



RSC777-3

قضایا بحثیة 3

Task4

Prepared by

Mohammed Omar Bin Makhashen

242001540@st.midocean.edu.km

محمد عمر بن مخاشن

Ph.D. student in IT

2025-Feb-28

المحتوى

اعداد تقرير عن اخر التطورات والاتجاهات البحثية العالمية في موضوع البحث

- تعريف بالدراسة
- مجالات التطويرية للبحث
- المجالات العالمية للبحث
- الاتجاهات المستقبلية

عنوان الرسالة: (PRACTICAL APPLICATIONS OF MACHINE LEARNING TO QUANTUM COMPUTING AND QUANTUM SIMULATION)

اسم المؤلف: (Alexander G. Lidiak)

الجامعة: (Colorado School of Mines)

الدرجة العلمية: دكتوراه في الفلسفة (Doctor of Philosophy)

تاريخ تقديم الرسالة: ٢٠٢٢ ديسمبر

يركز البحث على التقاطع التآزري* (التعاوني) بين تعلم الآلة وعلم المعلومات الكمومية، معالجة التحديات الحاسمة في محاكاة الأنظمة الكمومية والتحكم فيها وفهمها وتوصيفها، خاصة في سياق تطوير الحوسبة الكمومية والمحاكاة الكمومية. يسلط البحث الضوء على إمكانيات تعلم الآلة كأداة قوية للتغلب على القيود التي يفرضها تعقيد الأنظمة الكمومية متعددة الأجسام وعيوب الأجهزة الكمومية قريبة المدى.

مجالات التطوير الرئيسية واتجاهات البحث:

تستكشف الأطروحة عدة مجالات رئيسية حيث يقدم تعلم الآلة مساهمات كبيرة في الحوسبة الكمومية والمحاكاة الكمومية. تمثل هذه المجالات اتجاهات بحثية عالمية نشطة ومتطورة:

- التعلم المتغير للحالات الكمومية متعددة الأجسام: [الفصل 2]
- تعلم الآلة للتحكم الكمي الأمثل: [الفصل 3]
- التعلم غير الخاضع للإشراف لانتقالات الطور الكمي (QPTs): [الفصل 4]
- التصوير المقطعي للحالة الكمومية بمساعدة تعلم الآلة (QST): [الفصل 5]

التعلم المتغير للحالات الكمومية متعددة الأجسام: [الفصل 2]

- **حالات الشبكة العصبية الكمومية (NQS):** يتضمن اتجاه بارز استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية، مثل آلات بولتزمان المقيدة (RBMs) ومقدرات كثافة الانحدار الذاتي العصبية الكمومية (QNADEs)، كفرضيات متغيرة لتمثيل ومحاكاة الحالات الأرضية وديناميكيات الأنظمة الكمومية متعددة الأجسام بكفاءة. هذه الطرق ذات صلة خاصة بمعالجة "لعنة الأبعاد" المتأصلة في ميكانيكا الكم.
- **تسريع وحدة معالجة الرسومات (GPU):** يتمثل التطور الحاسم في الاستفادة من الحوسبة المعجلة بوحدة معالجة الرسومات لتسريع تدريب وأخذ عينات NQS بشكل كبير، مما يجعل محاكاة الأنظمة الكمومية الأكبر والأكثر تعقيدًا ممكنة. توضح الأطروحة تسريعًا كبيرًا باستخدام وحدات معالجة الرسومات لطرق QNADE. (..يتبع)

التعلم المتغير للحالات الكمومية متعددة الأجسام: [الفصل 2] (استكمال)

- **المقارنة بالطرق التقليدية:** يقارن البحث بنشاط أداء الطرق القائمة على NQS بالتقنيات الراسخة مثل حالات ضرب المصفوفة (MPS) ومجموعة إعادة تسمية مصفوفة الكثافة (DMRG) لمحاكاة الأنظمة الكمومية أحادية البعد، وغالبًا ما يظهر دقة تنافسية ومزايا محتملة للأنظمة ذات الأبعاد الأعلى.
- **نمذجة الحالات شديدة التشابك:** تتمثل إحدى المزايا الرئيسية لـ NQS في قدرتها على نمذجة الحالات الكمومية ذات التشابك العالي، والتي تمثل تحديًا للعديد من طرق المحاكاة الكلاسيكية التقليدية.

