

TENDENCIAS TECNOLÓGICAS BASADAS EN FPGA: UN ENFOQUE HACIA EL COVID-19

Paulo Realpe-Muñoz¹

Institución Universitaria Antonio José Camacho, Facultad de Ingenierías. Colombia
pcrealpe@admon.uniajc.edu.co

Javier Cortés Carvajal

Institución Universitaria Antonio José Camacho, Facultad de Ingenierías. Colombia
jcortes@admon.uniajc.edu.co

Recibido/Received: 09/08/2020

Aceptado/Accepted: 13/10/2020

RESUMEN

La respuesta al rápido crecimiento mundial de la curva de contagios ha permitido cosechar avances científicos y tecnológicos en un corto tiempo mostrando la capacidad de adaptación del ser humano. Los líderes políticos mundiales han tenido que atender de manera inmediata el impacto en los frentes de salubridad, social y económico de la enfermedad. Los sistemas de salud desnudaron su realidad frente a décadas de descuido y fueron saturados por la escasez de equipos médicos. Sin embargo, los científicos y el sector tecnológico mundial han dado una respuesta improvisada a los retos impuestos. Este trabajo proporciona una visión general de aplicaciones de las FPGAs y explora su uso como dispositivos reconfigurables en la mitigación del impacto COVID-19 (*Coronavirus disease-2019*) en inteligencia artificial, implantación de sistemas de comunicaciones 5G, Internet de las cosas (IoT), procesamiento de señales, seguridad de la información, control industrial y telemedicina.

PALABRAS CLAVE

FPGA, tendencia tecnológica, estado del arte, COVID-19.

ABSTRACT

The rapid global growth of the contagion curve has made it possible to reap scientific and technological advances quickly, showing the ability of human beings to adapt. World political leaders have had to immediately address the impact of the disease on the health, social, and economic fronts. Health systems bared their reality in the face of decades of neglect and were saturated by a shortage of medical equipment.

¹ Autor para correspondencia/ Corresponding autor: Paulo César Realpe Muñoz. Institución Universitaria Antonio José Camacho. Av. 6N # 28N-102. Cali-Valle-Colombia.

Sugerencia de cita/ Suggested citation: Realpe-Muñoz, P., y Cortés-Carvajal, J. (2020). Tendencias tecnológicas basadas en FPGA: un enfoque hacia el COVID-19. *Revista ACTITUD*, 17(1), 3-14.

However, scientists and the global technology industry have given an impromptu response to the challenges posed. This work provides an overview of FPGAs applications. It explores their use as reconfigurable devices to mitigate the impact of Covid-19 (Coronavirus disease-2019) in artificial intelligence, implementation of 5G communications systems, Internet of things (IoT), and signal processing, information security, industrial control, and telemedicine.

KEYWORDS

FPGA, technological trends, state-of-art, Covid-19.

INTRODUCCIÓN

Desde sus orígenes, las FPGAs permitieron la innovación de diversos campos como los DSPs, Radio Defined Software, sistemas aeroespaciales, defensa y procesamiento de imágenes para medicina, entre otros, por su alto grado de paralelismo. La ventaja clave es la combinación de flexibilidad similar al software con el rendimiento de otros elementos hardware de uso común como los microprocesadores. Cada campo de aplicación introduce requisitos especiales a la arquitectura computacional utilizada. En contraste con arquitecturas reconfigurables como las FPGAs, los circuitos integrados para aplicaciones específicas con rendimiento en tiempo real y tamaño físico compacto tienen baja disipación de energía, pero son inflexibles para cualquier modificación como el rediseño y la fabricación.

Las arquitecturas reconfigurables son dispositivos hardware que contienen elementos programables e interconexiones programables. La distribución espacial de elementos de procesamiento junto con una interconexión programable flexible permite varias formas de paralelismo (e.g. nivel de bits, nivel de instrucción, datos y paralelismo de tareas) inherentes a la aplicación. La capacidad de programación proporcionada por una arquitectura permite cambios significativos en el diseño de la ruta de datos, comparado con la capacidad de programación proporcionada por arquitecturas

basadas en conjunto de instrucciones (Moreano *et al.*, 2005). Por lo tanto, las arquitecturas reconfigurables son adecuadas para estructuras de aplicaciones específicas sin sacrificar la flexibilidad. Esta propiedad de arquitectura dedicada hace que las arquitecturas reconfigurables sean una solución prometedora para la programabilidad y el rendimiento de las aplicaciones actuales (Kareemullah *et al.*, 2017).

La arquitectura reconfigurable más comúnmente utilizada es la matriz de puertas programables de campo FPGA (por sus siglas en inglés *Field Programmable Gate Array*), que adapta el funcionamiento y el enrutamiento al paralelismo a nivel de bits. Las tres aplicaciones principales que ofrecen las FPGA son: el cálculo en tiempo real, paralelismo y un alto número de puertos de E/S para el usuario, incluidos los enlaces seriales de alta velocidad independiente del protocolo, que permiten que la FPGA se conecte a casi todos los periféricos de la aplicación. En los últimos años, numerosas publicaciones han nombrado a los FPGA como el componente principal para su implementación. Por lo tanto, es seguro decir que la FPGA ha evolucionado de circuito lógico a una plataforma de computación versátil de alto rendimiento (Romoth, 2017).

