

ARM, el nuevo líder en la supercomputación

ARM, the new leader in supercomputing

1stJuan Ángel Castellanos Bohórquez
Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática
Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia
juan.angel.castellanos.98@gmail.com

2ndDeimer Ivan Castillo Caceres
Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática
Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia
deimer.castillo@correo.uis.edu.co

3rdLaura Sofía Vargas González
Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática
Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia
sofia.laura.gonzalez.vargas@gmail.com

4thLiliana Paola Castellanos Pinzón
Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática
Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia
lipaocaspi@hotmail.com

5thJesús Sebastián Vargas Martínez
Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática
Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia
sebastianvrgsm@gmail.com

Abstract

High-performance computing (HPC) has pushed the boundaries of computer design and technology. This computing sector is in a phase of rapid evolution, executing new workloads such as pattern recognition, voice, video and text processing and many more in HPC systems. As HPC systems become more powerful, agile and less expensive, they can be used for applications that have never had access to high-scale, low-cost infrastructure.

Today, one of the goals of high-performance computing is to achieve higher performance efficiency with lower energy consumption. The ARM-based A64FX processor developed by Fujitsu not only aims to achieve higher processing power by reaching 10^{18} exascale operations per second, but also more efficient energy use, which would imply lower operating costs and this in turn leads to RISC-based processors gradually becoming stronger in the computer market and not just in the mobile market.

Resumen

La computación de alto desempeño (HPC) ha impulsado los límites de diseño y tecnología computacional. Este sector de la informática está en una etapa de rápida evolución, ejecutando nuevas cargas de trabajo como el reconocimiento de patrones, procesamiento de voz, video y texto y muchas más en sistemas HPC. A medida que los sistemas HPC se vuelven más potentes, ágiles y menos costosos, podrán utilizarse para aplicaciones que nunca han tenido acceso a infraestructura de alta escala y bajo costo.

En la actualidad, uno de los objetivos de la computación de alto desempeño es lograr una mayor eficiencia de rendimiento con un menor consumo de energía. El procesador A64FX basado en ARM y desarrollado por Fujitsu no solo busca alcanzar un mayor poder de procesamiento al alcanzar 10^{18} operaciones por segundo(exascale), sino que también un uso más eficiente de la energía, lo cual implicaría menores costos de funcionamiento y esto a su vez conlleva a que poco a poco los procesadores basados en RISC tengan más fuerza en el mercado computacional y no solo en el de dispositivos móviles.

Palabras Clave

- Arquitectura vectorial:en la cual sus procesos realizan una instrucción para un grupo de datos.

- Arquitectura escalar: en la cual sus procesos realizan una instrucción por un ciclo de reloj.
- Supercomputadora: es un conjunto de ordenadores de alta potencia que cuenta con una alta capacidad de procesamiento.
- CRAY: fabricante estadounidense de supercomputadoras establecido en Seattle, Washington.
- Fujitsu: Compañía japonesa que se especializa en las tecnologías de información y comunicación.
- ARM: es un enfoque de diseño basado en RISC, que permite que los procesadores ARM requieran una cantidad menor de transistores.
- RISC: arquitectura que consta de un conjunto de instrucciones reducidas y permite el procesamiento de las tareas en paralelo.
- CISC: arquitectura que consta de un conjunto de instrucciones que se caracteriza por ser muy amplias y permitir operaciones complejas entre operandos situados en la memoria o en los registros internos.
- A64FX: procesador fujitsu basado en arquitectura ARMv8-A para que se implementará en los sistemas Cray CS500.
- X86: procesador Intel. Son desarrollados a partir de arquitectura CISC (Complex Instruction Set Computing).
- Exascale: hace referencia a los sistemas de computación capaces de realizar un mínimo de 1 exaflop 10^{18} operaciones de punto flotante por segundo.
- Petascale: hace referencia a los sistemas de computación capaces de realizar un mínimo de 1 exaflop 10^{15} operaciones de punto flotante por segundo.

I. INTRODUCCIÓN

Los dispositivos de cómputo usan diferentes conjuntos de instrucciones para ejecutar operaciones en el sistema. Las diferentes arquitecturas de estos dispositivos requieren diferentes conjuntos de instrucciones. Existen dos tipos principales de conjuntos de instrucciones de arquitectura que difieren en la relación del hardware con el software: complex instruction set computer (CISC) y reduced instruction set computer (RISC).

