

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Área Académica de Ingeniería en Computadores
(Computer Engineering Academic Area)

Programa de Licenciatura en Ingeniería en Computadores
(Licentiate Degree Program in Computer Engineering)

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Aplicación de Técnicas de Aprendizaje Automático para Generación de Circuitos Aproximados
(Application of Machine Learning Techniques for the Generation of Approximate Circuits)

Informe del Anteproyecto para el Trabajo Final de Graduación
(Report of Pre-project for a Graduation Work in fulfillment of the requirements for the degree of Licentiate in Computer Engineering)

Ignacio Vargas Campos

Cartago, Febrero, 2025

Índice

1. Palabras clave	1
2. Introducción	1
3. Contexto y antecedentes	2
4. Descripción del proyecto	2
4.1. Justificación y definición del problema.	2
4.2. Objetivo general	2
4.3. Objetivos específicos	2
4.4. Resultados esperados	2
4.5. Supuestos y limitaciones	3
4.6. Análisis de riesgos	3
5. Propuesta metodológica	3
5.1. Tipificación del trabajo a realizar	3
5.2. Descripción general del proceso por realizar	4
5.2.1 Estudio del estado del arte	4
5.2.2 Adecuación de la herramienta	4
5.2.3 Comparación de resultados	4
5.3. Entregables y actividades	4
5.3.1 Entregables	4
5.3.2 Actividades	5
5.4. Cronograma	5
Apéndice	6
Ficha de contactos del proyecto	6
Datos del estudiante	6
Datos del proyecto	6
Datos de la empresa u organización	6

1. Palabras clave

Computación aproximada, Aprendizaje automático, Reconocimiento de patrones, ASIC, ALS

2. Introducción

La computación aproximado es un paradigma que ha surgido ante la necesidad de realizar cálculos de manera más rápida y eficiente en contextos donde no es necesario ser 100 % preciso. Específicamente, un circuito aproximado es aquel que permite reducir el consumo de recursos a cambio de una degradación en la precisión de los resultados. Dentro de este enfoque, los circuitos aproximados han demostrado ser una solución viable para aplicaciones tolerantes a errores, como el procesamiento de señales, visión por computadora e inteligencia artificial, donde la exactitud absoluta no es crítica. Estos circuitos modifican su lógica para reducir el área, el consumo energético o mejorar el desempeño, sacrificando exactitud de manera controlada.

Existen múltiples técnicas para aproximar el diseño de circuitos y construir la circuitería relacionada de manera manual. Sin embargo, este enfoque requiere un profundo conocimiento sobre el comportamiento del circuito para realizar aproximaciones y optimizaciones degradando la exactitud de los resultados de manera controlada. Esto resulta en que el diseño manual sea muy difícil y aplicable a solo los diseños de circuitos muy específicos para los que se tenga el amplio conocimiento necesario sobre su topología y comportamiento.

Para abordar estas limitaciones, se ha incursionado en aplicar técnicas para generar circuitos aproximados dentro del Electronic Design Automation (EDA), término que se refiere a utilizar herramientas para automatizar partes de el diseño de circuitos electrónicos, típicamente automatizan tareas como la síntesis lógica, la optimización y la verificación de circuitos. Relevante para el tema del diseño de circuitos aproximados, se cuenta con la Approximate Logic Synthesis (ALS), término el cual se refiere a una gama de técnicas para mejorar la eficiencia de un circuito modificando sistemáticamente la

funcionalidad sin exceder un umbral de error definido. Un gran beneficio del ALS es que no hay necesidad de conocer los detalles de implementación del circuito específico que se sintetice con estas técnicas.

Se puede ver el ALS como un conjunto de técnicas que realizan una exploración del espacio de diseño de un circuito. Este espacio está acotado por el umbral de error permitido en el comportamiento del circuito, dentro de este espacio buscamos el diseño de circuito que nos lleve a la máxima eficiencia ojalá con el mínimo error posible. Estas técnicas incluyen heurísticas, algoritmos evolutivos como los genéticos y, más recientemente, enfoques basados en aprendizaje automático. Bajo este marco, el aprendizaje automático es simplemente una técnica más eficiente para encontrar soluciones óptimas dentro de este espacio de soluciones a través del descenso de gradiente.

AxLS es una plataforma específica para ALS de fuente abierta que aplica transformaciones en netlists. Al implementar tanto técnicas existentes como nuevas dentro de esta plataforma, es posible utilizar los mismos métodos para calcular umbrales de error y métricas de calidad, lo que permite una comparación más precisa entre diferentes enfoques de ALS. Este trabajo de investigación buscará implementar técnicas de aprendizaje automático dentro de esta plataforma, tanto para poder comparar resultados con otras investigaciones que las han implementado en su ALS, como para comparar los resultados de las técnicas de aprendizaje automático con otras técnicas diferentes implementadas en esta plataforma.

3. Contexto y antecedentes

El proyecto se realizará en como un proyecto de investigación en el Instituto Tecnológico de Costa Rica. Una de las universidades públicas de Costa Rica, con su sede original en Cartago creada en 1971. Se realizará en colaboración con el departamento de Ingeniería Electrónica.