Las FPGAs tienen muchas ventajas con respecto a otros dispositivos hardware entre los cuales se encuentran: *i*) el diseñador no tiene que buscar los productos del mercado que mejor se adapten a sus diseños, sino que se lo diseña a sus necesidades, o reutiliza o modifica los diseños ya existentes, *ii*) el modelo de diseño hardware basado en HDL (sigla del inglés *Hardware Design Language*) contiene muchas de las ventajas del diseño software. El circuito es un fichero de texto, que se puede editar, simular, modificar y finalmente sintetizar, *iii*) con el mismo hardware físico, se consigue tener hardware con comportamientos diferentes, *iv*) en los diseños mixtos microcontrolador/FPGA se puede optar por implementar una solución hardware frente a uno puramente software, consiguiéndose mayor velocidad, finalmente *v*) existe la posibilidad de

realizar diseños hardware libres que se compartan dentro de la comunidad hardware y que cualquier diseñador pueda utilizarlos, modificarlos y distribuir las modificaciones. Esto es especialmente útil en el campo de la docencia y la investigación.

Esta tecnología también tiene sus desventajas, entre las más importantes están: i) la FPGA en comparación con un microcontrolador es mucho más costosa y ii) para realizar la síntesis del hardware hay que utilizar las herramientas del fabricante de la FPGA (Monmasson et al. 2011). Pero a pesar de estas desventajas, la tecnología FPGA es adecuada para un número amplio de aplicaciones que incluyen: clasificación y búsqueda, procesamiento de la señal (manipulación de audio, video e imagen), criptografía, procesamiento de paquetes, generación de números aleatorios, inteligencia artificial, implementación de comunicaciones 5G, robótica, industria automotriz y de producción, medicina y radioastronomía.

Actualmente el mundo está enfrentando la pandemia del COVID-19 y debido al creciente número de casos positivos de esta enfermedad, ver Figura 1, los gobiernos, la sociedad y la industria se preparan para el día después del COVID-19, donde el reto estará en mantener conectada a una sociedad que demanda productos o servicios para mantener o mejorar su calidad de vida. Requerirá redes cableadas e inalámbricas confiables y de alta velocidad, médicos especialistas que puedan atender a sus pacientes de forma remota, realizar exámenes médicos y cirugías a distancia. Una industria que garantice productos de alta calidad para la medicina y la sociedad. Redes de comunicación y equipos inteligentes que puedan predecir comportamientos, analizar patrones y encontrar soluciones científicas a los problemas que retan a la humanidad. La nueva realidad que moldea esta pandemia plantea la pregunta: ¿cuál será la tendencia tecnológica que se adapte fácilmente a una realidad de escenarios cambiantes por el COVID-19?

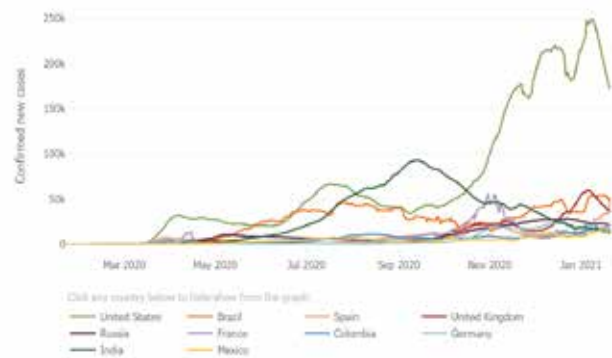


Figura 1. Se presenta las curvas de crecimiento de casos de Covid- 19 en los 10 países más afectados en el mundo en octubre de 2020, donde la Universidad Johns Hopkins reporta más de 41 millones de casos confirmados y más de 1.1 millones de muertes por la enfermedad reportadas en el mundo. Fuente <https://coronavirus.jhu.edu/data/new-cases>

LAS FPGAS EN REDES FIJAS Y MÓVILES

La tecnología FPGA ha demostrado ser beneficiosa para los sistemas de comunicación en la predicción y gestión de tráfico instantáneo, resolución de problemas de big data, intercambio eficiente de datos en redes de alta velocidad (Bishop et. al. 2018). La ejecución rápida de estos dispositivos motiva a los desarrolladores a solucionar problemas de comunicaciones típicas como conversión y formato de datos, temporización y sincronización. El procesamiento paralelo en la FPGA es útil para aumentar la eficiencia de componentes discretos y acelerar las partes complejas mediante el uso de FPGA en sistemas de comunicación (Kaur, 2018).

Para sistemas donde el entorno y control en tiempo real puede resultar complejo, por ejemplo, radio definida por software, algoritmos como FFT (por sus siglas en inglés *Fourier Fast Transform*) y FIR

(por sus siglas en inglés *Finite Impulse Response*), por lo que deben implementarse en FPGA. Debido a que estos sistemas tienen una continuidad del flujo de datos que no debe interrumpirse, el procesamiento paralelo de la información permite una velocidad de reloj mucho más alta que la velocidad de datos de entrada. Los núcleos DSP (por sus siglas en inglés *Digital Signal Processing*) modernos en FPGA permiten la integración de cálculos distribuidos en un solo circuito. Esto conduce a un ahorro de energía general y un diseño de sistema más adaptable (Romoth, 2017).