Para que estas dos tecnologías se posicionarán como se conoce actualmente, hizo falta una extensa evolución tecnológica, la cual surge conforme aparecen necesidades que obligan a realizar un cambio que proporcione soluciones y por ende avanzar en los procesos de resolución de dichas necesidades. En este caso, existió un cambio que conllevó a la postulación de tecnologías como RISC y CISC, conforme fueron apareciendo necesidades de procesamiento de cómputo e innovación informática.

Otras tantas necesidades en la historia de la humanidad se han solucionado por medio de Supercomputación. Esta herramienta se ha transformado a lo largo de la historia para cumplir con expectativas cada vez más exigentes, incluyendo problemas que requieren de muchísimo más poder y capacidad de cómputo. La Supercomputación en la historia ha facilitado grandes tareas de diversas áreas, como la física, el modelamiento de clima que permite predecir pronósticos, complicadas investigaciones de astronomía y demás.

Los sistemas de supercomputación actuales, basados en x86, pueden realizar procesos computacionales a una velocidad de 10^{15} operaciones por segundo, a estos sistemas de cómputo se denominan petascale. Sin embargo, estas capacidades se están quedando cortas debido a las diferentes necesidades que se tienen hoy en día, lo cual hace que las compañías busquen poder llegar a la siguiente barrera, el procesamiento de operaciones a una velocidad de 10^{18} operaciones por segundo (exascale).

II. CONTENIDO

A. Inicio de HPC

El dominio de la arquitectura x86 inicia desde su diseño en 1975 como uno de los primeros conjuntos de instrucciones de arquitectura (ISA) basada en microprocesadores. Desarrollada por Intel Corporation, la arquitectura x86 define como un procesador maneja y ejecuta diferentes instrucciones transmitidas desde el sistema operativo y los programas de software. Algunas características clave de esta arquitectura incluyen:

- Proporciona un framework para ejecutar instrucciones a través de un procesador.
- Permite que los programas de software y las instrucciones se ejecuten en cualquier procesador de la familia Intel 8086 (Backwards compatibility).
- Proporciona procedimientos para utilizar y administrar los componentes de hardware de una unidad de procesamiento central (CPU).

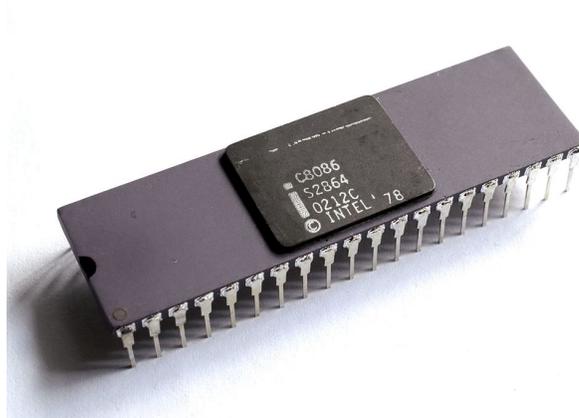


Figura 1: Procesador Intel 8086

En la década de los 80 y principios de los 90, cuando los procesadores 8088 y 80286 de Intel seguían siendo de uso común, el término x86 usualmente representaba cualquier CPU compatible con el 8086. Hoy en día, este término implica compatibilidad binaria con el conjunto de instrucciones de 32 bits de el 8086. Esto se debe al hecho que este conjunto de instrucciones se ha convertido en un denominador común más bajo para muchos sistemas operativos modernos.



(a) Procesador A4 de Apple basado en la ARM



(b) Procesador Intel Core Duo basado en la arquitectura x86

Figura 2: Múltiples imágenes

En la actualidad, x86 es omnipresente en computadoras personales estacionarias y portátiles, como también en computadoras de rango medio, estaciones de trabajo, servidores y la mayoría de clusters de supercomputadoras de la lista TOP500. La mayoría de computadores personales y laptops vendidos están basados en la arquitectura x86, mientras en otras categorías como los dispositivos móviles (smartphones, tablets) están dominadas por ARM. Sin embargo, en la gama alta x86 sigue dominando workstations de computación intensiva y segmentos de computación en la nube.

