法の流れとしては以下の通りである。まず、データの保存と可視化に焦点を当て、データベースに強化学習後の各知識に一意のIDを割り振り、さらに説明と角度と距離を同レコードに格納する。次に、各知識の類似度を求めるため、距離と角度の点P群を二次元マップにプロットした。次に、プロットした知識のベクトルとエージェントを線で結ぶことで、機体からの障害物への距離を図１のような可視化した。さらに、知識タグの値を用いて実際の情報を可視化し、プロット位置を調整。また、SQLiteを使用してデータベースの作成、テーブルの作成、データの挿入、データの表示などの操作も行なうことでSAP-net実現のために必要な技術をすべてテストした。

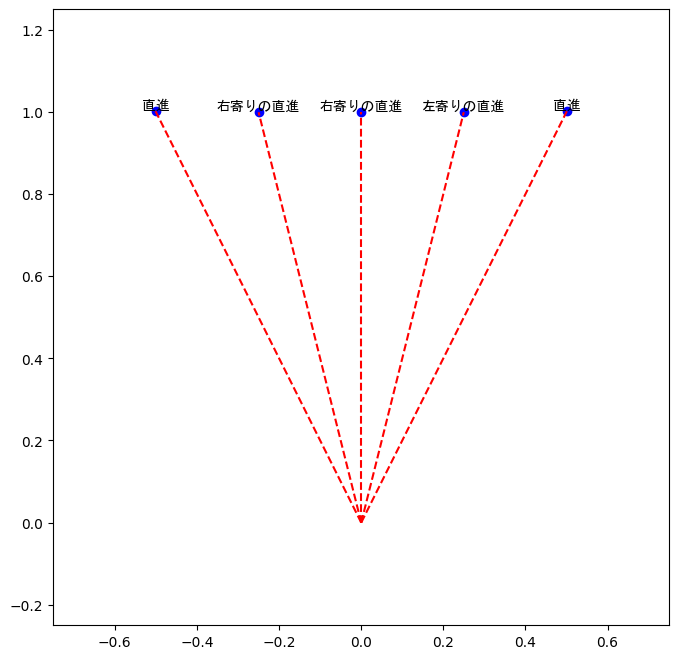


図 1知識ベクトルの類似度ネットワーク

4.　実験と結果

〈4･1〉実験目的・条件

本提案手法における動的障害物回避を評価するために物理演算シミュレータ内に構築した．物理演算シミュレータにはCyberbotics社製のWebots 2023aを使用し，図〇のような環境を構築する．

各知識の持つ、角度と距離をベクトルに見立て計算した。

知識Aの持つ角度をθA、距離をrAと置き、

知識Bの持つ角度をθB、距離をrBと置きいたとき

二つの距離ベクトルのユークリッド距離を求めるには、各座標軸ごとに距離の差を二乗し、それらを足し合わせた後に平方根を取るため、以下の式で表される。

ユークリッド距離 = √((rB \* cos(θB) - rA \* cos(θA))^2 + (rB \* sin(θB) - rA \* sin(θA))^2)

ここで、cos(θ)は角度θの余弦、sin(θ)は角度θの正弦を表す。

これにより、各知識の持つ角度と距離からユークリッド距離を計算することができる。

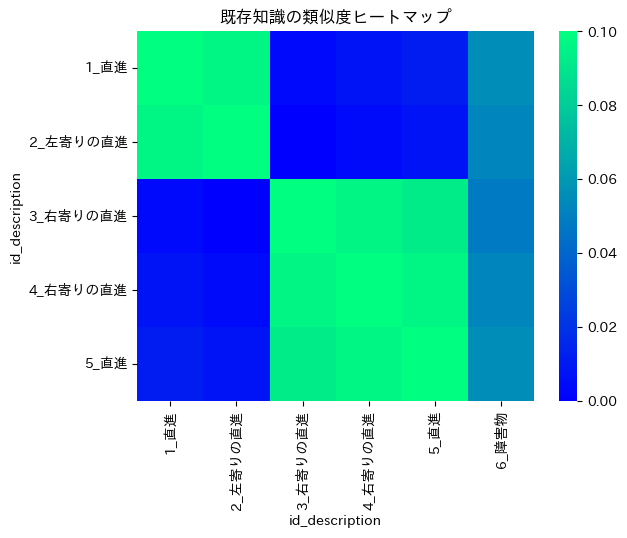
さらに０～１の間に求めたユークリッド距離の最大値を使用して正規化を行った。ユークリッド距離の最大値を求め、これをmax\_distanceと置く。ユークリッド距離を求める式を計算し、得られた距離をdistanceと置く。distanceをmax\_distanceで割り、0から1の範囲に正規化する。

これにより、正規化された距離を取得できる。

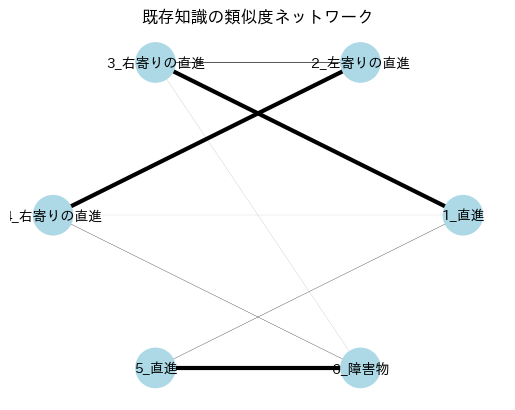
正規化されたユークリッド距離を表す式は以下の通りである。

正規化距離 = distance / max\_distance

このように正規化することで、異なるスケールの距離値を比較しやすくした。また、これらの計算値がどのような値であるかを比較しやすくするために、図２のようなヒートマップを作製した。