La comunicación de la próxima generación se basa en protocolos estandarizados, arquitecturas heterogéneas y tecnologías avanzadas que están concebidas para brindar conectividad ubicua y sin interrupciones. Esta evolución de la comunicación no sólo mejorará el rendimiento de las redes existentes, sino que también permitirá diversas aplicaciones en otros campos, al tiempo que integra diferentes sistemas heterogéneos. Este escalamiento masivo de la comunicación móvil requiere un mayor ancho de banda para funcionar. La tecnología 5G promete una solución robusta al ofrecer latencia muy baja y alto ancho de banda para la transmisión de datos. Para proporcionar a las personas y a las empresas una experiencia en tiempo real, se debe diseñar una arquitectura coordinada de extremo a extremo que sea ágil e inteligente en cada etapa. Como la FPGA tiene el potencial de ser eficiente en recursos y consumo de energía, se puede usar para construir componentes de infraestructura 5G, y puede acelerar el rendimiento de la red sin hacer una gran inversión en nuevo hardware. La reconfiguración dinámica y las características de programación en campo de los FPGA ayudan a desarrollar mejores sistemas inalámbricos (Chemola *et al.*, 2020).

La tecnología 5G se refiere a la quinta generación de tecnología de comunicación inalámbrica que soporta redes móviles a nivel mundial. En comparación con la red 4G, la red 5G tendrá un mejor rendimiento en términos de mayor velocidad, menor latencia, mayor rango, mayor disponibilidad y más confiabilidad.

Junto con otras tecnologías como IoT y la inteligencia artificial, la tecnología de red 5G y su implementación en FPGA tiene el potencial de revolucionar el sector de la salud. La comercialización de la tecnología 5G ha transformado su mecanismo de respuesta a la pandemia de Covid-19 al proporcionar una mejor asistencia al personal de primera línea y al facilitar un mejor seguimiento de virus, monitoreo de pacientes, recolección y análisis de datos (Hassija *et al.*, 2020).

LAS FPGAS Y EL INTERNET DE LAS COSAS (IOT)

Todo está en camino a ser automatizado y en la actualidad la mayoría de los objetos se están volviendo inteligentes. El internet de las cosas IoT (por sus siglas en inglés *Internet of Things*) permite que estos objetos estén siempre conectados en la red Internet para su manipulación. El IoT es una infraestructura de información inteligente que consta de dispositivos inteligentes, estos dispositivos pueden comunicarse entre sí sin la intervención humana. Los sistemas IoT requieren plataformas flexibles. Mediante el uso de dispositivos FPGA, un sistema IoT pueden interactuar fácilmente con el mundo exterior con bajo consumo de energía, baja latencia y buen desempeño. El uso de dispositivos FPGA para IoT llena el vacío entre el hardware y el software, y ofrece muchas ventajas como la flexibilidad, confiabilidad, moderado costo, tiempo de comercialización rápido y mantenimiento a largo plazo. En la actualidad, muchas aplicaciones IoT basadas en FPGA permite desarrollar ciudades inteligentes, automatización de edificios, control inteligente de la red, infraestructura inteligente del sistema de salud, sistemas automotrices inteligentes y sistemas de visión artificial inteligente (Jumaa, 2017).

El internet de las cosas todavía está en sus inicios, pero sus aplicaciones son infinitas. En el futuro los dispositivos FPGA impulsarán el IoT. Los sistemas IoT basado en FPGA interactuará con la electricidad, presión, temperatura, aceleración, posición, conversión analógico-digital (ADC)

y conversión digital-analógico (DAC). Algunos sistemas de desarrollo tales como Arduino, Raspberry Pi y Orange Pi se comunicarán con la FPGA para implementar plataformas IoT de alto desempeño. Algunos fabricantes de FPGA (e.g. Intel y Xilinx) han comenzado a trabajar en IoT mediante el diseño sistemas de control, visión artificial, inteligencia artificial y muchos otros sistemas de IoT basados en FPGA (Jumaa, 2017).

El Internet de las cosas médicas (IoMT), también conocido como IoT para el cuidado de la salud, es una fusión de dispositivos médicos con aplicaciones de software que ofrecen amplios servicios de salud, los cuales están conectados a sistemas FPGA para el cuidado de la salud. En los últimos años, el IoT de la salud ha sido testigo de un aumento en el número de aplicaciones (Saxena *et al.* 2019), con lo cual más dispositivos móviles están equipados con lectores de comunicación de campo cercano (NFC) que permiten que estos dispositivos interactúen con los sistemas de información. Entre estas aplicaciones se incluyen, *i*) monitorear pacientes desde una ubicación remota, *ii*) rastrear pedidos de medicamentos y *iii*) usar dispositivos portátiles para transmitir información a los profesionales de atención médica.

