

博士学位論文 審査結果の要旨

芝浦工業大学大学院 理工学研究科 博士（後期）課程
博士学位論文審査委員会

主 査	木村昌臣
審査委員	堀江亮太
審査委員	五十嵐治一
審査委員	菅谷みどり
審査委員	伊藤 誠
*審査委員	

氏 名	Trinh Thanh Trung
論文題目	A human behavioral pedestrian simulation model with reinforcement learning approach
〔論文審査の要旨〕	
<p>人間が障害物を回避して通路上を歩行する際の行動を知ることは、例えば路上の障害物による歩行者への安全性の影響の調査や自動運転車の歩行者に対する対応、歩道の設計などを行う際に重要となる。しかし、従来のルールベースの方法では行動を表現するためのルールが過剰に必要であり、ニューラルネットワークを用いた方法では人間がどのように障害物を認知しているかが十分に反映されておらず、いずれにしても結果として得られる歩行経路は十分に良いものであるとは言えなかった。</p> <p>Trung 君は、この問題に対して人間が持つ特性や認知システムの仕組みを機械学習分野で研究が活発に行われている深層強化学習を使って実現した、「人間らしい」歩行経路選択モデルを提案した。特に、人類を含む哺乳類は、実世界の空間知識（経路に関する知識や道標に関する知識など）を宣言的記憶によって学習し、海馬に持つ認知地図を用いて進むべき経路を決定すると考えられており、この考え方を参考に、経路計画を実現するモデルと障害物との相互作用的回避行動を実現するモデルをそれぞれ考案するとともに、歩行者エージェントが置かれている状況によりこれらのモデルを切り替える決定手続きを考案した。</p> <p>経路計画モデルや障害物との相互作用的回避行動モデルそれぞれで報酬を元にした行動の学習を行うために強化学習を用いたが、経路計画モデルについては、歩行者エージェントが障害物に対する衝突のリスクを低減させる行動について考察を行い、早急に目的地に着くこと、方向を無駄に変えないこと、経路の側面に近づかないことなどの制約に加え、左側通行などの文化的な制約、移動している障害物の移動予測とその障害物がもつ危険性を回避する制約を考慮した報酬を設計した。また、障害物との相互作用的回避行動モデルにおいては、障害物の移動先の確信度を定め、確信度が高ければ障害物が取った今までの経路をもとに将来の障害物の位置を予測し、確信度が低ければ現在の位置を用いてこれを回避するよう報酬を設計した。</p> <p>評価については、経路計画モデルに対しては当初、実際に人間がとる行動との比較を計画していたが Covid-19 の影響により実現が困難であったため、先行研究で提案されていた反発力によるモデルと提案モデルの結果を比較するアンケートを用いて評価を行い、回答者は概ね提案モデルのほうが自然な経路を選んでいると判断したという結果が得られ、提案モデルによる経路計画モデルは先行モデルと比較してより優れていることを示した。また、障害物との相互作用的回避行動モデルについては、衝突回避経路を考慮しないモデルをベースラインとし、これと提案モデル、反発力によるモデルとの</p>	

衝突回避に必要な平均経路長、平均移動時間、平均衝突時間についてそれぞれ差分をとり比較することにより、提案モデルが反発力によるモデルと比較して極端な回避を避けた回避経路を選択していることを示した。

以上の結果から、人間が障害物を回避する通路上の歩行行動を計算機でシミュレーションする上では、人間の認知の仕組みを考慮したうえで衝突リスク回避を行う仕組みを実現することが人間らしい経路の選択を行うために重要な役割を果たしていることを明らかにした。

以上の内容について、審査委員に対して 2021 年 8 月 23 日に 1 時間程度の説明を行い、質疑応答が行われた。質疑のなかで、研究で使った深層強化学習アルゴリズムの使い方の説明に曖昧な点があること、アンケートによる評価についての記述が本論に不足していること、報酬の行動に対する寄与についての定量的な評価が不足していることについての指摘があったが、発表・質疑の後の審査委員によるクローズドな会議においては全員一致で合格と判定された。

なお、博士課程の期間中に本人主著の論文 1 編、国際会議プロシーディング 2 編が投稿・採択されており、学位審査基準にある研究業績の条件も満たされている。