
Proyecto Grupal 1:

Diseño e Implementación de un ASIP vectorial para filtros clásicos de imágenes

Fecha de asignación:	8 de abril
Grupos:	4 personas

Fecha de entrega:	13 de mayo
Profesor:	Luis Barboza Artavia

Mediante el desarrollo de este proyecto, el estudiante aplicará los conceptos de paralelismo a nivel de datos, específicamente procesadores *Single Instruction Multiple Data* (SIMD) del tipo vectorial. Se realizará un *Application Specific Instruction Set Processor* (ASIP) para aplicar filtros clásicos a imágenes de color.

1. Atributos relacionados

A continuación se describen los atributos del graduado que se pretenden abordar con el desarrollo del proyecto.

1.1. Diseño (DI)

Capacidad para diseñar soluciones de problemas complejos de ingeniería, con final abierto y diseñar sistemas, componentes o procesos que cumplan con necesidades específicas, considerando la salud pública, seguridad, estándares pertinentes, así como los aspectos culturales, sociales, económicos y ambientales.

El atributo de diseño será evaluado tanto formativamente (reuniones de seguimiento con el profesor) como sumativamente, en especial en la sección de documentación de diseño de los entregables.

2. Descripción General

El paralelismo en múltiples niveles ha sido la motivación del diseño de computadoras con el fin de mejorar el rendimiento términos de energía y costo. Un tipo básico de paralelismo es a nivel de datos donde surge porque hay muchos datos que pueden ser operados al mismo tiempo. Las arquitecturas vectoriales son los referentes en este aspecto porque utilizan el concepto de SIMD para explicar el paralelismo a nivel de datos aplicando una única instrucción a una colección de datos de manera paralela. Los diseñadores han encontrado que SIMD trae ventajas puesto que es potencialmente eficiente en energía que otras técnicas como MIMD.

Para este proyecto se aplicarán los conceptos de arquitectura de computadoras para el diseño e implementación de un procesador vectorial. La arquitectura del set de instrucciones (ISA) será propuesta por cada grupo según las necesidades de la aplicación para diversos algoritmos de filtros de imágenes.

En el proyecto se desarrollará un acercamiento práctico al diseño de un set de instrucciones propio y específico, la realización en hardware de un modelo funcional de un procesador vectorial que implemente el set propuesto, y programación de sistemas computacionales en general.

2.1. Filtros para imágenes

Los filtros para imágenes serán los siguientes:

- **Sepia:** Para este filtro, a cada pixel (i,j) se le extrae el canal R, G y B. Luego, se calcula el nuevo valor para R, G y B multiplicando cada uno de estos valores por una constante. A continuación se muestra [una forma de calcularlo](#):

$$outputRed = (inputRed \times 0,393) + (inputGreen \times 0,769) + (inputBlue \times 0,189)$$

$$outputGreen = (inputRed \times 0,349) + (inputGreen \times 0,686) + (inputBlue \times 0,168)$$

$$outputBlue = (inputRed \times 0,272) + (inputGreen \times 0,534) + (inputBlue \times 0,131)$$

- **Escala de grises:** Para este filtro, hay [múltiples implementaciones](#). Se puede implementar por medio de: un promedio de los tres valores de los canales RGB, multiplicando los valores de RGB por una constante, así como obteniendo el máximo y mínimo de los canales y multiplicándolo por una constante. La implementación queda a criterio de cada grupo.
- **Filtro propio:** cada grupo deberá investigar sobre filtros de imágenes. Luego de dicha investigación, deberá seleccionar e implementar uno para la arquitectura propia.

3. Especificación

Se le solicita desarrollar una **arquitectura** y una **microarquitectura** que realice la ejecución de los filtros de imágenes. Se usará una imagen de entrada libre con dimensión mínima de 256×256 . En la salida se mostrará la imagen final luego de realizado el algoritmo.

Se deben seguir los siguientes requisitos generales de funcionalidad:

1. El diseño completo debe poder ser sintetizable en una tarjeta de desarrollo Terasic DE1-SoC-M TL2 (debe caber todo ahí, inclusive la imagen de entrada y el producto de la composición).
2. Las imágenes de entrada y salida deben ser almacenadas en memoria (se recomienda usar el bloque IP de la biblioteca de Quartus).
3. El sistema debe permitir la interacción con el usuario, para poder elegir el filtro que se desea aplicar mediante algún periférico (e.g., botones, switches).

