



RSC813-3

دراسات نقدية 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

رسالة الدكتوراه

تحليل تقييم نتائج الدراسة وفحص مدى ارتباطها بالفرضيات البحثية.

- التعريف بالبحث
- تحليل النتائج والفرضيات
- نقاط المميّزة والمحدودية
- التوجهات 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

تقييم البحث ونتائجه (التعريف)

التعريف بالبحث:

البحث يقدم تحقيق شامل للتطبيقات العملية لتعلم الالة لمحاكاة الانظمة الكمومية متعددة الاجسام والتحكم فيها وفهمها. البحث يستفيد من تقنيات تعلم الالة المختلفة، بما فيها التعلم المتغير باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية، وخوارزميات التحكم الامثل الكمومي القائمة على تعلم الالة، وطرق التعلم غير الخاضعة للاشراف لانتقالات الطور الكمومي، بالإضافة للتصوير المقطعي للحالة الكمومية بمساعدة تعلم الالة. النتائج بشكل عام بتدعم بقوة الفرضية المركزية التي تقول ان ادوات تعلم الالة ممكن تساهم بشكل كبير في تطوير التقنيات الكمومية في اعدادات واقعية.

سيتم تحليل النتائج وارتباطها بشكل متتابع لكل فصل على النحو التالي:

- الفصل الثاني: التعلم المتغير للحالات الكمومية متعددة الاجسام.
- الفصل الثالث: تصميم بوابات كمومية ثنائية الكيوبت محسنة السرعة:
- الفصل الرابع: التعلم غير الخاضع للاشراف لانتقالات الطور الكمومي:
- الفصل الخامس: التصوير المقطعي للحالة الكمومية بمساعدة تعلم الالة:

الفصل الثاني: التعلم المتغير للحالات الكمومية متعددة الاجسام:

- **النتائج:** يوضح هذا الفصل أن التعلم المتغير باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية (تحديدًا آلات بولتزمان المقيدة (RBMs) ومقدرات كثافة الانحدار الذاتي العصبية الكمومية (QNADEs)) يمكن أن يحاكي الأنظمة الكمومية متعددة الأجسام بكفاءة. يُظهر البحث أن حالات الشبكة العصبية هذه (NQS) يمكن أن تقرب بدقة الحالات الأرضية لنماذج مثل نموذج إيزينج المستعرض أحادي البعد (TFIM)، وهاملتونيان XXZ $S=1$ أحادي البعد، وهاملتونيان المجموعة، وغالبًا ما تحقق نتائج قابلة للمقارنة أو تتجاوز الطرق التقليدية مثل حالات ضرب المصفوفة (MPS) في سياقات معينة. علاوة على ذلك، تسلط الأطروحة الضوء على التسريع الكبير (يصل إلى 100 ضعف) الذي تم تحقيقه باستخدام تسريع وحدة معالجة الرسومات لتقنية أخذ العينات الانحدار الذاتي المتوازية بالكامل داخل QNADEs.
- **أهمية الفرضية:** تدعم هذه النتائج بقوة الفرضية التي تنص على أن الشبكات العصبية الاصطناعية يمكن أن تكون بمثابة فرضيات متغيرة قوية وفعالة لتمثيل ومحاكاة الحالات الكمومية متعددة الأجسام. يؤكد الدليل التجريبي لحسابات طاقة الحالة الأرضية الدقيقة لمختلف الهاملتونيين والمزايا الحسابية التي تم إثباتها لتسريع وحدة معالجة الرسومات على الفائدة العملية لهذا النهج لنمذجة الأنظمة الكمومية متعددة الأجسام الجديدة.

الفصل الثالث: تصميم بوابات كمومية ثنائية الكيوبت محسنة السرعة:

النتائج: يركز هذا الفصل على خوارزمية التحكم الأمثل الكمومي القائمة على تعلم الآلة (محسن النبض المتغير) لتصميم بوابات كمومية ثنائية الكيوبت محسنة السرعة. يوضح البحث قدرة هذه الخوارزمية على إيجاد أشكال النبض (المربع وغوسي) التي تحقق دقة عالية لبوابات CNOT و SWAP و $\sqrt{\text{SWAP}}$ على شريحة ترانسمون ثنائية الكيوبت. غالبًا ما تصل البوابات المحسنة إلى دقة تتجاوز 99% مع أوقات بوابة تقترب من الحدود النظرية للسرعة أو حتى تتجاوزها. تدرس الدراسة أيضًا مرونة الضوضاء لهذه النبضات المحسنة للضوضاء الفأوسية العشوائية.

أهمية الفرضية: تقدم النتائج في هذا الفصل دعمًا قويًا للفرضية التي تنص على أنه يمكن استخدام تعلم الآلة بشكل فعال للتحكم الأمثل في الأنظمة الكمومية، وتحديدًا في تصميم بوابات كمومية عالية الدقة وسريعة. يؤكد التحقيق التجريبي وقياس هذه النبضات المحسنة على التطبيق العملي لتقنيات التحسين المتغير لتحقيق تحكم محسّن في أجهزة الكموم.

