

Herramientas de software para soporte en la enseñanza y aprendizaje de la arquitectura x86

Marcelo A. Colombani, José M. Ruiz, Amalia G. Delduca, Marcelo A. Falappa

Universidad Nacional de Entre Ríos, Av. Tavella 1424, (E3202KAC), Concordia, Entre Ríos, Argentina
Universidad Nacional del Sur Av. Alem 1253, (B8000CPB) Bahía Blanca, Argentina

marcelo.colombani,jose.ruiz,amalia.delduca}@uner.edu.ar, mfalappa@cs.uns.edu.ar

RESUMEN

Existe un consenso creciente en el uso de herramientas de simulación en la enseñanza para procesos dinámicos complejos, como las operaciones intrínseca de la computadora, permiten representar de forma visual e interactiva la organización y arquitectura interna de la computadora, facilitando así la comprensión de su funcionamiento por parte de los alumnos y el desarrollo de los temas por parte del docente. En este contexto, los simuladores juegan una pieza clave en el campo de la Arquitectura de Computadores, permitiendo conectar fundamentos teóricos con la experiencia práctica simplificando abstracciones y haciendo más rica la labor docente.

La arquitectura x86 es ampliamente utilizada en computadoras de escritorio y servidores. Este documento pretende realizar una comparación de los simuladores x86 que más se adecuan en el dictado de la asignatura Arquitectura de Computadoras de la carrera Licenciatura en Sistemas, establecer los criterios de evaluación y evaluar los simuladores seleccionados de acuerdo con estos criterios.

Palabras clave: x86, x86-64, simulador, aprendizaje, enseñanza, arquitectura de computadoras.

CONTEXTO

La presente investigación surge en el marco del proyecto de investigación I/D novel **PID-UNER 7065**: “Enseñanza/aprendizaje de asignatura Arquitectura de Computadoras con herramientas de simulación de sistemas de cómputos”. El Proyecto es llevado a cabo en la Facultad de Ciencias de la Administración de la Universidad Nacional de Entre Ríos, se vincula directamente con la asignatura Arquitectura en Computadoras que se dicta en segundo año de la carrera Licenciatura en Sistemas perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Administración de la Universidad Nacional de Entre Ríos.

Dentro del marco de la presente línea de investigación se está desarrollando una tesis de maestría, en la carrera Maestría en Sistemas de Información dictada en la Facultad de Ciencias de la Administración, UNER en el área de ARSO.

1. INTRODUCCIÓN

Simulación

La simulación es un término de uso diario en muchos contextos: medicina, militar, entretenimiento, educación, etc., debido a que permite ayudar a comprender cómo funciona un sistema, responder preguntas como "qué pasaría si", con el fin de brindar hipótesis sobre cómo o por qué ocurren ciertos fenómenos.

Para continuar, se define simulación cómo el

proceso de imitar el funcionamiento de un sistema a medida que avanza en el tiempo. Entonces para llevar a cabo una simulación, es necesario desarrollar previamente un modelo conceptual que representa las características o comportamientos del sistema, mientras que la simulación representa la evolución del modelo a medida que avanza en el tiempo. [1,3].

Con los avances en el mundo digital, la simulación se ha convertido en una metodología de solución de problemas indispensable para ingenieros, docentes, diseñadores y gerentes. La complejidad intrínseca de los sistemas informáticos los hace difícil comprender y costosos de desarrollar sin utilizar simulación [3].

Aporte pedagógico

Muchas veces en el ámbito educativo, resulta difícil transmitir fundamentos teóricos de la organización y arquitectura interna de las computadoras debido a la complejidad de los procesos involucrados. Si sólo incorporamos los medios de enseñanza tradicionales, como puede ser una pizarra, un libro de texto o diapositivas, los mismos tienen una capacidad limitada para representar estos fundamentos. En consecuencia, es imprescindible un alto nivel de abstracción por parte del alumno para desarrollar un modelo mental adecuado para capturar la organización y arquitectura interna de las computadoras [4],[5].