تعلم الآلة للتحكم الكمي الأمثل: [الفصل 3]

- **تحسين النبض المتغير:** يتمثل الاتجاه الكبير في استخدام تعلم الآلة، وخاصة خوارزميات التحسين المتغير، لتصميم نبضات التحكم المثلى لمعالجة الأنظمة الكمومية، مثل الكيوبتات فائقة التوصيل. يتضمن ذلك إيجاد أشكال النبض (مثل المربع أو غاوسي) التي تحقق بوابات كمومية محددة (مثل $\sqrt{\text{SWAP}}$, SWAP, CNOT) بدقة وسرعة عالية.
- **التحقيق التجريبي والقياس المعياري:** يركز البحث على التنفيذ التجريبي وقياس هذه النبضات التحكم المحسنة على أجهزة الكموم الحقيقية للتحقق من أدائها ومزاياها على تقنيات التحكم التقليدية مثل GRAPE.
- **مرونة الضوضاء:** يتمثل الاتجاه المهم في تطوير استراتيجيات التحكم الأمثل التي تتسم بالقوة ضد الضوضاء والعيوب في أجهزة الكموم.

Chapter

التطورات والاتجاهات العالمية للبحث

6

التعلم غير الخاضع للإشراف لانتقالات الطور الكمي (QPTs): [الفصل 4]

- **تقنيات تقليل الأبعاد:** يتضمن مجال متزايد تطبيق تقنيات تعلم الآلة غير الخاضعة للإشراف مثل تحليل المكونات الرئيسية (PCA) والمشفرات التلقائية وخرائط الانتشار لتحليل البيانات الكمومية (مثل تكوينات الدوران ومقاييس التشابك) وتحديد الأطوار الكمومية الأساسية وانتقالات الطور دون معرفة مسبقة بمعلومات الترتيب.
- **تعلم أنواع مختلفة من انتقالات الطور:** يستكشف البحث قدرة هذه الطرق على اكتشاف أنواع مختلفة من QPTs، بما في ذلك انتقالات كسر التماثل وانتقالات الطور الطوبولوجي وتوطين العديد من الأجسام (MBL).
- **تحليل البيانات التجريبية:** هناك اهتمام متزايد بتطبيق طرق التعلم غير الخاضعة للإشراف هذه على البيانات التجريبية التي تم الحصول عليها من المحاكيات الكمومية لاكتشاف وتوصيف الأطوار الكمومية الجديدة.

التصوير المقطعي للحالة الكمومية بمساعدة تعلم الآلة (QST): [الفصل 5]

- **إعادة بناء الحالة بكفاءة:** يتمثل الاتجاه الحاسم في عصر NISQ في تطوير طرق فعالة وقابلة للتطوير لإعادة بناء الحالات الكمومية التي أعدها هذه الأجهزة. يتم استكشاف تقنيات تعلم الآلة، بما في ذلك تلك القائمة على عوامل ضرب المصفوفة (MPOs) وشبكات التنسور والشبكات العصبية، لتقليل عدد القياسات المطلوبة وتحسين دقة الحالات المعاد بناؤها.
- **الاستشعار المضغوط:** يعد تطبيق تقنيات الاستشعار المضغوط، غالبًا ما يتم دمجها مع طرق التنظيم المستوحاة من تعلم الآلة، اتجاهًا مهمًا لتحقيق QST فعال من خلال استغلال الطبيعة منخفضة الرتبة للعديد من الحالات الكمومية ذات الصلة.
- **التقريب المتقاطع والتهيئة:** يتم استخدام تقنيات مثل التقريب المتقاطع لتنسور القطر لتهيئة حالات الفرضية (مثل MPOs) بكفاءة لـ QST، مما يقلل الحاجة إلى تدريب مكثف من التهيئة العشوائية. (..يتبع)