Debido a la capacidad de la FPGA para recopilar, analizar y transmitir datos de salud de manera eficiente, la tecnología IoT tiene un gran potencial transformador en la medicina. En medio de la actual pandemia del COVID-19, varios investigadores, organizaciones médicas y organismos gubernamentales están buscando aprovechar las herramientas y soluciones de IoT para reducir la carga sobre los sistemas de salud (Hassija *et al.*, 2020). Dichas soluciones pueden abarcar desde la producción industrial basada en IoT de unidades de ventilación, máscaras y otros equipos médicos hasta el monitoreo de las condiciones de los pacientes en los hospitales o el autoaislamiento en el hogar de manera segura, desarrollando nuevas técnicas pasivas de prevención de contagios, el diagnóstico de las condiciones COVID-19 basadas

en IoT y la recopilación y análisis de datos, para el desarrollo inteligente de puntos de atención.

LAS FPGAS EN LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La inteligencia artificial representa la próxima revolución tecnológica, cambiando la forma en que operan las empresas y alterando la forma en que las personas se involucran en su vida cotidiana. La inteligencia artificial es un concepto amplio de máquinas que pueden realizar tareas de una manera inteligente, emulando a los humanos. El aprendizaje automático es una aplicación de inteligencia artificial que permite que estas máquinas aprendan y mejoren automáticamente a partir de la experiencia sin ser programadas explícitamente. El aprendizaje profundo es un subconjunto del aprendizaje automático. El aprendizaje profundo generalmente se refiere a redes neuronales artificiales profundas. Las redes neuronales artificiales son conjuntos de algoritmos que son extremadamente precisos, especialmente para problemas relacionados con el reconocimiento de imágenes, sonido y sistemas de recomendación (Shawahna, 2018).

Una red neuronal profunda requiere alto rendimiento, más capacidad de potencia, alto nivel de procesamiento y menos tiempo de cómputo. Los diferentes enfoques digitales de las redes neuronales artificiales se benefician del paralelismo dado por la FPGA. Los recursos de memoria disponibles en la FPGA se pueden usar para implementar neuronas independientes, que se pueden conectar de varias formas. La aceleración general de la implementación es el aspecto principal del uso de FPGA. La visión artificial, la conducción autónoma y el centro de datos se encuentran entre las aplicaciones que se benefician de las capacidades de la implementación rápida de redes neuronales a sistemas digitales basados en FPGA.

Desde su inicio, la inteligencia artificial ha demostrado tener un avance tecnológico. Si se usa correctamente, es una herramienta muy

eficaz contra la pandemia de COVID-19. Entre las aplicaciones reales que hacen uso de las FPGAs en el área de la inteligencia artificial y que pueden ayudar a las autoridades médicas a combatir eficazmente la pandemia se tienen: vigilancia de enfermedades; predicción de riesgo; diagnóstico médico y detección; investigación curativa; modelado y análisis de virus; noticias falsas y hacer cumplir las medidas de bloqueo (Hassija *et al.*, 2020). La inteligencia artificial es una herramienta próxima y útil para identificar infecciones tempranas causadas por diferentes tipos de coronavirus, y también ayuda a controlar la condición de los pacientes infectados. Puede mejorar significativamente la seguridad del tratamiento y la toma de decisiones mediante el desarrollo de algoritmos útiles. La IA no sólo es útil en el tratamiento de pacientes infectados, sino también para su adecuado control de salud; puede rastrear la crisis de COVID-19 a diferentes escalas, como aplicaciones médicas, moleculares y epidemiológicas. También es útil para facilitar la investigación sobre este virus mediante el análisis de los datos disponibles. La IA puede ayudar a desarrollar regímenes de tratamiento adecuados, estrategias de prevención, desarrollo de medicamentos y vacunas (Vaishya *et al.*, 2020).

LAS FPGAS EN EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES

El procesamiento digital de señales DSP (por sus siglas en inglés Digital Signal Processing) es una de las técnicas de más rápido crecimiento en la industria electrónica. Se utiliza en una amplia gama de campos de aplicación, como telecomunicaciones, comunicaciones de datos, mejora y procesamiento de imágenes, procesamiento de video, transmisión de televisión digital y síntesis, y reconocimiento de voz. Los dispositivos FPGAs ofrecen una buena solución para abordar las necesidades de los sistemas DSP de alto rendimiento, bloques específicos, conectividad y capacidad de procesamiento (Saleh, 2010).

Las FPGAs son adecuados para realizar tareas de preprocesamiento en una imagen tales como;

conversión de formato de color, filtración de imagen y convolución. Con el avance en los diseños, se puede acceder fácilmente a los datos almacenados en caché mediante FPGA. Los enfoques basados en FPGA también se utilizan en la segmentación del color con el fin de implementar una red neuronal artificial para el seguimiento manual, segmentación de imágenes y reconocimiento de gestos con sistemas de realidad aumentada (Kaur, 2018). Las tareas típicas en el procesamiento de imágenes son evaluar imágenes individuales o cuadros múltiples de una señal de video para criterios dedicados como seguimiento de objetos o extracción de información de profundidad y movimiento. El campo de la robótica también se beneficia de los resultados obtenidos por el procesamiento de imágenes en FPGA. La principal razón para implementar algoritmos en FPGA es el paralelismo (e.g. filtrado de imágenes en tiempo real para fines de preprocesamiento). La memoria local incluida en las arquitecturas modernas de FPGA permite el almacenamiento en búfer de información de imagen relevante para minimizar la comunicación con memorias externas (Romoth *et al.*, 2017).

