

## Modelado y Análisis Probabilístico de Sistemas Híbridos

Vilallonga, Gabriel<sup>1,2</sup>; Riesco, Daniel<sup>2</sup>, Sérgio Campos<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Informática de la Facultad de Ciencias Físico, Matemáticas y Naturales de la Universidad Nacional de San Luis. Ejercito de los Andes 950. San Luis

Tel: +54 (0266) 4520300. Int. 2127

<sup>2</sup>Departamento Sistemas de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca

Maximio Victoria N° 55 - C.P: 4700 - San Fernando del Valle de Catamarca

Telefono: 03834- 435112 – int 168

<sup>3</sup>Department of Computer Science, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, 30123-970, Belo Horizonte, Brazil.

[gvilallo@tecno.unca.edu.ar](mailto:gvilallo@tecno.unca.edu.ar)/[unsl.edu.ar](mailto:unsl.edu.ar), [driesco@unsl.edu.ar](mailto:driesco@unsl.edu.ar), [scamposg@dcc.ufmg.br](mailto:scamposg@dcc.ufmg.br)

### Resumen

Los sistemas híbridos, se han tornado de gran interés en la comunidad científica a partir del desafío que presenta el estudio de sus dinámicas, las continuas y las discretas, y el estudio y comprensión de sus interacciones. Estas puede tomar diversas formas, las más comunes ocurren cuando cambian de estado entre diferentes procesos continuos. Otras formas de interacción incluyen transiciones discretas que dependen de evoluciones continuas, u otras aparecen como resultados de una decisión, o por la ocurrencia de ciertos eventos.

Un sistema híbrido probabilístico considera la distribución de probabilidad de ambas dinámicas, y se enfoca el análisis en lo referido a la alcanzabilidad probabilística. El acercamiento numérico sufre del problema de explosión de estados y son computacionalmente muy exigentes. Un método alternativo de análisis es el realizado por medio de Model Checkers Probabilísticos. En nuestra línea de investigación proponemos el modelado y estudio de estos sistemas, como parte de la verificación y validación de sistemas desde un punto de vista de la ingeniería de software por medio de herramientas de model checking. En una primera etapa se centrará en modelos, específicamente de sistemas biológicos, con el

objetivo de mejorar el poder predictivo de modelos formales existentes.

**Palabras claves:** Sistemas Híbridos (SH), Sistemas Híbridos Probabilísticos (SHP), Model Checking (MC), Model Checking Probabilístico (MCP), Sistemas Biológicos (SB), Ingeniería de Software (IS).

### Contexto

El proyecto de investigación “*Fortalecimiento de la Calidad y la Productividad en Ingeniería de Software*”, posee una línea de investigación dedicada a la verificación y validación de sistemas. Dentro de ella es que se prevé trabajar con SHP.

El mencionado proyecto es evaluado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Catamarca y se desarrolla y ejecuta en ámbitos del Departamento de Informática de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la UNCa y en el Departamento de Informática de la Facultad de Ciencias Físico, Matemáticas y Naturales de la Universidad Nacional de San Luis donde los integrantes se desempeñan como docentes de la carrera de Ingeniería en Informática (UNCa), e Ingeniería en Informática y Licenciatura en Ciencias de la Computación (UNSL) respectivamente. También se cuenta con el convenio establecidos entre la UNSL y la Universidad

Federal de Minas Gerais (UFMG), en el marco del programa Centros Asociados para el Fortalecimiento de Posgrados Brasil/Argentina (CAFP-BA) tanto para maestrías como para doctorados. Por medio de esta se ha logrado generar un nexo con investigadores responsables del LABORATÓRIO DE NEUROCIÊNCIA EXPERIMENTAL E COMPUTACIONAL DR. ARISTIDES AZEVEDO PACHECO LEÃO (LANEC) de la Universidad Federal de Sao João del-Rei, (UFSJ) en lo que respecta a los sistemas biológicos, los cuales se propone estudiar.

Esta línea de investigación, inserta en el proyecto, establece como prioridad la formación científico-técnico de los integrantes con la premisa de proceder a la transferencia de resultados a los medios informáticos como así también al ámbito biológico.

## Introducción

Los SH se encuentran en la vida cotidiana, desde una pelota picando, hasta autos sofisticados, trenes, aviones, robots, sistemas biológicos, entre otros. Estos presentan un gran desafío en el área computacional no solo en el estudio de estos, sino que también en las herramientas que se poseen para su modelado y análisis. La coexistencia de la dinámica continua y discreta plantean una mejora a los modelos matemáticos hasta ahora vigentes, como así también de las herramientas de análisis disponibles en la actualidad. Aunque el acercamiento numérico es altamente preciso, este sufre del problema de la explosión de estados y de ser computacionalmente muy exigente.

