

博士論文題目 Dependable learning scheme of model for predicting drug dosage effect in a human body using recurrent neural networks

学 籍 番 号 18QC502 氏名 佐久間 義友

指 導 教 官 河野隆二 教授

論 文 提 出 日 令和3年3月12日

近年、Internet of Things (IoT)や Cyber Physical System (CPS)などの技術の発展に伴い、これらを様々な分野に応用した研究への注目が集まっている。特に、高齢化社会や医療従事者の不足といった問題に伴い、情報通信技術を医療へ応用した医療 ICT の研究の需要は高くなっている。

その中でも、手術中における麻酔の制御技術は医療現場において不足している麻酔医の負担を軽減できる技術であることから、医療の効率化や高信頼化への貢献が期待されている。高信頼な麻酔の制御を行うためには、医学的な知見や法律に基づいた様々な制約や要求を満たす必要がある。法律に基づいたガイドラインや文章には、患者の安全を考慮した投与量の目安が記載されており、これが麻酔制御における制約として挙げられる。また、その制約を満たしつつ手術中の麻酔による鎮静作用評価に用いられる BIS (Bispectral index)値や、脈波・心拍 (HR: Heart rate)などから得られる鎮痛作用評価に用いられるバイタルを適切な範囲に収めること、手術開始してから各種バイタルが適切な範囲に収まるまでの時間 (麻酔導入時間) および手術終了してから患者が覚醒するまでにかかる時間となるべく短くなることが要求される。

一方で、糖尿病患者の人口も世界的に増加傾向にあり、彼らの健康維持も一つの社会問題となっている。特に、糖尿病患者のインスリン療法は日常生活で睡眠時も含めた血糖値に基づいて投与量を計算して自己投与しなければならない、患者に対する精神的負担も大きい。そして小児糖尿病と呼ばれる先天的な1型糖尿病患者も増加しているが、患者が小児の場合は投与を忘れることや不適切な量を投与してしまうなどの事故のリスクも増加すると考えられる。

これらの、手術中麻酔および糖尿病患者へのインスリンを用いた血糖値制御という問題に対して、医師および患者の負担軽減および安全保障のために投薬によるバイタル変化を、数値モデルを用いて予測しバイタル値を所望の値に制御するための方式が研究されているが、既存の数値モデルは患者の個人差や時々刻々と変化する薬の効き方の時変性まで考慮されていないという問題がある。これらの問題に基づいて、本研究ではリカレントニューラルネットワーク (RNN) を使用した予測に基づく患者のバイタルの予測制御システムを提案した。提案されたシステムでは、患者の薬効を非線形時変システムと仮定し RNN によってモデル化している。

提案システムにおいて本研究では、RNN による予測モデルの同定 (学習) 精度を向上させるにあたり主に二つの問題を提起しそれぞれに対して提案を行った。一つ目の問題として、RNN の学習に一般的に用いられる確率的勾配降下法 (SGD) についてであるが、SGD では設定した学習率によりモデルの推定精度が変化してしまうという問題がある。その問題に対して本研究では、学習率と学習安定性の関係を理論的に解析し、RNN の安定性が保証できる条件を満たすように学習率を適応的に更新する方法を提案した。また、モデルの学習に用いるバイタルデータに測定ミスや ECG などのほかのバイタルの混入によるアーティファクトが含まれる場合、アーティファクトによって同定精度が低下する恐れがあるという問題がある。その問題に対して本研究では、アーティファクトをバイタルデータの前後関係から検出する手法を提案した。特に、ECG の R 波などの瞬時的なアーティファクトの検出に特化した手法を本研究では提案し、検出閾値による誤検出・未検出のトレードオフおよびそれが RNN を用いたバイタル推定に及ぼす影響を考察した。