El uso de las FPGAs mediante técnicas de DSP puede ser aplicado en la identificación de secuencias genómicas intrínsecas del virus COVID-19, junto con un enfoque basado en el aprendizaje automático (Machine Learning) para una clasificación ultrarrápida, escalable y altamente precisa del genoma completo del virus. Un método propuesto y altamente confiable combina aprendizaje automático supervisado con procesamiento digital de señales MLDSP para análisis del genoma del virus. La disponibilidad de la secuencia del genoma completo del COVID-19, junto con el uso de las herramientas de procesamiento de datos, permite el desarrollo de nuevas vacunas. Así mismo, la vacunología inversa (encontrar vacunas a partir del genoma del patógeno) ha permitido acortar el tiempo para la identificación de candidatos a vacunas y, aunque aún no se han alcanzado los resultados finales, ya que la mayoría de las investigaciones se encuentra en ensayos clínicos, se espera que en el corto plazo

se tenga una nueva generación de vacunas para eliminar la pandemia (Randhawa et al., 2020).

Debido a que el COVID-19 es una patología nueva y la comunidad científica apenas está conociendo su comportamiento, las aplicaciones actuales que involucran las FPGAs y el COVID-19 son mínimas. Sin embargo, a medida que pasa el tiempo, publicaciones sobre este tipo de aplicaciones en revistas científicas empiezan a salir a la luz pública. A continuación, se presenta un caso de estudio sobre una aplicación entre la FPGA y el COVID-19 basado en el trabajo de Jorge et al. (2020).

Caso de estudio: Procesamiento de secuencia genética del SARS-COV-2

Jorge et al. (2020) compara 20 secuencias reales de SARS-CoV-2 (por sus siglas en inglés Severe Acute

Respiratory Syndrome Coronavirus 2) utilizando algoritmos que comparan secuencias genéticas LCS (por sus siglas en inglés Longest Common Subsequence) y sintetizadas en una CPU-FPGA priorizando el consumo de energía o el tiempo de ejecución. Las secuencias seleccionadas tenían la misma longitud (29,903 caracteres) y se seleccionaron al azar de los cinco continentes, al menos una secuencia por continente.

La Tabla 1 presenta los resultados de tiempo de ejecución y consumo de energía de las secuencias analizadas. Estos resultados son bastante sólidos donde los mejores tiempos de ejecución se obtienen con la versión solo con CPU y la solución solo con FPGA tiene el menor consumo de energía. La solución CPU-FPGA proporciona una buena compensación entre tiempo de ejecución y energía.

Tabla 1. Resultados de las 24 secuencias analizadas de SARS-CoV-2 de los 5 continentes

	Tiempo (s)	Tiempo Total (s)	Potencia (W)	Energía (J)	Energía Total (J)
Sólo CPU	230	230	100,52	23,119.60	23,119.60
Sólo FPGA	287	287	20,69	3068,03	3068,03
CPU	35	244	99,86	3495,1	6103,46
FPGA	244	-	10,69	2608,36	-

La primera observación es que todas las secuencias son muy similares a la secuencia de referencia. Considerando que todas las secuencias tienen 29,903 caracteres y que el valor asignado para las coincidencias es 1, la puntuación máxima de la LCS es 29,903. Esto significa que la similitud de secuencias está en el rango de 99,98% -99,94%.

Los resultados experimentales mostraron que la solución propuesta en FPGA es capaz de consumir mucha menos energía que la solución en CPU. Es decir, la CPU consume 8.4 veces más energía para realizar la aplicación en comparación con la FPGA. Por lo tanto, con la solución de solo FPGA, el consumo de energía fue significativamente menor. También se observa que el tiempo de ejecución en FPGA aumenta alrededor de 1,13 veces en relación a la CPU.

El caso de estudio también muestra que la solución FPGA + CPU heterogénea es capaz de tener el mejor tiempo de ejecución para los tamaños de secuencia considerados (10k, 20k y 50k), en comparación con las soluciones de solo FPGA y solo CPU.

LAS FPGAS EN LA MEDICINA

Las organizaciones médicas utilizan diversos sistemas de información de gestión y tecnologías de comunicación para mejorar la disponibilidad de sus servicios y la eficiencia operativa de los pacientes. La tendencia general en los países desarrollados es aumentar el gasto público para mejorar la calidad de la atención médica. Sin embargo, factores sociales, culturales, ambientales y económicos

de muchas naciones son las principales causas del ineficiente sistema de atención médica actual. Casos como la demora con respecto a informes y cirugía incorrecta han colocado al sistema de atención médica como el principal problema desafiante (Thomas et al., 2014).

La utilización de la tecnología puede ayudar de alguna manera a minimizar los problemas que tiene el sistema de salud actual. La utilización de herramientas de FPGA es una ruta flexible y de bajo riesgo para el diseño de un sistema médico exitoso, que ofrece eficiencias de costo óptimas al tiempo que proporciona capacidades de diferenciación de valor agregado con ciclos de vida largos para aplicaciones de salud médica que incluyen imágenes de diagnóstico, electromédicos, terapéuticos, equipos de hospital y ciencias de la vida.