Es evidente la necesidad de utilizar nuevas tecnologías como recurso didáctico y como medio para la transferencia de conocimiento, ya que resultan de gran ayuda para que los alumnos relacionan conceptos abstractos con reales, permite situar al alumno en un contexto que imite algún aspecto de la realidad; en ese ambiente, el alumno podrá detectar problemáticas similares a las que podrían producirse en la realidad, logrando un mejor

entendimiento por medio del trabajo exploratorio, inferencia, aprendizaje por descubrimiento y desarrollo de habilidades [6,7].

Simuladores

Un simulador de arquitectura es un software que imita el hardware de un sistema. El simulador se centra principalmente en la representación de los aspectos arquitectónicos y funciones del hardware simulado. El uso de herramientas de simulación permite realizar cambios, pruebas y ejecución de programas sin temor de dañar ningún componente o por falta de la computadora [8].

Algunos softwares ofrecen una representación en forma visual e interactiva de la organización y arquitectura interna de la computadora, facilitando así la comprensión de su funcionamiento, como ser los simuladores Assembly debugger (x86), Simple 8-bit Assembler Simulator, Microprocessor Simulator, Simulador de ensamblador de 16 bits y Emu8086. En este sentido, los simuladores juegan una pieza clave en el campo de la Arquitectura de Computadores, permitiendo conectar fundamentos teóricos con la experiencia práctica, simplificando abstracciones y facilitando la labor docente [9,13].

Repertorio de instrucciones x86

El repertorio de instrucciones de la arquitectura x86 es la más utilizada en computadoras de escritorio y servidores del mundo. Inició con el procesador Intel 8086 en el año 1978 como arquitectura de 16 bits. Después evolucionó hasta una arquitectura de 32 bits cuando apareció el procesador Intel 80386 en el año 1985, denominada i386 o x86-32. AMD amplió esta arquitectura de 32 bits a una de 64 bits. Intel adoptó las extensiones de la arquitectura de AMD de 64 bits, también denominada AMD64 o Intel 64

[14,16].

Un procesador x86-64 mantiene la compatibilidad con los modos x86 existentes de 16 y 32 bits, y permite ejecutar aplicaciones de 16 y 32 bits, como así también de 64 bits. Esta compatibilidad hacia atrás protege las principales inversiones en aplicaciones y sistemas operativos desarrollados para la arquitectura x86 [14,16].

Por ello, la enseñanza de la arquitectura x86 es de gran relevancia en la asignatura Arquitecturas de Computadoras debido a los diferentes temas que aborda.

Asignatura Arquitectura de Computadoras

Los alumnos de la asignatura Arquitectura de Computadoras no solo deben conocer la estructura y el funcionamiento interno de la computadora, sino que, idealmente, deben tener una experiencia práctica activa con dicha arquitectura.

Para proporcionar esta experiencia es necesario un laboratorio con el hardware necesario y el tiempo para que los alumnos se vuelvan competentes en el uso de herramientas para trabajar con el hardware. Por este motivo, muchos simuladores han sido desarrollados, ayudando al alumno a comprender el funcionamiento y la estructura del computador proporcionando valiosas experiencias de aprendizaje [17].

2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Si bien ya existe un estudio comparativo acerca de los simuladores de la arquitectura x86, el mismo está hecho bajo los siguientes criterios: velocidad, modelos de simulación y error experimental [18]. Sin embargo, desde este trabajo se propone un enfoque diferente, evaluar los simuladores x86 bajo otros criterios de evaluación vinculados a sus

características de simulación y a determinados contenidos abordados en la asignatura Arquitectura de Computadoras de la Carrera de Licenciatura en Sistemas de la Universidad Nacional de Entre Ríos.

Cabe destacar que existen estudios del año 2009 [9] y del año 2012 [10] que evalúan diferentes simuladores para abordar diferentes temas en el dictado de los cursos de Arquitectura de Computadoras, en general estos estudios evalúan simuladores en términos de dos categorías predefinidas: una referida a las características de la simulación, como ser granularidad, usabilidad, disponibilidad, presentación visual, flujo de simulación, etc., y otra sobre la cobertura de los contenidos preestablecidos en las currículas.

