

## PROGRAMA DE VINCULACIÓN DE CIENTÍFICOS Y TECNÓLOGOS - Convocatoria 2018

Modelos de Tiempo Continuo para Computación Cuántica (PVCT18-102)

Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción

Alejandro Díaz-Caro y Marcos Villagra

### RESUMEN

Este proyecto de vinculación ayudó a fortalecer colaboraciones futuras entre la Universidad Nacional de Asunción y la Universidad Nacional de Quilmes en el área de computación cuántica. La computación cuántica es una tecnología emergente que promete mejorar todas las tecnologías de la información y comunicación, permitiendo la solución eficiente de problemas relevantes, comunicaciones perfectamente seguras y otros. El Paraguay debe de mantenerse realizando también aportes en esta área muy popular a nivel mundial, y esta vinculación pretende contribuir en ello. Como resultado de esta vinculación se pudo lograr terminar un artículo científico que fue aceptado para su publicación en el *7th International Conference on the Theory and Practice of Natural Computing (TPNC 2018)* a realizarse en Dublín, Irlanda, del 12 al 14 de Diciembre de 2018 y será publicado en la prestigiosa serie *Lecture Notes in Computer Science* de Springer.

#### OBJETIVOS

1. Realizar actividades de investigación en el área de computación cuántica para poder escribir un artículo científico en el corto plazo.
2. Iniciar los contactos entre colegas científicos de la Universidad Nacional de Quilmes y la Universidad Nacional de Asunción de manera a buscar puntos de interés común.

#### APORTES DE LA ESTANCIA

Un modelo de hardware bien conocido para computadoras cuánticas es el modelo QRAM. La idea consiste en que un dispositivo cuántico se conecta a un computador clásico que controla todas las operaciones. Muchos lenguajes de programación fueron propuestos y estudiados utilizando este modelo donde la parte clásica construye el circuito y la parte cuántica manipula los estados cuánticos. Este paradigma se lo conoce como "control clásico, datos cuánticos".

De manera a entender las capacidades y limitaciones de computadores cuánticos con control clásico es importante conceptualizar un modelo formal de computaciones cuánticas que incorpore de alguna manera una idea de control clásico. El modelo más simple de computación conocido actualmente es el de los autómatas de estado finito, y se puede decir que es el modelo más adecuado para iniciar un estudio de nuevos métodos de computación.

El primer modelo de un autómata cuántico con control clásico fue estudiado por Ambainis y Watrous [1] y consistía en un autómata cuántico de dos direcciones con estados internos clásicos y cuánticos, además de poseer un cabezal de lectura clásico.

Ambainis y Watrous [1] demostraron que para este modelo de autómata cuántico existen lenguajes no regulares que pueden reconocerse en tiempo polinomial esperado, mientras que para los mismos lenguajes

cualquier otro autómata probabilístico clásico de dos direcciones requiere de tiempo exponencial esperado.

Otra forma de introducir componentes clásicos en computaciones cuánticas es en el contexto de sistemas de pruebas interactivos (QIP) con autómatas como verificadores [4,5,6]. Estos trabajos demostraron que tener a un autómata cuántico interactuando con un demostrador cuántico o clásico ayuda al autómata a reconocer más lenguajes.

En todos los trabajos anteriormente mencionados el control clásico es implementado utilizando circuitos discretos, esto es, un "programa" decide que compuertas aplicar a que qubits. Sin embargo, un computador cuántico puede hacer mucho más que aplicar matrices discretas. De hecho, la ecuación de Schrödinger, que gobierna la evolución en el tiempo de todos los sistemas cuánticos cerrados, se define sobre tiempo continuo, y sus soluciones son operadores unitarios dependientes del tiempo.

En este trabajo presentamos un tipo nuevo de control clásico en donde todas las operaciones unitarias de un autómata cuántico dependen del tiempo, y sus evoluciones en el tiempo pueden ser ajustadas de manera a asistir al autómata en sus computaciones. De forma a controlar el tiempo de ejecución de cada operación unitaria introducimos una idea de un planificador (del inglés *scheduler*) que alimenta al autómata un calendario de ejecución que especifica por cuánto tiempo cada operación unitaria debe de ejecutarse. Llamamos a este modelo en inglés *classical time-controlled quantum automaton* o CTQA.

#### RESULTADOS

Los resultados completos obtenidos son reportados en la referencia [2] y está habilitado para su descarga gratuita a todo público. Estos resultados pueden resumirse en los siguientes puntos.

1. Definición formal de un nuevo modelo de computación cuántica de tiempo continuo basado en autómatas finitos.
2. Se demostró matemáticamente el poder computacional del modelo propuestos cuando el planificador no tiene ninguna restricción.
3. Cuando el planificador tiene restricciones computacionales, se demostró que aún así el modelo de autómata puede resolver más problemas computacionales con respecto al modelo de autómata no asistido.

#### VISIÓN Y PLANES FUTUROS

1. Preparar una versión para revista de los resultados.
2. Continuar con esta línea de investigación original colaborando a distancia y visitas periódicas.

#### REFERENCIAS

- [1] Ambainis, A., Watrous, J.: Two-way finite automata with quantum and classical states. *Theoretical Computer Science* 287(1), 299-311 (2002).
- [2] Díaz-Caro, A., Villagra, M.: Classically Time-Controlled Quantum Automata. ArXiv:1807.05385.
- [3] Nishimura, H., Yamakami, T.: An application of quantum finite automata to interactive proof systems. *Journal of Computer and System Sciences* 75(4), 255-269 (2009).
- [4] Say, A., Yakaryilmaz, A.: Magic coins are useful for small-space quantum machines. *Quantum Information & Computation* 17(11-12), 1027-1043 (2017).
- [5] Villagra, M., Yamakami, T.: Quantum and reversible verification of proofs using constant memory space. In: Proc. TPNC 2014, LNCS 8890, pp. 144-156 (2014).
- [6] Villagra, M., Yamakami, T.: Quantum state complexity of formal languages. In: Proc. DCFS 2015, LNCS 9118, pp. 280-291 (2015).

**"Esta estancia de (Investigación, Transferencia tecnológica o Internacionalización de la Educación superior) fue cofinanciada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - CONACYT con recursos del FEEI"**