Las aplicaciones modernas de SH han ido creciendo en complejidad. Esto se da debido a alta interacción, las dinámicas complejas, el comportamiento cambiante, falta de certeza en mediciones y la tolerancia a las fallas. Muchas veces la manera de reducir la complejidad en el estudio de estos tipos de sistemas ha sido empleando modelos probabilísticos. La aleatoriedad se ha convertido en un método estándar en el modelado y análisis de modelos complejos. El hecho es que los SHP [1] en la actualidad son un tópico de gran interés. El

estudio de este tipo de sistemas permite un acercamiento a familias de modelos que resultan de varios tipos de aleatoriedad de sistemas híbridos. Existen SHP con distribuciones de probabilidad asociadas solamente a transiciones discretas. Otros modelos probabilísticos consideran el ruido que perturba la evolución continua. En la forma más general, un SHP considera la distribución de probabilidad para ambos, transiciones discretas y continuas, y, además, estas distribuciones pueden depender de otras.

Los modelos probabilísticos y las lógicas temporales como las lógicas estocásticas continuas y las lógicas arborescentes computacionales probabilísticas son a menudo usados para el modelado y análisis de sistemas con el fin de conocer acerca de su rendimiento y confiabilidad. Existen dos acercamientos al análisis de comportamientos probabilísticos, el numérico y el estadístico.

En el acercamiento numérico el modelo formal del sistema es chequeado (model checked) observando su corrección con respecto a la especificación usando métodos numéricos y simbólicos. Los chequeadores de modelos para las diferentes clases de procesos probabilísticos y especificaciones de lógicas han sido desarrollados destacándose los model checkers probabilísticos como UPPAAL [2-4] y PRISM[5]. En estos tipos de sistemas es imperioso el uso de métodos formales que permitan su estudio para garantizar el correcto desempeño.

Como se menciona en párrafos previos nuestro trabajo, en esta primera etapa, se va a centrar en un caso particular de SH, como lo son los procesos biológicos que exhiben cambios de comportamiento. En etapas posteriores, y en forma gradual, se irán incorporando otros sistemas SHP.

En los SB, la naturaleza estocástica de los procesos celulares ha motivado el uso de SHP para el modelado de estos tipos de fenómenos, ya que combinan las generalidades de SH con procesos probabilísticos [6].

Los SHP han mostrado proveer un marco de trabajo adecuado para el modelado de la

evolución temporal de poblaciones de especies químicas involucradas en conjuntos de reacciones químicas. Las reacciones químicas que se producen dentro de la células son frecuentemente modeladas usando formulaciones probabilísticas, las cuales toman en cuenta la aleatoriedad inherente de movimiento molecular térmico [7]. En estos sistemas las reacciones son tratadas como eventos probabilísticos que cambian la población de las especies individuales basadas en la estequiometría de las reacciones.

Desde el punto de vista de la IS, la complejidad de estos tipos de sistemas desafían la capacidad de las herramientas actuales, donde, de las experiencias realizadas por medio de experimentos sobre las herramientas, pueden surgir sugerencias de mejoras y uso de las experiencias de usuarios resultantes. Este último ítem se basa en que muchas veces los sistemas estudiados pertenecen a áreas muy diferentes a la informática, como por ejemplo la biológica, y el lenguaje de comunicación debe ser revisado para una mejor comprensión entre los investigadores de las distintas disciplinas.

Los resultados en esta línea de investigación pueden mejorar el proceso de formación académica, de docentes y alumnos en el desarrollo de aptitudes y de valores, contribuir en la toma de decisiones tácticas y estratégicas de la Facultad, proporcionando un generador de conocimiento y elevando de esta manera la calidad de la educación que favorezca la formación de ingenieros en la Universidad.

### **Línea de Investigación, Desarrollo, e Innovación**

Inserto en el marco del proyecto se encuentra la línea de investigación referida a la validación y verificación de sistemas. En este caso puntual se hace fuerte hincapié en el área de SHP, donde la mayoría de los casos extra informáticos, han sido llevados a cabo por investigadores de la misma área, sin intervención de investigadores de nuestra disciplina. Esto es sumamente notorio en los

primeros contactos interdisciplinarios.

Esta línea de investigación permite abrir una perspectiva multidisciplinar que tiene como efecto sinérgico el trabajo con sistemas reales, de otras áreas, que permiten la revisión de las herramientas informáticas utilizadas en el área de validación y verificación de sistemas complejos.