B. CISC

La arquitectura x86 se basó en principio en un conjunto de instrucciones complejas conocidas como CISC. Una computadora con este conjunto de instrucciones individuales pueden ejecutar varias operaciones de bajo nivel (carga desde memoria, almacenamiento en memoria u operaciones aritméticas) o son capaces de realizar operaciones de múltiples pasos o modos de direccionamiento dentro de las instrucciones individuales.

La idea principal de esta ISA es hacer que el hardware sea complejo, ya que una sola instrucción hará todas las operaciones de carga, evaluación y almacenamiento de datos.

- Características del CISC:

- Las instrucciones son complejas, esto implica decodificación de instrucciones complejas.
- Las instrucciones ocupan más de una palabra en tamaño.
- Las instrucciones pueden tomar más de un ciclo de reloj para ser ejecutadas.
- Menor número de registros de propósito general ya que las operaciones se realizan en la misma memoria.
- Modos de direccionamiento complejos.
- Más tipos de datos disponibles.

C. ARM y la aparición de RISC

El celular es un dispositivo móvil que se ha incorporado a la vida cotidiana de todas las personas, más allá de proporcionar comunicaciones, frecuentemente se convierte incluso en asistente personal, supliendo las necesidades de un computador en muchos casos, esto debido a su versatilidad de manejo y su pequeño tamaño y si bien estos aparatos no tienen la misma capacidad en procesamiento que muchas de las avanzadas tecnologías que hoy invaden al mundo si tiene un rendimiento que alcanza eficientemente nuestras necesidades más urgentes; el secreto que hace posible esta tecnología, yace en sus procesadores. Esto es el resultado de la evolución histórica que comienza con la compañía Acorn Computers, la cual atravesó por diferentes etapas, para finalmente convertirse y consolidarse como ARM.

Acorn Computers surge principalmente con el propósito de fabricar microcomputadoras, tuvo su primer gran éxito en este campo en el año 1979, cuando lanza Acorn system 1, un producto enfocado para ser bastante comercial, fue pensado para ser lanzado al mercado universitario, lo cual efectivamente se logró; con los años, en 1981, una versión posterior a dicho aparato logró un gran impacto en el reino unido, y se comercializó rápidamente en escuelas y universidades gracias a un programa del gobierno de Inglaterra que pretendía fomentar la alfabetización informática.

La historia de esta compañía dio otro gran paso de evolución cuando aparece frente a sus ojos la tecnología Risc, (Computador con Conjunto de Instrucciones Reducidas). Este suceso marcó definitivamente la imagen y el enfoque de acorn computers. De la mano de estudiantes de la Universidad de California, quienes a partir de sus investigaciones sobre Risc, iniciaron el camino para que acorn computers diseñará y produjera procesadores potencialmente comerciales, los cuales cumplirían las exigencias del mercado que en ese entonces estaba vigente.

RISC aparece en este momento como una tecnología que propone enfocarse en la rapidez de ejecución, a través de instrucciones más simples, por eso también se dice que es de baja potencia. Al implementar RISC, Acorn logra consolidar un mercado en el que pueden garantizar un rendimiento en los procesadores de teléfonos que además permite por su diseño el implementar componentes más pequeños y ligeros, es decir que básicamente, gracias a ARM los celulares hoy tienen el tamaño y peso que ya conocemos.

Sin embargo, y como parte del proceso que consolidó el actual modelo de negocios de ARM, esta compañía no fue ajena a las crisis, en particular por el potencial crecimiento de su competencia, Intel, además del auge que tenía el sistema operativo Windows de Microsoft, sistema el cual no era compatible para ser ejecutado en las computadoras de acorn, esta razón mantuvo por mucho tiempo a ARM por debajo del radar, sin embargo, fue precisamente lo que condujo a la compañía a que, después de ser vendida, se encargará de diseñar procesadores de

baja potencia, aquellos que actualmente se utilizan en los teléfonos móviles, además de esto, lograron estructurar la venta de diseños de chips, es decir, que sin ser una empresa productora directamente, son la mente detrás de los microprocesadores más vendidos en el mercado.