La diferencia de este trabajo respecto a los mencionados anteriormente [9,10] radica en evaluar los simuladores x86 en relación a una temática específica de la currícula como es el repertorio de instrucciones, funcionamiento de la CPU, ciclo de búsqueda y ejecución. En cuanto a las características de simulación se pretende incorporar nuevos criterios de evaluación (última actualización, documentación, editor para escribir programas en Assembler, adaptación a las extensiones de la arquitectura de 32 y 64 bits, etc).

En base a lo expuesto, se buscará definir criterios de evaluación y comparar los simuladores x86 y x86-64 disponibles según los criterios de evaluación preestablecidos, bajo dos categorías: una referida a las características de la simulación que analizan la funcionalidad de los simuladores seleccionados y otro referido a contenidos específicos de la asignatura Arquitectura de Computadoras que cubren los simuladores seleccionados.

3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS

Este proyecto de investigación se encuentra en su fase de iniciación y, entre los objetivos buscados podemos remarcar:

- Estudiar y evaluar diferentes herramientas de simulación de procesadores de la arquitectura x86.
- Definir criterios de evaluación de las herramientas de simulación para su utilización en el dictado de clases.
- Comparar diferentes herramientas de simulación según los criterios de evaluación preestablecidos.
- Analizar el impacto de la jerarquía de memorias en la ejecución de un programa utilizando las herramientas de simulación de procesadores.
- Generalizar dichos conceptos a otras arquitecturas, como por ejemplo las actuales basadas en 64 bits.

Se avanzó sobre el objetivo de la definición de criterios de evaluación, permitiendo de esta manera comenzar a comparar las diferentes herramientas de simulación.

Se han definido 7 criterios de evaluación:

1. **Usabilidad:** se refiere a la capacidad de un software de ser comprendido, aprendido, usado y ser atractivo para el usuario, en condiciones específicas de uso. Escala usabilidad (difícil-media-fácil).
2. **Editor:** soporte para escribir código fuente en lenguaje ensamblador. Escala editor (baja-media-alta).
3. **Documentación:** disponibilidad de soporte para el aprendizaje, repertorio de instrucciones, manual de usuario. Escala documentación (mínima-media-completa)
4. **Ejecución de simulación:** facilidad para controlar la simulación. Escala ejecución de simulación (baja-media-alta).

5. **Nivel de especificación de la Organización y Arquitectura del sistema simulado:** nivel de implementación del set de instrucciones, memoria, módulos de E/S, etc. Escala nivel de especificación x86 (mínima-media-completa).

6. **Características del desarrollo del producto software:** tipo de licencia open source o privativas, fecha de última versión, Web/Escritorio, uso académico. Escala producto software (mala-buena-muy buena).

7. **Cobertura de los contenidos preestablecidos en las currícula:** se busca que la herramienta abarque o se ajuste a la mayor cantidad de tópicos de la asignatura Arquitectura de Computadoras, escala cobertura contenido (baja-media-alta):

- Estructura y funcionamiento de la computadora.
- Circuitos lógicos.
- Repertorio de instrucciones.
- Tipos de datos y formato de representación a nivel máquina.
- Ciclo de la instrucción.
- Programación en lenguaje ensamblador.
- Módulos de entrada y salidas y su comunicación con los periféricos.
- Gestión de interrupciones.
- Medidas de rendimiento del procesador.
- Jerarquía de memoria.
- Segmentación de instrucciones

Por otro lado, como parte de las actividades de difusión al medio del proyecto se realizó una charla sobre Simulación de Arquitecturas de Computadoras, en el mes de noviembre de 2021 en la escuela Técnica N° 2 Independencia de la Ciudad de Concordia a alumnos de 5º, 6º y 7º año. Además de contar con la presencia de varios docentes de la casa.

