

審査の結果の要旨

氏名 ポル ミッシェル

X 線を用いた放射線治療は体外から放射線を腫瘍に照射することで、治療を行うものであり、手術を必要としないため患者への負担が小さい治療法である。一方、予め計測した情報を用いて腫瘍位置を決めて照射を行うために、実際に照射を行う際に臓器の運動に伴い、照射位置にずれが生じることがある。肺は呼吸に伴い、大きく運動する臓器であり、したがって放射線治療を肺がんに適応する際には、腫瘍位置を予測し、適切なタイミングで放射線の照射を行うことが求められる。本研究は、そのような肺がん放射線治療において、回帰型のニューラルネットワークを用いて、照射位置の予測を精度よく行うことを目的として研究を行ったものである。第一章は序論であり、人工知能の進展に伴い、ニューラルネットワークの放射線治療への応用が検討されていることを概観し、本研究の対象とする回帰型ニューラルネットワーク(RNN)が有効な手法であることを述べている。

第二章は、実時間回帰型学習の全体構成とそれにより学習した結果について示したものである。最初に、放射線治療における照射位置制御の際に存在する遅延の問題について示し、機械的な制約から照射位置の追従には限界が存在することを述べた後、本研究におけるアプローチ全体を示している。次に、本研究において用いた胸部 CT(Computed Tomography)データの詳細ならびに、変形時のデータの適用法について述べている。その後、実際に、照射位置の予測法として、RNN と実時間回帰学習法(RTRL)を組み合わせることで予測を行った結果、直線による外挿法による予測誤差 1.80mm よりも優れた予測誤差として 1.48mm の値が得られたと述べている。

第三章は、外部にポジションマーカーを設置した位置追跡システムから得られるデータをもとに照射位置の予測を行った結果について述べたものである。まず、位置情報追跡システムの概要について示した後、RNN の学習法として、RTRL に加えて UORO(Unbiased Online Recurrent Optimization)の概要とアルゴリズムの実際を示し、これらを正常呼吸時、異常呼吸時のデータに対して適用している。その結果、正常呼吸時はどちらの手法においても予測がうまく

できていたが、異常時については、**RTRL**は追従できずに、**UORO**がより優れた予測結果を示したことが述べられており、その他、線形予測や最小二乗予測法などと比較しても、長期間での予測において優れた結果を示していることが示された。また、安定性においては、発振やジッタなどの観点からも評価を行い、安定な出力が得られている。これらの評価を行った結果、予測誤差として、**1.28mm**の高い値が得られている。第四章は**MRI(Magnetic Resonance Imaging)**を用いた放射線治療への適用として、**MRI**で取得されたデータから主成分分析(**PCA**)を適用して、動きに関する情報を抽出した後に、**RNN**を適用した結果について述べている。**UORO**による学習を行った**RNN**は、長期間の予測においてよい結果を示しており、秒スケールでの予測が可能である結果を得ている。

第五章は結論であり、本研究により、肺がん放射線治療における遅延の問題に対して、オンライン学習を行う**RNN**が高い予測精度を与えるなど、その有効性が示されたことが述べられている。

このように本研究は放射線治療における照射位置予測の問題に取り組み、回帰型ニューラルネットワークとイメージング手法を活用して高い精度で予測可能であることを示したものであり、バイオエンジニアリングの発展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。