- Características del RISC:
 - Recibe un número reducido de instrucciones, y presenta pocos nodos.
 - Carece de unidades de memoria para implementar instrucciones, en cambio utiliza un hardware separado para implementarlas.
 - En cuanto al lenguaje ensamblador, las instrucciones se representan por palabras, es decir que son bastante cortas.
 - Maneja una secuencia de instrucciones por vez.
 - Menor consumo de energía.

D. ARM vs x86

Una vez que se ha expuesto la historia, estructura y funcionamiento de x86, y de ARM, cada uno con su respectiva evolución, es importante entender, las grandes diferencias que en ellas radican, puesto que estas dos tecnologías, si bien existen y conviven en el mundo en diferentes ámbitos de la informática, se distinguen significativamente. La siguiente tabla identifica dichas tecnologías, realizando una comparación en ciertos campos específicos que las caracterizan, tales como el consumo de energía, tamaño y demás.

	ARM	x86
Tamaño de la instrucción	El tamaño de las instrucciones son unificadas y su ejecución es hecha en un único ciclo de reloj.	El tamaño de las instrucciones varían según las diferentes complejidades.
Búsqueda y Decodificación	El proceso de búsqueda de instrucciones es mucho más sencillo. Además, el acceso a códigos de operación y operandos es posible de manera simultánea.	El proceso de búsqueda es complejo e incluye diferentes formatos y varios modos de direccionamiento.
Consumo de Energía	El diseño de la unidad de control es simplificado y con una mejor eficiencia energética.	Dada la complejidad del diseño, la unidad de control tiene un mayor consumo de energía.
Tamaño del Programa	Funciones específicas requieren muchas instrucciones sencillas, creando programas de mayor tamaño.	Funciones similares requieren un menor número de instrucciones, lo que aumenta la eficiencia de almacenamiento.

En el pasado, los procesadores de ARM e Intel x86 eran líderes en diferentes áreas especializadas sin interés de competir. Mientras Intel construía procesadores para computadores personales y servidores, ARM se concentró en los dispositivos portátiles. actualmente, sin límites en el poder computacional entre los diferentes tamaños de dispositivos, ARM y los microprocesadores basados en la arquitectura de Intel, son ahora competidores. En el caso particular de los sistemas de supercomputación (HPC), el 90% de todos los sistemas usan procesadores multinúcleo basados en la arquitectura x86 pero esto está por cambiar.

Habiendo entendido las diferencias de estas dos tecnologías, resulta pertinente especificar en “la tecnología detrás de la tecnología”, es decir, enfocarse en el planteamiento interior de cada una. Específicamente se habla de CISC si nos referimos a x86, y RISC en el caso de ARM.

CISC(Intel x86) proporciona soporte de hardware para operaciones de lenguaje de alto nivel y permite tener programas compactos, mientras que RISC (ARM) enfatiza instrucciones simples y flexibilidad.

El objetivo principal de la arquitectura RISC es incrementar el rendimiento y tener una ejecución más rápida. Esto se aborda al no considerar las operaciones de búsqueda, evitar por completo los accesos a la memoria. Por otro lado, el objetivo de la arquitectura CISC es igualar las operaciones usadas en los lenguajes de programación y proporcionar instrucciones que faciliten programas más compactos y que conserven la memoria.

Desde la invención de la arquitectura de computadores basada en RISC, el estándar de rendimiento se ha elevado, lo que ha forzado a las arquitecturas anteriores a competir y adaptación o arriesgar la desaparición del mercado.

E. La llegada de ARM a HPC



(a) Procesador A64FX basado en arquitectura ARM (b) Supercomputador Fujitsu PRIMEHPC FX1000 utiliza el procesador A64FX basado en ARM

Figura 3: Múltiples imágenes

El pasado 12 de noviembre, dos grandes de la computación anunciaron una fusión que promete ayudar a la creación de nuevos sistemas HPC, la compañía Cray Inc (recién adquirida por HPE) y la empresa nipona de Tecnologías de Información (TI) Fujitsu. Las dos empresas anunciaron una asociación que permitirá que la compañía Cray desarrolle una supercomputadora comercial que será impulsada por un procesador basado en ARM, el procesador Fujitsu A64FX, que también se encontrará en la supercomputadora post-K “Fugaku” la cual se espera implementar en RIKEN en el próximo año.