また、選択的転移強化学習において転移先の強化学習済み知識が存在する状態を想定し、データの準備、クロス表の作成、ベクトルの差を用いた活性値の計算、スケーリング、類似度の表示、障害物の追加などを行った。その結果を既存知識の類似度ネットワークにまとめている。図３のように、つながりの太さは類似度の高さに比例するため、活性値も高くなる。



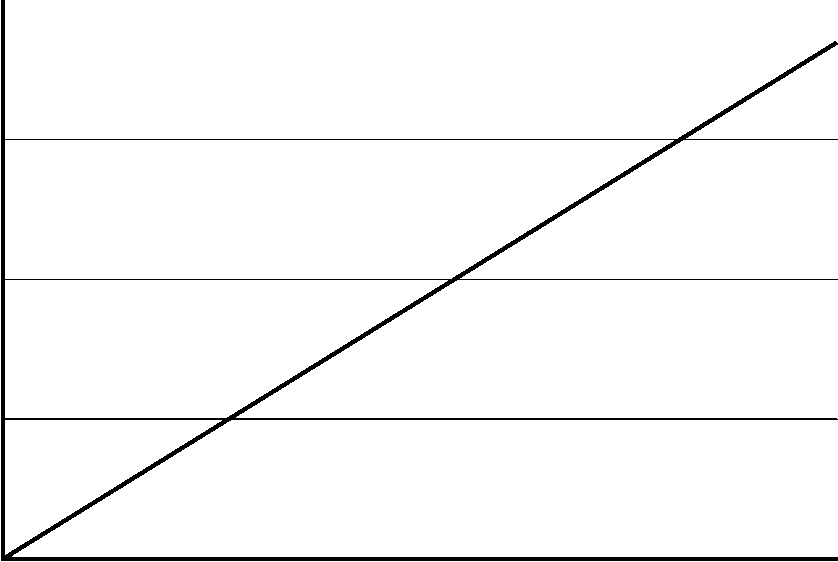
〈4･2〉結果・考察避を評価するために物理演算シミュレータ内に構築した．物理演算シミュレータにはCyberbotics社製のWebots 2023aを使用し，図〇のような環境を構築する．

□５□□□□10□□□□15□□□□20□□□□25□□□□□□□□□□□□□□□□□□□。

本文□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□５□□□□10□□□□15□□□□20□□□□25□□□□□□□□□□□□□□（表2参照）。

本文□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□５□□□□10□□□□15□□□□20□□□□25□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□。

本文□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□５□□□□10□□□□15□□□□20□□□□25□□□□□□□□□□□□□□（図1参照）。



(a)　グラフ1

図1　図表タイトル

Fig. 1.　Title.

本文□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□５□□□□10□□□□15□□□□20□□□□25□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□。

本文□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□５□□□□10□□□□15□□□□20□□□□25□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□。

本文□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□５□□□□10□□□□15□□□□20□□□□25□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□。

本文□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□５□□□□10□□□□15□□□□20□□□□25□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□。

本文□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□５□□□□10□□□□15□□□□20□□□□25□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□。

本文□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□５□□□□10□□□□15□□□□20□□□□25□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

0□□□□25□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□。

5.　結言

本論文では，自律移動ロボットの動的障害物回避を目的として，知識選択型転移強化学習であるSAP-netのハイパーパラメータを調整することで動的障害物回避が実現可能であることを示唆した．

今後の課題として，本論文では少ない行動価値関数の個数であることや動的障害物が単調な移動しか行わない条件でのシミュレーション検証であった．より複雑な条件でのシミュレーションや実際の移動ロボットへの実装も実施する．

謝　　　辞

　本研究の一部はJSPS科研費JP23K11276の助成を受けたものである．

文　　　献

(１) H. Kono, R. Katayama, Y. Takakuwa, W. Wen, and T. Suzuki: "Activation and Spreading Sequence for Spreading Activation Policy Selection Method in Transfer Reinforcement Learning", International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol.10, No.12, pp.7-16 (2019)

(２) 河野仁，坂本裕都，温文，藤井浩光，池勇勳，鈴木剛，“知識選択型転移強化学習を用いたシニアカーの自律運転”，2022年電気学会電子・情報・システム部門大会，pp. 714-718，広島，2022．

(３) Name, Name, and Name : “Title Eng”, 雑誌名, Vol.巻数, No.号数 pp.000-000 (発行年)  
著書名・著書名・著書名：「タイトル」，雑誌名，Vol.巻数，No.号数 pp.ページ数 (発行年)

(４) 著書名：「タイトル」，雑誌名，Vol.巻数，No.号数 pp.ページ数 (発行年)

(５) 著書名：「タイトル」，雑誌名，Vol.巻数，No.号数 pp.ページ数 (発行年)

(６) 著書名：「タイトル」，雑誌名，Vol.巻数，No.号数 pp.ページ数 (発行年)

(７) 著書名：「タイトル」，雑誌名，Vol.巻数，No.号数 pp.ページ数 (発行年)

(８) 著書名：「タイトル」，雑誌名，Vol.巻数，No.号数 pp.ページ数 (発行年)

(９) 著書名：「タイトル」，雑誌名，Vol.巻数，No.号数 pp.ページ数 (発行年)

(10) 著書名：「タイトル」，雑誌名，Vol.巻数，No.号数 pp.ページ数 (発行年)

(11) 著書名：「タイトル」，雑誌名，Vol.巻数，No.号数 pp.ページ数 (発行年)