



RSC813-3

دراسات نقدية 3

Task7

Prepared by

Mohammed Omar Bin Makhashen

242001540@st.midocean.edu.km

محمد عمر بن مخاشن

Ph.D. student in IT

2025-Mar-22

المحتوى

رسالة الدكتوراه

اختيار رسال دكتوراه في مجال QML

- التعريف بالبحث
- تحديد الفجوات البحثية التي اشار اليها الباحث
- تحليل مدى اسهام الرسالة محل الدراسة في تطوير الموضوع البحثي في غلق الفجوات البحثية
- خاتمة

**عنوان الرسالة: Reinforcement learning based methods for optimal control and design of quantum systems:
طرق قائمة على التعلم المعزز للتحكم الأمثل وتصميم الأنظمة الكمومية**

اسم الباحثة: Sofia Sgroi

الجهة المانحة للدرجة: Queen's University Belfast

تاريخ المناقشة: ٢٠٢٤

نبذة عن الأطروحة ومجالهما

2

لذا،
مجا
يمثل
هذا
البحث

لا علمياً وتقنياً ديناميكياً وعصرياً: تصميم أنظمة الكم والتحكم بها باستخدام تقنيات مثلى. تسعى هذه الرسالة إلى إنشاء طرق جديدة لاستغلال
بينما لا تركز هذه الرسالة بشكل أحادي على بناء خوارزميات QML، إلا أنها تعتمد بشكل كبير على تقنيات الذكاء الاصطناعي التقليدية (AI) لحل المشكلات الكمومية. ومع ذلك، فإن هذا النهج يقع ضمن الإطار الأوسع للاهتمام بـ QML الذي يغطي استخدام الخوارزميات الكلاسيكية والكمومية للتعامل مع قضايا أنظمة الكم.

البحث كان يركز في استكشاف وتطوير حلول جديدة في تصميم والتحكم الأمثل في الأنظمة الكمومية، وهو مجال بالغ الأهمية لتقدم التقنيات الكمومية (Quantum Technologies). واتت الأطروحة في تخطئ القوام ال Setterimes ة تفرضها التعددية الأساليب التحليلية والرقمية التقليدية من طريقة باستخدام قوة التعلم الآلي (Machine Learning)، واضتناحاً التعلم المعزز (Reinforcement Learning - RL) كأداة طاقتهم عسء للتحكم بالنظم الكمومية الكمبي foreclosure وتصميمها. وتحدد الأطروحة مجموعة من الفجوات البحثية الهامة:

- **الفجوة الأولى: الحاجة إلى طرق فعالة لتصميم والتحكم في الأنظمة الكمومية. (مقدمة البحث)**

- كما ذكر الباحث: "Finding new and more effective methods to optimally design and control quantum systems is a key ingredient for the development of Quantum Technologies".
- "إن إيجاد طرق جديدة وأكثر فعالية لتصميم الأنظمة الكمومية والتحكم بها على النحو الأمثل هو عنصر أساسي لتطوير التقنيات الكمومية
- الأهمية: الطرق التقليدية غالباً ما تكون غير كافية للتعامل مع تعقيد الأنظمة الكمومية الكبيرة. هناك حاجة لأساليب جديدة أكثر قوة ومرونة.

تحديد الفجوات البحثية:

- الفجوة الثانية: الحاجة إلى تقليل تبديد الطاقة (Energy Dissipation) وعدم الانعكاسية (Irreversibility) في تحولات الديناميكا الحرارية الكمومية. (الفصل الخامس)

- كما ذكر الباحث: "we design techniques to find optimal protocols to reduce energy dissipation and irreversibility arising...".
"from non-equilibrium thermodynamic transformations of closed quantum systems

- "...نصمم تقنيات لإيجاد بروتوكولات مثالية لتقليل تبديد الطاقة وعدم الانعكاسية الناشئة عن التحولات الديناميكية الحرارية غير المتوازنة للأنظمة الكمومية المغلقة."

- العمليات الديناميكية الحرارية في الأنظمة الكمومية لا تكون مثالية، وتؤدي إلى فقدان الطاقة. يجب إيجاد طرق لتقليل هذا الفقدان.