A64FX será la primer CPU en adoptar la extensión de vector escalable (SVE), la cual permite longitudes de vector que se escalan de 128 a 2048 bits en incrementos de 128 bits. Esto permite a los diseñadores de CPU que puedan elegir la longitud de vector más apropiada para su aplicación y mercado.

En las características del A64FX se encontrará que permite un diseño con un enfoque en la computación de exascale, la compatibilidad con HMB2 (ancho de banda de memoria alta) y un ancho de banda de memoria teórico mayor a un terabyte.

Se espera que en un futuro cercano, la alianza mencionada anteriormente, pueda contar con el recurso de sus procesadores en la CRAY CS500, lo cual estará disponible en el 2020, e incluso ya cuenta con una lista de clientes en los cuales se incluyen:

- El Laboratorio Nacional de Los Alamos.
- El Laboratorio Nacional de Oak Ridge.
- El Centro RIKEN de Ciencias Computacionales.
- La Universidad Stony Brook .
- La Universidad de Bristol.

Las propiedades que promete el diseño de este nuevo procesador ofrece innovadoras oportunidades de crecimiento del poder de computación como el desarrollo de nuevas tecnologías.

F. La expectativa de la Supercomputación

En el área de la computación de alto desempeño (HPC), existe una continua necesidad de un mayor rendimiento computacional. Grandes desafíos científicos como la ingeniería, la geofísica y la bioinformática requieren de cantidades crecientes de poder computacional. Por otro lado, la energía se está convirtiendo en uno de los recursos más caros y contribuye sustancialmente al costo total del funcionamiento de grandes instalaciones de supercomputación.

Los procesadores para sistemas HPC han sido diseñados a través de los años para lograr un rendimiento máximo, siendo la eficiencia energética una idea posterior. Sin embargo, las medidas de evaluación usadas para medir el poder de cómputo de un procesador no solo tienen en cuenta el número de operaciones de punto flotante por segundo (FLOPS). El número de operaciones por watt (FLOPS/watt) o por otra unidad de energía también es un factor importante en la selección de un procesador para un sistema HPC. La mayoría de la energía utilizada por un procesador es convertida en calor, así que un sistema que usa menos energía para realizar operaciones computacionales también necesitará menos energía en sistemas de enfriamiento para mantener una temperatura dentro de los rangos operacionales. Un menor consumo de energía de un sistema lo hará menos costoso de mantener y reducirá el impacto ambiental generado por la alimentación energética del sistema.

Es ampliamente aceptado que el futuro de los sistemas de computación de alto desempeño (HPC) estarán limitados por su consumo de energía. Si bien la eficiencia energética ya es una preocupación principal para el diseño de cualquier sistema computacional y se reconoce que para alcanzar el siguiente hito en el rendimiento de supercomputadoras, EFLOPS (exaFLOPS 10^{18} operaciones de punto flotante por segundo) están fuertemente restringidas por la energía. La eficiencia energética de un sistema definirá el rendimiento máximo alcanzable.

G. Exascale

La desarrollo de dispositivos computacionales que puedan operar a 10^{18} operaciones de punto flotante tendrá un alto impacto en la humanidad. La capacidad de resolver los problemas computacionales actuales de manera más ágil y eficaz, revelará nuevas incógnitas que antes no eran imaginables bajo una escala de petascale. Procesamiento de datos biomédicos, simulación de condiciones climáticas y estudio de ciencia de materiales son algunos de los

arduos problemas que la nueva escala de computación tendrá que afrontar.

III. CONCLUSIÓN

El dominio que los procesadores basados en la arquitectura x86 logró gracias a la popularización de los equipos de cómputos portátiles de los años 80s y 90s hizo que el uso de estos procesadores en la computación de alto desempeño fuera evidente. Esta tendencia se ha mantenido durante varias décadas y ha impulsado el desarrollo de la tecnología de la computación científica y de uso general.

Por otro lado, el desarrollo de la internet y la propagación del uso de dispositivos móviles impulsó el desarrollo de procesadores de alto desempeño, bajo uso de energía, alta confiabilidad y de mucho menor tamaño. Una arquitectura alternativa a la de sistemas de cómputos tradicionales emerge a enfrentar los retos que su competencia ignora. ARM desarrolla una arquitectura que no solo es eficiente en su uso de energía, también compite con el poder de procesamiento de Intel x86.