4. La imagen mostrada debe ser escrita en un `.img` que será leído e interpretado por un software de alto nivel libre.
5. El ISA debe ser eficiente y congruente, con criterios de diseño definidos. Es importante hacer reuniones con el profesor para guía.
6. El formato de las imágenes será a color (RGB) con píxeles con valores entre $[0, 255]$.
7. El tamaño del vector deberá ser de al menos 6 bytes, es decir cada vector deberá tener, al menos, 6 datos de 8 bits cada uno.

Requisitos de Arquitectura ISA:

1. Debe diseñar un conjunto de instrucciones y arquitectura que permita solucionar el problema planteado, considerando detalles como:
 - a) Modos de direccionamiento.
 - b) Tamaño y tipo de datos.
 - c) Tipo y sintaxis de las instrucciones.
 - d) Registros disponibles y sus nombres.
 - e) Codificación y descripción funcional de las instrucciones

Tome en cuenta que estos detalles deben ser justificados desde el punto de vista de diseño (complejidad, costo, área, recursos disponibles).

2. Se deberán incluir instrucciones con operaciones vector-vector y vector-escalar.
3. Los productos finales de esta etapa son el *instruction reference sheet* o *green sheet*.
4. El ISA debe ser personalizado y realizado por los estudiantes, **no se aceptarán ISAs ya diseñados (e.g., ARM, x86, RISC-V, otros)**. Debe justificar cada característica del mismo.

Requisitos de Microarquitectura

1. La implementación diseñada debe ser correcta respecto a las reglas definidas por la arquitectura, esto quiere decir que el procesador debe ser capaz de ejecutar todas las instrucciones definidas y su especificación respecto a errores y excepciones.
2. El procesador diseñado debe emplear pipelining. Tenga en cuenta las implicaciones respecto a riesgos de dicha técnica, el uso de registros y unidades de ejecución. **No se revisará si no tiene pipeline.**
3. Debe ser implementado usando SystemVerilog.

4. **No se permite realizar módulos especializados de hardware.** Es un curso de Arquitectura de Computadores, no de Diseño de Sistemas Digitales.
5. El procesador debe tener capacidad de segmentación de memoria en datos e instrucciones además debe ser capaz de acceder los dispositivos de entrada y salida del sistema (GPIO, volcado de memoria, switches, etc).
6. Cada unidad funcional del sistema debe ser debidamente probada en simulación, para verificar su funcionamiento correcto (unit tests). Además debe incluir pruebas de integración y sistema. Se le solicita un plan de pruebas donde especifique los objetivos y descripción de las pruebas junto con sus resultados.
7. El procesador debe poseer al menos 4 *lanes* para ejecutar de manera paralela las operaciones en los vectores.
8. Los resultados finales de esta etapa son:
 - a) El código fuente (SystemVerilog) y el bitstream para programar la tarjeta de desarrollo.
 - b) Un diagrama de bloques de la microarquitectura y descripción de las interacciones entre ellos.
 - c) Simulaciones de las pruebas unitarias y de integración.
 - d) Reporte de consumo de recursos del FPGA para el modelo.

Requisitos de Software:

1. Crear una aplicación (software) empleando la arquitectura diseñada, con el fin de implementar la aplicación descrita.
2. Debe realizar un programa ('compilador') que permita traducir las instrucciones del ISA a binario, con la finalidad de ejecutarlo en el procesador. No es necesario que realice análisis léxico, sintáctico y semántico (este curso no es de Compiladores).

El proceso de diseño debe incluir propuestas y comparación de viabilidad de las mismas.

4. Evaluación y entregables

La defensa será el mismo día de la entrega y todos los archivos (incluyendo código fuente) serán entregados a las 11:59 pm ese mismo día (**realícenlo progresivamente y no lo deje para el final**). La evaluación del proyecto se da bajos los siguientes rubros contra rúbrica correspondiente:

- Presentación proyecto 100 % funcional (65 %): cada grupo deberá demostrar en una sesión (previa cita con el profesor) de 45 minutos los diferentes componentes del proyecto. El profesor evaluará las pruebas según rúbrica correspondiente. En la sesión se harán preguntas relacionadas sobre cualquier etapa del sistema. Se habilitará un espacio en el tec digital para colocar un enlace del repositorio con el código fuente del proyecto. En la defensa se debe presentar lo siguiente:
 1. Todo el diseño debe ser sintetizable en una tarjeta: **Terasic DE1-SoC-M TL2**. Es decir, debe llegar hasta la generación de un **.sof**. Se garantiza que la tarjeta tenga suficientes recursos para almacenar y ejecutar el diseño según el reporte.
 2. Debe reservar los espacios de memoria para la imagen de salida.
 3. Mediante ModelSim debe crear un *testbench* de los mismos archivos de SystemVerilog que se usaron para sintetizar. Con este *testbench* debe escribir un archivo:
 - Imagen de salida (.img).
 Este archivo es una representación que contiene los valores de los pixeles.
 4. Debe crear un script de alto nivel para visualizar la imagen de entrada y la de salida.