- الفجوة الثالثة: الحاجة إلى تحقيق نقل متماسك للسكان (Coherent Population Transfer - CPT) في الأنظمة ثلاثية المستويات. (الفصل السادس)

- كما ذكر الباحث: "We use a similar approach to achieve coherent population transfer in three-level systems and combine our results with simpler numerical optimization techniques to simplify and improve our solutions

- "نستخدم نهجًا مماثلًا لتحقيق نقل متماسك للسكان في الأنظمة ثلاثية المستويات ونجمع نتائجنا بتقنيات تحسين رقمية أبسط لتبسيط وتحسين حلولنا."

- الـ CPT هو طريقة أساسية للتحكم في الحالات الكمومية. تحسين هذه الطريقة في الأنظمة المعقدة يمثل تحديًا.

- الفجوة الرابعة: الحاجة إلى طرق لتصميم الأنظمة الكمومية المثالية مع معرفة محدودة بخصائص النظام. (الفصل السابع)

- كما ذكر الباحث: "In general, Reinforcement Learning can be deployed for optimal quantum systems design when the problem of designing a physical system for a given task can be translated into a problem of optimal decision making. This is especially useful when we have limited knowledge on the system properties"
- "بشكل عام، يمكن استخدام التعلم المعزز لتصميم الأنظمة الكمومية المثالية عندما يمكن ترجمة مشكلة تصميم نظام فيزيائي لمهمة معينة إلى مشكلة اتخاذ قرار مثالي. وهذا مفيد بشكل خاص عندما تكون لدينا معرفة محدودة بخصائص النظام..."
- الأهمية: في كثير من الأحيان، لا نعرف كل شيء عن النظام الكمومي الذي نريد تصميمه. يجب إيجاد طرق تصميم تعمل حتى في ظل هذه القيود.

- الفجوة الخامسة: الحاجة إلى طرق لتحسين المتغيرات المنفصلة (Discrete Variables) أو إجراء تحسينات متعددة (Multi-Objective Optimization) في ظل ظروف مختلفة. (الفصل السابع)

- كما ذكر الباحث: "or when we need to optimize discrete variables or perform multiple optimizations under different... conditions"
- "...أو عندما نحتاج إلى تحسين المتغيرات المنفصلة أو إجراء تحسينات متعددة في ظل ظروف مختلفة"
- الأهمية: بعض جوانب تصميم الأنظمة الكمومية تتطلب اختيار قيم معينة (متغيرة) من مجموعة محددة، أو تحسين النظام لأكثر من حالة أو وضع تشغيل.

الاسهامات التي ساعدت في اغلاق الفجوات

مقدمة

- للتغلب على هذه التحديات وسد هذه الفجوات، يقترح الباحث على حل يعتمد على التعلم المعزز (- Reinforcement Learning (RL)، وتتجلى مساهمة البحث في تطوير الموضوع البحثي في غلق هذه الفجوات من خلال:
 - 1- المساهمة في: تطوير إطار عمل عام للتحكم الكمومي الأمثل يعتمد على التعلم المعزز (الفصول 4 و 5 و 6): يسمح هذا الإطار بتدريب وكلاء (agents) يتفاعلون مع الأنظمة الكمومية ويتعلمون كيفية التحكم الأمثل بها.
 - الفجوة التي تم سدها: (1) الحاجة إلى طرق فعالة لتصميم والتحكم في الأنظمة الكمومية.
 - أهمية المساهمة: يوفر طريقة جديدة قوية للتحكم في الأنظمة الكمومية المعقدة، خاصة في الحالات التي تكون فيها المعرفة بخصائص النظام محدودة، مما يفتح الباب لتطبيقات جديدة في الحوسبة الكمومية والاتصالات الكمومية وغيرها.
 - 2- المساهمة: تطبيق التعلم المعزز في سياق الديناميكا الحرارية الكمومية لتقليل تبديد الطاقة (Energy Dissipation) وعدم الانعكاسية (Irreversibility) (الفصل الخامس): تم استخدام التعلم المعزز لتقليل تبديد الطاقة وعدم الانعكاسية في العمليات الديناميكية الحرارية الكمومية.
 - الفجوة التي تم سدها: (2) الحاجة إلى تقليل تبديد الطاقة وعدم الانعكاسية في تحولات الديناميكا الحرارية الكمومية.
 - أهمية المساهمة: يساهم هذا التطبيق في تطوير آلات وأجهزة كمومية أكثر كفاءة من خلال تقليل الخسائر الناتجة عن العمليات غير القابلة للانعكاس، مما يؤدي إلى تحسينات كبيرة في مجالات مثل استخراج الطاقة الكمومية والتبريد الكمومي.