Estas actividades han exigido realización de cursos acerca de la temática, como así también el estudio de material bibliográfico y de publicaciones científicas.

Es de hacer notar que estos grupos de trabajos están coordinados por docentes investigadores de las distintas universidades.

### **Resultados y Objetivos**

El objetivo principal de esta línea de investigación es el de contribuir de manera efectiva y mensurable en la concreción de aportes concretos al área de verificación y validación insertas en IS aplicada, lo que implica revisión, o nuevas propuestas, de técnicas, metodologías, y el desarrollo de herramientas que asistan al desarrollo de software específico para el trabajo con SHP de una disciplina determinada, en nuestro caso, en esta primer etapa, en la biología.

El efecto deseado, también, es incidir significativamente en las actividades académicas de grado y posgrado, la formación de recursos humanos, y la transferencia al medio.

Estos objetivos están siendo alcanzado gracias al trabajo conjunto entre los equipo de la UNSL-UNCa, UFMG y UFSJ. El trabajo interdisciplinar está generando aportes significativos gracias a la interacción con científicos del LANEC, referido al área biológica, específicamente en el trabajo con Bombas de Sodio-Potasio afectadas con Palitoxina[8,9].

### **Formación de Recursos Humanos**

Esta línea de investigación está en una etapa intermedia, donde integrantes del proyecto desarrollan sus tesis de doctorado y maestría en el marco de la carrera de doctorado en Ingeniería de Software, como así también de

la maestría en Ingeniería del Software en temas específicamente relacionados a la línea de verificación y validación. Además los participantes pertenecen a distintas cátedras de las carreras de ingeniería y licenciatura de las universidades que participan.

Se ha procedido a la incorporación de alumnos de los últimos años con la finalidad de incluirlos en actividades de investigación y desarrollo en las áreas específicas del proyecto

El proyecto prevé un programa de capacitación y formación de recursos humanos, que contempla las siguientes actividades:

- Dirección de tesis de grado de la carrera de Ingeniería en Informática de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la UNCa integrados al proyecto, como así también en la UNSL.
- Participación de los integrantes del proyecto en cursos de actualización y posgrado en el área de estudio.

Para garantizar la capacitación y actualización del equipo de investigación, así como la difusión de los avances y resultados logrados, se propuso la participación en eventos nacionales e internacionales de la especialidad, como congresos, simposios, seminarios y cursos.

## Bibliografía

[1] G. Pola, M. L. Bujorianu, J. Lygeros, and M. D. D. Benedetto. Stochastic hybrid models: an overview. Proc. of the IFAC Conference on Analysis and Design of Hybrid Systems, pages 45-50, 2003.

[2] David, A., Larsen, K.G., Mikucionis, M., Poulsen, D.B.. Statistical Model Checking for Stochastic Hybrid Systems. In Proc. HSB 2012. Computational Engineering, Finance, and Science (cs.CE); Software Engineering (cs.SE). arXiv:1208.3856. 2012.

[3] Bulychev, P., David, A., Larsen, K.G., Mikucionis, M., Legay, A., Wang, Z.. UPPAAL-SMC: Statistical Model Checking for Priced Timed Automata. Logic in Computer Science, Formal Languages and Automata Theory. In Proceedings QAPL 2012. DOI:10.4204=EPTCS.85.1

[4] Uppaal in a nutshell. Kim G. Larsen, Paul Pettersson, Wang Yi. International Journal on Software Tools for Technology Transfer. December 1997, Volume 1, Issue 1-2, pp 134-152.

[5] Kwiatkowska, M., Norman, G., Parker, D.: PRISM 4.0: Verification of probabilistic real-time systems. In: Proc. CAV. Springer (2011).

[6] Singh, Abhyudai, and Joo P. Hespanha. "Stochastic hybrid systems for studying biochemical processes." Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 368.1930 (2010): 4995-5011.

[7] Gillespie, D. T. A general method for numerically simulating the stochastic time evolution of coupled chemical reactions. J. of Comp. Physics, 22, 403-434, 1976.

[8] Rodrigues, A. M., Almeida, A. C. G., Infantosi, A. F., Teixeira, H. Z., & Duarte, M. A. (2008). Model and simulation of Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-pump phosphorylation in the presence of palytoxin. Computational biology and chemistry, 32(1), 5-16.

[9] Artigas, P., & Gadsby, D. C. (2003). Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-pump ligands modulate gating of palytoxin-induced ion channels. Proceedings of the National Academy of Sciences, 100(2), 501-505.