التصوير المقطعي للحالة الكمومية بمساعدة تعلم الآلة (QST): [الفصل 5] (اكمال)

- **دمج أخطاء القياس:** يعالج البحث تحدي القياسات الضوئية في QST من خلال تطوير طرق تتسم بالقوة ضد الأخطاء الإحصائية.
- **الأساليب الهجينة:** يعد الجمع بين تعلم الآلة الكلاسيكي والقياسات الكمومية في بروتوكولات QST التكرارية أو التكيفية اتجاهًا متزايدًا لتحسين عملية القياس وتحسين دقة إعادة البناء.
- **النماذج التوليدية:** يتم أيضًا استكشاف استخدام نماذج تعلم الآلة التوليدية مثل المشفرات التلقائية المتغيرة (VAEs) والشبكات الخصومية التوليدية (GANs) لإعادة بناء الحالة الكمومية.

الاتجاهات الشاملة والاتجاهات المستقبلية (بحسب موضوع البحث والأدبيات بشكل اوسع):

- **الخوارزميات الهجينة الكمومية الكلاسيكية (Hybrid Quantum-Classical Algorithms):** تعكس الأطروحة بقوة الاتجاه الأوسع نحو تطوير خوارزميات هجينة تستفيد من نقاط قوة الحوسبة الكمومية والكلاسيكية، مع لعب تعلم الآلة دورًا حاسمًا في خطوات المعالجة والتحسين الكلاسيكية.
- **التركيز على تحديات عصر NISQ (Focus on NISQ Era Challenges):** يمثل موضوع مركزي في معالجة القيود والتحديات التي تواجه أجهزة NISQ، بما في ذلك الضوضاء، وعدد الكيوبتات المحدود، وأوقات التماسك القصيرة. يتم استكشاف تعلم الآلة كأداة لتخفيف الأخطاء (error mitigation)، وتوصيف الضوضاء (noise characterization)، واستخراج معلومات مفيدة من الحسابات الكمومية الضوضائية.
- **قابلية التوسع والكفاءة (Scalability and Efficiency):** هناك دافع مستمر لتطوير تقنيات تعلم آلة أكثر قابلية للتوسع وفعالية من الناحية الحسابية للتطبيقات الكمومية، مما يتيح دراسة الأنظمة الكمومية الأكبر والأكثر تعقيدًا. (.. يتبع)

الاتجاهات الشاملة والاتجاهات المستقبلية (بحسب موضوع البحث والأدبيات بشكل اوسع): (اكمال)

- **التكامل مع المحاكيات والأجهزة الكمومية (Integration with Quantum Simulators and Hardware):** من المرجح أن يشهد البحث المستقبلي تكاملًا أكثر إحكامًا لتعلم الآلة مع المحاكيات الكمومية وأجهزة الكموم الفعلية. يتضمن ذلك استخدام تعلم الآلة للتحكم في الوقت الفعلي (real-time control)، والتحسين التلقائي (feedback optimization)، والتوصيف التلقائي للأجهزة الكمومية (automated characterization of quantum devices).
- **تطوير نظرية تعلم الآلة الكمومية (Development of Quantum Machine Learning Theory):** بينما تركز الأطروحة على التطبيقات، يشهد المجال أيضًا تقدمًا كبيرًا في تطوير الأسس النظرية لتعلم الآلة الكمومية، بما في ذلك فهم القوة التعبيرية للشبكات العصبية الكمومية (expressive power of quantum neural networks)، وقابلية تعلم الحالات الكمومية (learnability of quantum states)، والمزايا الكمومية المحتملة في مهام تعلم الآلة.
- **التعاون متعدد التخصصات (Interdisciplinary Collaboration):** المجال متعدد التخصصات بطبيعته، ويتطلب خبرة من فيزياء الكم، وعلوم الكمبيوتر، وتعلم الآلة. سيكون استمرار وتعزيز التعاون عبر هذه المجالات أمرًا بالغ الأهمية للتقدم المستقبلي.



Thank You