الاسهامات التي ساعدت في اغلاق الفجوات

- ٣- استخدام التعلم المعزز لتحقيق نقل شبه كامل للسكان (Coherent Population Transfer - CPT) في الأنظمة ثلاثية المستويات (الفصل السادس): تم ذلك من خلال إيجاد بروتوكولات تحكم جديدة.
 - الفجوة التي تم سدها: (3) الحاجة إلى تحقيق نقل متماسك للسكان في الأنظمة ثلاثية المستويات.
 - أهمية المساهمة: يوفر طرقًا جديدة لتحقيق نقل متماسك وموثوق للسكان في الأنظمة الكمومية، وهو أمر بالغ الأهمية لتطبيقات مثل الحوسبة الكمومية القائمة على الكيوبتات ثلاثية المستويات.
- ٤- تطبيق التعلم المعزز لتصميم الأنظمة الكمومية المثالية (الفصل السابع): على سبيل المثال، تم تصميم سلسلة الكيوبت المثالية لنقل الإثارة (Excitation Transfer).
 - الفجوة التي تم سدها: (4) الحاجة إلى طرق لتصميم الأنظمة الكمومية المثالية مع معرفة محدودة بخصائص النظام.
 - أهمية المساهمة: يوضح كيف يمكن استخدام التعلم المعزز لتصميم أنظمة كمومية مخصصة لتطبيقات معينة، مما يفتح الباب أمام تصميم أجهزة كمومية ذات أداء محسن حتى مع وجود معلومات غير كاملة.

الاسهامات التي ساعدت في اغلاق الفجوات

- 0- إظهار قدرة التعلم المعزز على تحسين المتغيرات المنفصلة (Discrete Variables) وإجراء تحسينات متعددة (Multi-Objective Optimization) في ظل ظروف مختلفة (الفصل السابع): تم توضيح ذلك في سياق تصميم سلسلة الكيوبت.
- الفجوة التي تم سدها: (5) الحاجة إلى طرق لتحسين المتغيرات المنفصلة أو إجراء تحسينات متعددة في ظل ظروف مختلفة.
- أهمية المساهمة: يثبت أن التعلم المعزز يمكن أن يكون أداة قوية لتصميم أنظمة كمومية قوية وقابلة للتكيف من خلال التعامل مع سيناريوهات معقدة تتطلب تحسين جوانب مختلفة في ظل ظروف متغيرة.

الخاتمة

9

ينتهي بهذا البحث باستعراض موجز عن استهدفت تطوير أساليب مبتكرة لتصميم والتحكم الامثل في الانظمة الكمومية، وهو مجال يكتسب اهمية متزايدة في ظل التطور المتسارع للتقنيات الكمومية. هذا العمل يهدف الى رصد مجموعة من الفجوات البحثية ذو أهمية كبيرة وهي التي تحول دون التقدم في هذا النظام، منها العجز عن المنهج تحكم أكثرأثراً في العمليات الديناميكية الحرارية الكمومية، وتقليل تبديد الطاقة في هذه المنظومات، واكتشاف وصل إلى نقل متماسك للسكان الانظمة المعقدة، والمحاكاة لتوليد انظمة كمومية قوية مع تدابير مقيدة للوصول إلى ومعرفة محدودة، وحفظ المتغيرات المنفصلة بظروف تختلف.

ولغاية سد الفجوات، اختار هذا البحث على القوة التعلم المعزز (Reinforcement Learning - RL) في صورة أداة مرنة وقابلة للتكيف. ونتيجة لذلك النهج مجموعة من الاسهامات الهامة، حينما تطور اطار عمل عام للتحكم الكمومي الامثل، وتطبيقات محددة في الديناميكا الحرارية الكمومية ونقل السكان المتماسك، ومنهجية لتصميم انظمة كمومية مخصصة مثل سلاسل الكيوبت. بفضل تلك الاسهامات، يعهد البحث الاساس لمزيد من التقدم في تصميم وانشاء اجهزة كمومية متطورة قادرة على تحقيق امكانات التقنيات الكمومية بشكل كامل.



Thank You