4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El equipo del proyecto está conformado por 3 (tres) docentes de la carrera Licenciatura en Sistemas integrantes de la cátedra de Arquitectura de Computadoras y 1 (un) asesor externo. Adicionalmente este trabajo forma parte de 1 (una) tesis en curso de la Maestría en Sistemas de Información, dictada en la Facultad de Ciencias de la Administración, UNER. Un integrante está dirigiendo dos Tesis de Maestría en la Facultad de Ciencias de la Administración, Universidad Nacional de Entre Ríos. Finalmente, otro de los docentes investigadores de este proyecto continúa con su formación y perfeccionamiento.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Banks, J. S. Carson, B. L. Nelson, y D. M. Nicol, *Discrete-event system simulation*, 5th ed. Prentice Hall, 2010.
- [2] S. Robinson, *Simulation: The Practice of Model Development and Use*, 2nd edition. 2014.
- [3] A. M. Law, *Simulation Modeling & Analysis*, 5.a ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2015.
- [4] C. Lion, «Los simuladores. Su potencial para la enseñanza universitaria», *Cuad. Investig. Educ.*, vol. 2, n.o 12, pp. 53–66, 2005.
- [5] G. Contreras, R. G. Torres, y M. S. R. Montoya, «Uso de simuladores como recurso digital para la transferencia de conocimiento», *Apert. Rev. Innov. Educ.*, vol. 2, n.o 1, pp. 86–100, 2010.
- [6] B. Nova, J. C. Ferreira, y A. Araújo, «Tool to support computer architecture teaching and learning», en *Engineering Education (CISPÉE)*, 2013 1st International Conference of the Portuguese Society for, 2013, pp. 1–8.
- [7] B. Mustafa, «Evaluating A System Simulator For Computer Architecture Teaching And Learning Support», *Innov. Teach. Learn. Inf. Comput. Sci.*, vol. 9, n.o 1, pp. 100-104, 2010.
- [8] Z. Radivojevic, M. Cvetanovic, y J. Dordevic, «Design of the simulator for teaching computer architecture and organization», en *2011 Second Eastern European Regional Conference on the Engineering of Computer Based Systems*, 2011, pp. 124–130.
- [9] B. Nikolic, Z. Radivojevic, J. Djordjevic, y V. Milutinovic, «A Survey and Evaluation of Simulators Suitable for Teaching Courses in Computer Architecture and Organization», *IEEE Trans. Educ.*, vol. 52, n.o 4, pp. 449-458, nov. 2009.
- [10] R. Hasan y S. Mahmood, «Survey and evaluation of simulators suitable for teaching for computer architecture and organization Supporting undergraduate students at Sir Syed University of Engineering & Technology», en *Control (CONTROL)*, 2012 UKACC International Conference on, 2012, pp. 1043–1045.
- [11] J. L. Hennessy y D. A. Patterson, *Computer architecture: A quantitative approach*, Fifth Edition. Elsevier, 2012.
- [12] W. Stallings, *Computer organization and architecture: designing for performance*, Eleventh Edition. Pearson, 2013.
- [13] P. BEHROOZ, *Computer Architecture From Microprocessors to Supercomputers*. McGraw Hill, 2007.
- [14] Intel, «64 and IA-32 architectures software developers manual», 325462-060US, vol. 1, 2A, 2B, 2C, 2D, 3A, 3B, 3C and 3D, p. 4670, 2016.
- [15] AMD, «Developer Guides, Manuals & ISA Documents». [En línea]. Disponible en: <https://developer.amd.com/resources/developer-guides-manuals/>. [Accedido: 21-abr-2019].
- [16] P. Abel, *IBM PC Assembly Language and Programming*, Fifth Edition. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 2000.
- [17] D. Skrien, «CPU Sim 3.1: A tool for simulating computer architectures for computer organization classes», *J. Educ. Resour. Comput. JERIC*, 2001.
- [18] A. Akram y L. Sawalha, «A comparison of x86 computer architecture simulators», 2016.