الفصل الرابع: التعلم غير الخاضع للإشراف لانتقالات الطور الكمومي:

النتائج: يستكشف هذا الفصل استخدام تقنيات تعلم الآلة غير الخاضعة للإشراف، مثل تحليل المكونات الرئيسية (PCA) وخرائط الانتشار، للكشف عن انتقالات الطور الكمومي (QPTs) وتوصيفها. يطبق البحث هذه الطرق على نماذج مثل نموذج إيزينج المستعرض Zn (نموذج الساعة الكيرالي) ويوضح قدرتها على تحديد حدود الطور وربما الكشف عن معلمات الترتيب الأساسية دون معرفة مسبقة بالأطوار. ثبت أن خرائط الانتشار، مع معلمة قابلة للتعديل ϵ ، فعالة بشكل خاص في تعلم مخططات الطور المعقدة.

أهمية الفرضية: تدعم النتائج في هذا الفصل الفرضية التي تنص على أن التعلم غير الخاضع للإشراف يمكن أن يكون بمثابة أداة قيمة لاستكشاف وفهم الأطوار الكمومية للمادة وانتقالاتها. تسلط قدرة هذه الخوارزميات على استخراج الميزات ذات الصلة من عينات القياس وتحديد الأطوار المتميزة الضوء على إمكاناتها لاكتشاف الظواهر الكمومية الجديدة.

تحليل النتائج والفرضيات

6

الفصل الخامس: التصوير المقطعي للحالة الكمومية بمساعدة تعلم الآلة:

- **النتائج:** يحقق هذا الفصل في تطبيق تقنيات تعلم الآلة، بما في ذلك عوامل ضرب المصفوفة (MPOs) وعتبة القيمة المفردة (SVT) والتقريب المتقاطع لتنسور القطر، على مشكلة التصوير المقطعي للحالة الكمومية (QST). يوضح البحث أن التقريب المتقاطع لتنسور القطر يمكن أن يعيد بناء الحالات الكمومية (الحالات الحرارية وحالات شبكة التنسور المنقاة محليًا (LPTN) العشوائية) بكفاءة مع عدد أقل من القياسات مقارنة بالتصوير المقطعي المباشر. علاوة على ذلك، تُظهر الأطروحة أنه يمكن استخدام التعلم الآلي الخاضع للإشراف لتحسين دقة MPOs التي تم تهيئتها عن طريق التقريب المتقاطع. يعزز استخدام MPOs لأساس باولي وأخذ العينات الانحدار الذاتي كفاءة عملية التصوير المقطعي.
- **أهمية الفرضية:** تدعم النتائج في هذا الفصل بقوة الفرضية التي تنص على أن تعلم الآلة يمكن أن يعزز بشكل كبير كفاءة ودقة التصوير المقطعي للحالة الكمومية. يسلط التخفيض الذي تم إثباته في متطلبات القياس والتحسين في دقة إعادة البناء من خلال المساعدة في تعلم الآلة الضوء على إمكانيات هذه التقنيات لتوصيف الحالات الكمومية في أجهزة عصر الكم الضوئي متوسط النطاق (NISQ) وما بعده.

النقاط المميزة والمحدودية

7

النقاط المميزة:

البحث تقدم استكشاف واسع ومتعمق لتطبيقات تعلم الآلة في الحوسبة والمحاكاة الكمومية. البحث يجمع بين التطورات النظرية والمحاكاة العددية والتحقق التجريبي في مجال التحكم الكمومي. الأطروحة تظهر إمكانيات تعلم الآلة لتسريع عمليات المحاكاة الكمومية وتحسين التحكم في أجهزة الكموم وتسهيل اكتشاف الظواهر الكمومية وتوصيف الحالات الكمومية.

المحدودية:

البحث يقر بأن قابلية التوسع لبعض طرق المحاكاة القائمة على الشبكات العصبية لأحجام الأنظمة الكبيرة جدًا لسه تمثل تحدي. بينما يتم تقديم نتائج تجريبية لتحسين البوابة الكمومية، ممكن يكون فيه حاجة لمزيد من البحث لتقييم قابلية التعميم لمنصات الكيوبت الأخرى ومعالجة تأثير بيئات الضوضاء الأكثر تعقيدًا. كمان ممكن اعتبار عدد الكيوبتات المستخدمة في بعض عمليات المحاكاة والقيود المحددة للإعداد التجريبي (زي ما هو مذكور في الفصل الثالث) قيود من حيث النطاق الكامل للتطبيق.

Future directions التوجهات المستقبلية

يقترح الباحث بشكل غير مباشر العديد من التوجهات للأبحاث المستقبلية، بما في ذلك:

- تطوير نماذج تعلم آلة أكثر قابلية للتوسع وتعبيرًا للأنظمة الكمومية متعددة الأجسام.
- استكشاف استخدام تعلم الآلة لتصحيح الأخطاء الكمومية وتخفيفها.
- مواصلة التحقيق في تطبيق التعلم غير الخاضع للإشراف لتحديد وتصنيف الأطوار الطوبولوجية* للمادة.
- تطوير تقنيات تعلم آلة أكثر قوة وكفاءة في أخذ العينات للتصوير المقطعي للحالة الكمومية، خاصة في وجود الضوضاء.
- استكشاف تكامل تعلم الآلة مع التحكم في الوقت الفعلي في التجارب الكمومية.

* في عالم المواد، توجد أيضًا اختلافات جوهرية بين بعض المواد، حتى لو بدت متشابهة من الخارج. هذه الاختلافات تسمى "الأطوار الطوبولوجية".



Thank You