Además de la aceleración de la evaluación de los datos adquiridos, como la vigilancia de funciones vitales, los FPGA se utilizan en simuladores de enseñanza médica para generar una respuesta en tiempo real a los instrumentos táctiles. Al igual que en la ingeniería de control, una respuesta en tiempo real a cualquier entrada es más importante para una retroalimentación realista. Las tareas desafiantes computacionales como la secuenciación de estructuras genéticas pueden ser paralelas y, por lo tanto, aceleradas con respecto a un cálculo de un solo hilo. Una tarea típica es la caracterización de conjuntos genéticos, debido que esta es una tarea que involucra un alto procesamiento de datos; los diseños en FPGA permiten un alto nivel de paralelismo (Romoth et al., 2017).

El diagnóstico rápido del COVID-19 puede permitir a los gobiernos tomar medidas de respuesta efectivas para limitar la propagación de la enfermedad. Muchas herramientas existentes se están reutilizando, mientras que otras nuevas también se están construyendo para resolver este problema. Los escáneres faciales utilizan sensores infrarrojo de temperatura en diferentes lugares públicos para detectar fiebre. Sin embargo, esta tecnología requiere la presencia de personal de primera línea para llevar

a cabo el escaneo. Para limitar la exposición del personal de primera línea a pacientes potenciales con COVID-19, varios hospitales, aeropuertos y centros médicos han adoptado el uso de cámaras con tecnología multisensorial.

Por otro lado, el diagnóstico temprano de pacientes con COVID-19 se basa en análisis por tomografía computarizada y rayos X con herramientas de inteligencia artificial y FPGAs, los cuales pueden ahorrar tiempo a los radiólogos al ofrecer un diagnóstico médico más oportuno que las pruebas actuales (Hassija et al., 2020).

CASO DE ESTUDIO: IOT EN MEDICINA Y FARMACIA

El intercambio comercial de productos falsificados y pirateados crece constantemente, en particular la farmacéutica, la alimentaria y el equipo médico, que pueden plantear graves riesgos para la salud y la seguridad. Con la intención de evitar cualquier pérdida de confianza del cliente y cualquier divulgación de información confidencial, las soluciones de Internet de las cosas (IoT) se utilizan cada vez más para satisfacer esta necesidad.

En este estudio, se evalúa el nivel de seguridad de un protocolo basado en criptosistemas de cifrado autenticado (AE) para etiquetas RFID ligeras. Además, se realizan simulaciones en FPGA y ASIC utilizando cinco esquemas AE diferentes de la competencia CAESAR para desarrollar tres casos de uso, en cuyo mejor escenario la etiqueta propuesta tiene 731 LUTs y necesita 3335 puertas para el módulo de seguridad.

Si bien el escenario presentado se basa en comprometer la integridad de la cadena de suministro para los kits de prueba COVID-19, el sistema es consciente de que los mismos ataques maliciosos podrían llevarse a cabo en cualquier cadena de suministro. El sistema está centrado en la capa de detección/captura de datos de una infraestructura de IoT y explora el desarrollo reciente de protocolos de comunicación y autenticación

seguros para prevenir ataques maliciosos. Por lo tanto, los autores proponen un protocolo mejorado AE que emplea un criptosistema capaz de satisfacer los requisitos de hardware de las etiquetas RFID ligeras. Con base en lo anterior, la seguridad y la privacidad se vuelve aún más importante, ya que las organizaciones sanitarias son cada vez más objeto de ataques cibernéticos que llevan a las organizaciones exigir estándares en la asistencia sanitaria. En este contexto, no sorprende que estas organizaciones (e.g. Centro Canadiense de Ciberseguridad) emitan una advertencia de que la pandemia COVID-19 presenta un nivel elevado de riesgo para la ciberseguridad de las organizaciones de salud involucradas en la respuesta a la pandemia (Safkhani et al., 2020).

LAS FPGAS EN LA SEGURIDAD DE LA INFORMACIÓN

La mayoría de las implementaciones de seguridad actuales se basan en la implementación de protocolos criptográficos en el software usando una biblioteca de software criptográfico de terceros, que se compila y ejecuta en un procesador de propósito general ejecutado en un sistema operativo conocido. Si bien las implementaciones de criptografía basadas en software están muy extendidas, existe una tendencia creciente a implementar seguridad directamente en hardware, especialmente en sistemas integrados críticos (Tommiska *et al.*, 2018).

La complejidad general de las implementaciones de seguridad modernas basadas en software presenta múltiples objetivos potenciales para un tercero malintencionado (e.g. hacking). Una implementación de seguridad basada en software también puede no cumplir con el rendimiento requerido (e.g. latencia). Es importante destacar que la capacidad de actualización continua (durante toda la vida útil del sistema), tanto para las bibliotecas de software (incluidas las bibliotecas criptográficas) como para los sistemas operativos, puede ser un desafío de mantenimiento insuperable.

Por las razones descritas anteriormente, a menudo se requiere una solución de seguridad basada en hardware, y una tendencia creciente es implementar seguridad en hardware reprogramable, especialmente en FPGA. Las familias modernas de FPGA admiten configuraciones cifradas y autenticadas, donde el archivo de configuración nunca se almacena como texto sin formato en la memoria de configuración externa no volátil, y en el momento de inicio de FPGA, este descifra y autentica el contenido del archivo de configuración.

