

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報学)	氏名	大川 真耶
論文題目	Spatio-temporal Event Prediction via Deep Point Processes (深層点過程を用いた時空間イベント予測)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、さまざまな時空間イベントの発生時間と発生位置の両方の情報を併せ持つ時空間データにたいする深層学習モデルについての研究結果をまとめたものであり、全5章から構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、本論文の目的とその内容を概観している。世の中には、発生時間と発生場所という、時間と空間の両方の情報をもったイベントデータが多くみられる。とりわけこれらは、交通や公衆衛生、自然災害などの社会的にも重要な場面において現れるため、これらの複雑な挙動をモデル化し、精度よく予測を行うことは社会的にも重要な課題である。一般に、時空間イベントのモデル化には点過程と呼ばれる確率モデルが用いられるが、補助的に利用可能な様々な文脈情報をモデルに取り入れることはあまり検討されてこなかった。本論文では、より精緻な時空間モデル化のために、これらの文脈情報を点過程モデルに取り入れ、さらにこれらを深層学習と組み合わせることによって柔軟で高精度な時空間データ解析の方法論を確立することを目指した検討を行っている。</p> <p>第2章では、画像やテキストなどの形で与えられる高次元文脈情報を時空間イベントの予測に導入できるように、非一様ポアソン過程を深層学習モデルに拡張した深層混合点過程とよばれる新たなモデルを提案している。非一様ポアソン過程は、イベントの発生頻度を定める強度関数が時間・空間的な位置に依存するモデルであり、イベントの時空間的な非均一性を扱うことのできるモデルであるが、ここに文脈情報を導入するために、その強度関数を、文脈情報に依存したニューラルネットワークで表現された混合比を用いる混合カーネル関数で表現している。これによって、文脈情報がイベントの発生に与える影響を柔軟にモデルに導入することを可能にするとともに、強度関数の計算を効率よく行うことできるようになる。都市の交通データを用いた実験では、提案手法が既存手法と比較して優れた予測精度をもつことを示している。</p> <p>第3章では、第2章で扱った点過程モデルへの文脈情報の導入をさらに発展させ、イベント間の依存関係も考慮した深層Hawkes過程と呼ばれる新たなモデルを提案している。Hawkes過程は、過去のイベント発生が将来のイベント発生に影響を与える点過程モデルであるが、第2章で扱った非一様ポアソン過程と同様、そのままでは様々な有用な文脈情報を活用することができなかった。提案モデルである深層Hawkes過程は、外部から与えられる様々な文脈情報、特に、時空間データ解析においてしばしば現れる、地図や衛星写真、天気図などの画像として与えられる情報を、畳み込みニューラルネットワークによって、強度関数に導入している。感染症の発生や地域紛争などの実世界のさまざまな時空間イベントデータを用いた実験では、提案モデルによって予測精度が大きく改善されることを示している。</p> <p>第4章では、これまでの議論を、状態が時間的に発展するような時空間システムにまで広げ、情報の拡散によって時間発展する様々なコミュニティのダイナミクスを</p>			

モデル化する動的Hawkes過程を提案している。通常のHawkes過程では、イベントの発生間の関係を表すトリガー関数は時間的に不変としているが、現実には情報の拡散は、病気の感染状況の変化や世間の興味の移り変わりなど、状況によって変化すると考えるのが自然である。提案モデルでは、直接的には観測できない、この背後の動きをとらえるために、トリガー関数が時間変化するようにモデルを拡張している。モデルの学習には、コミュニティの状態を表す動的な潜在関数の積分が必要となるという問題があるが、潜在関数とその積分を用いてトリガー関数を設計し、この積分自身を単調増加ニューラルネットワークで表現することでこの問題を回避し、効率よく学習が行えるような工夫を行っている。ソーシャルメディアやニュースなどの実データを用いた実験では、高精度でイベント予測が行えるだけでなく、動的に移り変わるコミュニティの潜在的な状態やそれらの依存関係を可視化できることを示している。

第5章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。即ち本論文は、現実世界の様々な場面において現れる時空間データのモデル化とこれに基づく予測や分析を、より精緻に、高精度で行うことができるようにすることを目指したものであり、そのために様々な形で与えられる文脈情報を既存の点過程モデルに導入し、また、部分的に深層学習モデルを組み合わせることによって、モデルに柔軟性を与え、その有効性を、実データを用いた検証によって示したものである。本論文では最後に、将来の課題・展望として、問題領域に関する様々な事前知識をさらにモデルに取り込むことによってさらに改善すること、本論文で提案した複数のアプローチを、ひとつのモデルとして統合し、また、応用の対象を金融分野や小売業など様々な領域に展開することなどを挙げ、本論文を結んでいる。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、さまざまな時空間イベントの発生時間と発生位置の両方の情報を併せ持つ時空間データにたいする深層学習モデルについての研究に取り組んだものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 画像やテキストなどの高次元文脈情報を時空間イベントの予測に導入できる新たな点過程モデルを与えた。従来の点過程モデルの強度関数に、文脈情報に依存したニューラルネットワークを適切に組み込むことによって、文脈情報がイベント発生に与える影響を柔軟にモデルに導入することを可能にするとともに、強度関数の計算を効率よく行うことのできる手法を提案した。都市の交通データを用いた実験では、提案手法が既存手法と比較して優れた予測精度をもつことを示された。

2. 前述の点過程モデルへの文脈情報の導入をさらに発展させ、イベント間の依存関係も考慮したモデルを与えた。提案モデルは、外部から与えられる様々な文脈情報、特に、時空間データ解析においてしばしば現れる、地図や衛星写真、天気図などの画像として与えられる情報を、畳み込みニューラルネットワークによって強度関数に導入することで、感染症の発生や地域紛争などの実世界のさまざまな複雑な時空間イベントの柔軟なモデル化と高精度な予測を可能にした。

3. 情報の拡散によってその状態が時間発展するコミュニティの動的モデルを与えた。従来のモデルでは、イベントの発生間の関係を表すトリガー関数は時間的に不変としているが、提案モデルでは、直接的には観測できない、この背後の動きをとらえるために、トリガー関数が時間変化するようにモデルを拡張した。また、トリガー変数にニューラルネットワークを適切に導入することで、学習の計算コストの問題を回避し、効率よく学習を行う手法を提案した。

以上、本論文は、現実世界の様々な場面において現れる時空間データのモデル化とこれに基づく予測や分析を、より精緻に、高精度で行うことができるようにすることを旨とし、様々な形で与えられる文脈情報を導入可能な深層点過程モデルを提案したものであり、学術上・実応用上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和4年2月24日に実施した論文内容とそれに関連した口頭試問の結果、合格と認めた。なお、本論文のインターネットでの全文公表について支障がないことを確認した。

要旨公開可能日： 年 月 日以降