Los entregables adicionales que se revisarán en la defensa son los siguientes:

1. Arquitectura:
 - a) *Instruction reference sheet* o *green sheet*.
 2. Microarquitectura:
 - a) Diagrama de bloques de la microarquitectura.
 - b) Reporte de consumo de recursos del FPGA.
 3. Software
 - a) Programa de software.
 - b) Compilador usado.
 4. Plan de pruebas: debe incluir las simulaciones de las pruebas unitarias de los diferentes módulos.
- Artículo científico tipo *paper* (15 %): El paper a realizar deberá tener una extensión no mayor a 4 páginas completas (incluyendo bibliografías), deberá ser realizado con L^AT_EX, siguiendo un formato establecido (IEEE Transactions o ACM, por ejemplo). Se les provee un ejemplo de paper en el [enlace](#). En general el *paper* deberá contar con las siguientes secciones:

1. Abstract (en inglés): Un buen abstract tiene las siguientes características:

- a)* Un abstract permite a los lectores obtener la esencia o esencia de su artículo o artículo rápidamente, para decidir si leer el artículo completo.
 - b)* Un abstract prepara a los lectores para seguir la información detallada, los análisis y los argumentos en su artículo completo.
 - c)* Un abstract ayuda a los lectores a recordar puntos clave de su paper.
 - d)* Un abstract es de entre 150 y 250 palabras.
 2. Palabras clave significativas (a lo sumo 6).
 3. Introducción: Una buena introducción muestra el contexto del problema o lo que se va a solucionar, introduce el tema al lector. Al final de la introducción se indica la organización del documento (primero se muestra el algoritmo, luego....).
 4. Marco teórico.
 5. Procesador desarrollado.
 6. Resultados.
 7. Conclusiones escritas en prosa.
 8. Bibliografía, en formato IEEE y referenciadas en el texto (usar cite). Referencia bien para evitar problemas de plagio. Un documento no referenciado en el texto no existe.
- Documentación de diseño (15 %): Este documento se encuentra directamente ligado con el atributo DI. La documentación del diseño deberá contener las siguientes secciones:
1. Listado de requerimientos del sistema: Cada estudiante deberá determinar los requerimientos de ingeniería del problema planteado, considerando partes involucradas, estado del arte, estándares, normas, entre otros.
 2. Elaboración de opciones de solución al problema: Para el problema planteado deberán documentarse al menos dos opciones de solución. Cada solución deberá ser acompañada de algún tipo de diagrama.
 3. Comparación de opciones de solución: Se deberán comparar explícitamente las opciones de solución, de acuerdo con los requerimientos y otros aspectos aplicables de salud, seguridad, ambientales, económicos, culturales, sociales y de estándares.
 4. Selección de la propuesta final: Se deberá evaluar de forma objetiva, válida y precisa las soluciones planteadas al problema y escoger una solución final.
 5. Implementación del diseño: Se deberá documentar completamente el diseño final seleccionado. Para el caso de este proyecto esto incluye: descripción de arquitectura del set de instrucciones (ISA), diagrama de bloques del modelo del procesador, diagrama de bloques del computador (procesador + interfaz con aplicación), diagramas propios de diseño de software aplicables (de flujo, clases, composición, UML, patrones de diseño, etc) y descripción de algoritmo propuesto.

- Coevaluación (5 %): cada integrante del grupo utilizará la siguiente [lista de valoración](#) para evaluar a todos los integrantes del grupo (incluyéndose). Este rubro es individual y se ponderará con las evaluaciones de los otros compañeros.

Se seguirán los siguientes lineamientos:

1. Los documentos serán sometidos a control de plagios para eliminar cualquier intento de plagio con trabajos de semestres anteriores, actual o copias textuales, tendrán nota de cero los datos detectados. Se prohíbe el uso de referencias hacia sitios no confiables.
2. No coloque código fuente en los documentos, quita espacio y aporta poco. Mejor explique el código, páselo a pseudocódigo o use un diagrama.