El uso tradicional de la lógica reprogramable (FPGA) en implementaciones de seguridad ha sido descargar un sistema de procesador host acelerando los algoritmos críticos de rendimiento de un protocolo criptográfico. Las técnicas de diseño típicamente utilizadas para lograr la aceleración incluyen la canalización, la paralelización y el desarrollo de bucles (Romoth *et al.*, 2017). La aceleración de procesamiento, y también el ahorro de costos y energía, han sido especialmente aplicadas para la criptografía simétrica (e.g. AES). Sin embargo, las ventajas de la implementación de seguridad basada en FPGA no se limitan a los aumentos de rendimiento, sino que también mejoran el nivel de seguridad del producto final. En la práctica, una implementación basada en FPGA de un protocolo de seguridad utiliza una combinación de bloques de propiedad intelectual (IP) individuales (Tommiska *et al.*, 2018).

Si bien el mundo se centra en las amenazas económicas y de salud planteadas por el COVID-19, los ciberdelincuentes de todo el mundo, sin duda, están aprovechando esta crisis. Organizaciones de seguridad de la información a nivel mundial han encontrado un aumento significativo en ataques informáticos, ya que los atacantes usan la pandemia como señuelo para hacerse pasar por marcas influyentes que engañan a empleados y clientes. Esto probablemente dará como resultado más computadoras personales y teléfonos inteligentes infectados. No sólo se está apuntando a las empresas, sino que también se está

engañando a los usuarios finales que descargan aplicaciones relacionadas con COVID-19 para que usen *ransomware* (secuestro de datos) disfrazado de aplicaciones legítimas (Aladenusi, 2020).

LAS FPGAS EN EL CONTROL INDUSTRIAL

La FPGA se ha establecido como una de las plataformas de implementación digital preferidas en una gran cantidad de aplicaciones industriales actuales. Hasta hace poco tiempo, había dos enfoques para diseñar sistemas digitales para aplicaciones de control industrial: un enfoque secuencial (software) basado en microcontroladores o procesadores de señal digital (DSP), y un enfoque paralelo (hardware), generalmente restringido para resolver partes específicas de problemas que requieren soluciones de alto rendimiento. El desarrollo industrial de este segundo enfoque estuvo condicionado por el conocimiento limitado de la tecnología, las herramientas de diseño, la falta de madurez de estas herramientas, el costo y la falta de algunas funcionalidades de hardware especializadas.

A medida que la FPGA evolucionó aprovechando la reducción de la tecnología de fabricación, los proveedores comenzaron a desarrollar núcleos de procesadores flexibles que pueden implementarse a partir de recursos FPGA estándar, así como procesadores integrados en sus dispositivos. Debido a esto, los enfoques de diseño dieron como resultado un cambio de paradigma que constituye el principal activo actual de los FPGA, que ya no pueden verse sólo como aceleradores de hardware, sino como plataformas muy potentes de System-on-Chip (SoC). La combinación en un solo chip de procesadores integrados con periféricos de hardware optimizados y de alto rendimiento personalizados ha abierto la puerta para la aplicación de FPGA en todas las áreas de diseño digital para aplicaciones industriales (Rodríguez *et al.*, 2015).

Al igual que con el control difuso, la principal contribución de los FPGA es su capacidad para implementar un controlador como un sistema duro

en tiempo real. Por lo tanto, es posible reaccionar en cualquier momento a cambios críticos en el entorno de control. Otro aspecto es la posibilidad de reconfigurar el FPGA durante el tiempo de ejecución, lo que permite una adaptación a un entorno cambiante al elegir el mejor controlador, al tiempo que reduce los recursos lógicos necesarios (Romoth *et al.*, 2017).

Con la Industria 4.0 adoptada a escala en los últimos años, la pandemia del COVID-19 sólo ha acelerado su influencia en el espacio de la producción y control industrial. El gran cambio en el comportamiento del consumidor debido a la pandemia conducirá finalmente a una mayor automatización y virtualización. Avances en IoT, y realidad aumentada y virtual con el uso de la FPGA habilitan mejor la fuerza de trabajo remota. Las fábricas y oficinas inteligentes aumentarán, permitiendo que las funciones críticas que actualmente necesitan ser supervisadas en persona sean monitoreadas de forma remota o, como mínimo, por menos personas. La automatización brinda la capacidad de mejorar la facilidad de las operaciones, no sólo para los clientes sino también para los empleados, socios y proveedores del sector de fabricación, y cuando se integra correctamente, la automatización puede amplificar las habilidades y fortalezas de las personas para aumentar la eficiencia en el lugar de trabajo.

En una encuesta realizada por la compañía IoT, Pod Group, se encontró que el 73% de los 500 líderes empresariales del Reino Unido encuestados creen que la pandemia del COVID-19 provocará una nueva ola de automatización. El 62% de los encuestados anticipa que sus propias compañías acelerarán los planes para usar la automatización en algunos procesos que actualmente realizan los empleados. Este porcentaje es mayor en comercio minorista, restauración y ocio, en finanzas y TI, y telecomunicaciones. Los encuestados creen que los factores que impulsan la introducción de la automatización en el lugar de trabajo son la reducción de costos, la dependencia de los trabajadores humanos y la mejora de la calidad del trabajo (Galea, 2020).