El nuevo proyecto de Fujitsu y Cray promete innovar el sector de la computación de alto desempeño al utilizar un procesador basado en una arquitectura de ARM, desestimando nuevos avances tecnológicos del soberano del mercado Intel. Pasarán algunos años para ver si la apuesta en ARM tiene frutos para el sector de la supercomputación y dependerá de la creatividad para la resolución de los problemas nuevos a enfrentar y de cómo estas soluciones impactará la comunidad científica y el usuario común.

En el momento en que se incorpora la tecnología basado en RISC en el supercomputador se garantiza que este cuenta con una mayor cantidad de transistores en un mismo espacio, sumado al procesamiento computacional por medio de vectores escalables y el bajo costo energético, se obtiene como resultado la que será quizá la más óptima opción para certificar que la máquina tenga altas capacidades de procesamiento, sin dejar de lado los beneficios en potencia e incluso tamaño.

Conforme avanza la tecnología, también lo hacen los supercomputadores, proporcionando cada vez mejores y más diversas utilidades. En otras palabras, la evolución tecnológica viene acompañada de nuevas soluciones cada vez más efectivas, sin embargo, a medida que surgen estas prometedoras tecnologías van apareciendo nuevos problemas mucho más densos y exigentes que requieren que se acelere el desarrollo informático. Por esta razón, es correcto afirmar que el mundo se encuentra a la expectativa de aquellos nuevos problemas que puedan surgir a partir de esta nueva tecnología.

REFERENCIAS

- [1] A. Hern. (2015, Nov.) ARM: Britain's most successful tech company you've never heard of. [Online]. Available: <https://www.theguardian.com/technology/2015/nov/29/arm-cambridge-britain-tech-company-iphone>
- [2] S. Moss. (2019, Nov.) Cray to offer supercomputers with Fujitsu A64FX Arm processors from 2020. [Online]. Available: <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/cray-offer-supercomputers-fujitsu-a64fx-arm-processors-2020/>
- [3] 'CRAY AND FUJITSU PARTNER TO POWER SUPERCOMPUTING IN THE EXASCALE ERA', 2019 [Online]. Available: <https://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2019/1113-01.html>. [Accessed: 21-feb-2020]
- [4] "A64FX prototype – Fujitsu A64FX, Fujitsu A64FX 48C 2GHz, Tofu interconnect D", Top 500, 2019. [Online]. Available: <https://www.top500.org/system/179706>. [Accessed: 21-feb-2020]
- [5] M. Feldman. (2019, Nov.) ARM SUPERCOMPUTER CAPTURES THE ENERGY EFFICIENCY CROWN. [Online]. Available: <https://www.nextplatform.com/2019/11/22/arm-supercomputer-captures-the-energy-efficiency-crown/>
- [6] "Predictions for HPC in 2020", Inside HPC, 2020. [Online]. Available: <https://insidehpc.com/2020/02/predictions-for-hpc-in-2020/>. [Accessed: 21-feb-2020]
- [7] "The Evolution of HPC", Inside HPC, 2016. [Online]. Available: <https://insidehpc.com/2016/08/the-evolution-of-hpc/>. [Accessed: 21-feb-2020]
- [8] "What is Exascale", EXASCALE COMPUTING PROJECT. [Online]. Available: <https://exascaleproject.org/what-is-exascale/>. [Accessed: 21-feb-2020]
- [9] N. Rajovic, A. Rico, N. Puzovic, C. Adeniyi-Jones, A. Ramirez, "Tibidabo: Making the case for an ARM-based HPC system", Future Generation Computer Systems, vol. 36, pp.322-334, July 2014.

- [10] A. Ahmad, T. Al-Kharoubi, M. Mudawar, A. Kobilica, "Simulation of ARM and x86 Microprocessors Using In-order and Out-of-order CPU Models with Gem5 Simulator" in 2018 5th International Conference on Electrical and Electronic Engineering, Istanbul, Turkey, 2018, pp. 317-321.
- [11] (2012, Oct 24). x86 Architecture. [Online]. Available: <https://www.techopedia.com/definition/5334/x86-architecture>