CONCLUSIONES

Este trabajo presenta la capacidad de las FPGAs para adaptarse rápidamente a los escenarios de la nueva realidad. Escenarios que exigen tecnologías que respondan rápidamente a los requisitos de cómputo en tiempo real en los diversos campos de aplicación. Las FPGAs logran una aceleración de cálculos específicos por su alto nivel de paralelismo que permite obtener una aceleración significativa en aplicaciones, especialmente comparadas con sistemas de cómputo con arquitectura multinúcleo. Las implementaciones de FPGA son capaces de acercarse al grado de aceleración definido por la ley de Amdahls (es el algoritmo el que decide la mejora de velocidad, no el número de procesadores). La literatura muestra que continuamente se están migrando aplicaciones que otrora se basaban en cálculos DSP típicos hacia implementaciones sobre FPGA. Publicaciones de autores de prestigio reconocen la eficiencia energética de las FPGAs en comparación con arquitecturas de uso general como la CPU.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aladenusi T. (2020). COVID-19's Impact on Cybersecurity. Deloitte. Recuperado de: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=WC20200414>.
- Bishop J., Chareau J., Bonavita F. (2018). Implementing 5G NR Features in FPGA. 2018 European Conference on Networks and Communications (EuCNC).
- Chamola V., Patra P., Kumar N., and Guizani M. (2020). FPGA for 5G: Re-configurable Hardware for Next Generation Communication. *IEEE Wireless Communications*, 27(3), pp. 140-147.
- Galea-Pace S. (2020). Automation and the impact of COVID-19 in manufacturing. Recuperado de <https://www.manufacturingglobal.com/ai-and-automation/automation-and-impact-covid-19-manufacturing>.
- Gandhare S. and Karthikeyan B. (2019). Survey on FPGA Architecture and Recent Applications. International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking (ViTECoN).
- Hassija V., Chamola V., Gupta V. and Guizania M. (2020). Comprehensive Review of the COVID-19 Pandemic and the Role of IoT, Drones, AI, Blockchain, and 5G in Managing Its Impact. *IEEE Access*, pp. 90225-90265.
- Jumaa N. (2017). Survey: Internet of Thing Using FPGA. *Journal on Electrical and Electronic Engineering*, 13(1).
- Kareemullah H., Janakiraman N. and Kumar P. (2017). A Survey on Embedded Reconfigurable Architectures. International Conference on Communication and Signal Processing.
- Kaur A. (2018). A Survey on FPGA Implementations in Embedded Augmented Reality Applications. 6th Edition of International Conference on Wireless Networks & Embedded Systems (WECON).
- Monmasson E., Idkhajine L., Cirstea M., Bahri I. and Tisan A. (2011). FPGAs in Industrial Control Applications. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(2), pp. 224-243.
- Moreano N., Borin E., Souza C. and Araujo G. (2005). Efficient Datapath Merging for Partially Reconfigurable Architectures. *IEEE Transaction Computer Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 24(7), pp. 969-980.
- Randhawa G., Maximillian P., Hadi R., Souza C., Hill K. and Kari L. (2020). Machine learning using intrinsic genomic signatures for rapid classification of novel pathogens: Covid-19 case study. *PLoS ONE*, 15.
- Rodríguez J., Valdés-Peña M., and Moure M. (2015). Advanced Features and Industrial Applications of FPGAs – A Review. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 11(4), pp. 853-864.

Romoth J. and Porrman M. (2017). Survey of FPGA applications in the period 2000 – 2015. Technical Report.

Safkhani M., Rostampourbc S., Bendavidc Y. and Bagherid N. (2020). IoT in medical & pharmaceutical: Designing lightweight RFID security protocols for ensuring supply chain integrity. *Computers Networks*, 181.

Saleh H. (2010). New Trends in Digital Signal Processing Using FPGA. Technical report.

Saxena V., Hassija V., Chamola V., Jain D., Goyal P., and Sikdar B. (2019). A survey on IoT security: Application areas, security threats, and solution architectures. *IEEE Access*, 7, pp. 82721-82743.

Shawahna A., Sait S. and El-Maleh A. (2018). FPGA-based Accelerators of Deep Learning Networks for Learning and Classification: A Review. *IEEE Access*, 4.

Thomas G. and GnanaSheela K. (2014). Review on FPGA Based Health Care System. *International Journal of Modern Sciences and Engineering Technology (IJMSET)*.

Tommiska M., Jervis M. and Wachswender W. (2018). FPGA-based security solutions. Intel. Technical report.

Vaishya R., Javaid M., Haleem I. and Haleem A. (2020). Artificial Intelligence (AI) applications for Covid-19 pandemic. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 4, pp. 337-339.

Jorge C., Alexandre S., Melo A., Goldman A. (2020). Department of Computer Science, University of Brasilia. A CPU-FPGA heterogeneous approach for biological sequence comparison using high-level synthesis