Este proyecto se encuentra en la intersección de múltiples áreas de conocimiento relacionadas a la ingeniería en computadores. La computación aproximada tiene aplicaciones en el campo de la computación de alto desempeño. Se utilizarán técnicas de aprendizaje automático. También entra en el área de diseño de circuitos computacionales.

4. Descripción del proyecto

4.1. Justificación y definición del problema.

Los investigadores del Instituto Tecnológico de Costa Rica no tienen la capacidad de utilizar técnicas de ALS basadas en aprendizaje automático debido a que la herramienta a la que tienen acceso, AxLS, no tiene la capacidad técnica para llevarlas a cabo.

Se desea tener esta capacidad para verificar y comparar los resultados obtenidos por otros investigadores, así como poder proponer y desarrollar sus propias técnicas novedosas de ALS basadas en aprendizaje automático.

4.2. Objetivo general

Formular una técnica del estado del arte de aprendizaje automático para ALS en la herramienta AxLS, de manera que permita ser comparada con otras técnicas implementadas dentro de la herramienta así como con otras implementaciones diferentes de las técnicas seleccionadas.

4.3. Objetivos específicos

1. Evaluar al menos 3 técnicas de ALS basadas en aprendizaje automático determinando cuál es la más apropiada para ser integrada en la herramienta AxLS.
2. Adaptar la herramienta AxLS para que sea posible la implementación de la técnica escogida, con la consideración de que permita fácilmente la implementación de futuras técnicas de aprendizaje automático.
3. Evaluar los resultados de la técnica de aprendizaje automático implementada en AxLS con respecto a resultados obtenidos mediante las técnicas ya existentes en la herramienta.

4.4. Resultados esperados

Técnico El proyecto mejorará la capacidad de AxLS al adecuarla para la integración de técnicas de aprendizaje automático, lo que permitirá explorar métodos más avanzados de ALS. Esto facilitará la experimentación con nuevos enfoques y la comparación con técnicas preexistentes dentro de la herramienta.

Académico y organizacional Para el Instituto Tecnológico de Costa Rica, el proyecto representa una mejora en su capacidad de investigación en computación aproximada. Los investigadores podrán acceder a una plataforma con soporte para aprendizaje automático, lo que permitirá estudios comparativos y el desarrollo de nuevas técnicas dentro del campo de ALS.

Económico Aunque el proyecto es de naturaleza académica, la optimización de circuitos mediante ALS tiene aplicaciones en la industria de semiconductores, donde la reducción de consumo energético y área de circuitos puede traducirse en menores costos de fabricación y operación.

Ambiental Si bien el proyecto no tiene un impacto ambiental directo, la optimización de circuitos puede ayudar a reducir el consumo energético en aplicaciones que utilizan hardware especializado, promoviendo un uso más eficiente de los recursos electrónicos.

4.5. Supuestos y limitaciones

Supuestos

- Se tendrá acceso a información académica relevante, como artículos científicos y publicaciones sobre ALS y aprendizaje automático, para fundamentar la selección de técnicas a implementar.
- Se dispone de un entorno de desarrollo adecuado, incluyendo hardware y software compatibles con la implementación requerida.
- Se presupuestan 12 semanas para la implementación técnica dentro de AxLS, asumiendo que no habrá retrasos significativos por imprevistos.

Limitaciones

- La implementación estará restringida a las capacidades actuales de AxLS, lo que podría requerir modificaciones adicionales en su arquitectura para soportar aprendizaje automático.
- El desempeño de la técnica implementada dependerá de la calidad y disponibilidad de los datos utilizados para el entrenamiento y evaluación.

4.6. Análisis de riesgos

A continuación, se identifican los principales riesgos que podrían afectar el desarrollo del proyecto y las acciones para mitigar su impacto:

Escenario de riesgo	Acciones de mitigación
Falta de familiaridad con tecnologías: La implementación en AxLS requiere conocimientos en herramientas como Yosys, Python e Icarus Verilog, los cuales pueden tener una curva de aprendizaje.	Se planificará una fase inicial de aprendizaje y experimentación con las herramientas antes de iniciar la implementación formal. Se documentará el proceso para facilitar la resolución de dudas.
Cambios en los requisitos del proyecto: Pueden surgir nuevas necesidades o modificaciones en los objetivos conforme avance el desarrollo.	Mantener comunicación constante con los responsables del proyecto y definir hitos claros para evitar cambios drásticos en fases avanzadas. Priorizar modularidad en la implementación.
Problemas con las herramientas y ambiente de desarrollo: Pueden surgir conflictos de dependencias, fallos en versiones de software o incompatibilidades con el entorno de trabajo.	Utilizar entornos virtuales y gestionar dependencias con herramientas como <code>venv</code> o <code>conda</code> . Documentar configuraciones para reproducibilidad y buscar alternativas en caso de fallos críticos.

5. Propuesta metodológica

5.1. Tipificación del trabajo a realizar

El trabajo a realizar es una investigación teórico-práctica ya que se realizará una revisión y análisis de la literatura sobre técnicas de aprendizaje automático en ALS para escoger cuál será una técnica apropiada y comparar sus resultados, así

como también tendrá la parte práctica de implementar dicha técnica en la herramienta AxLS.

5.2. Descripción general del proceso por realizar

El proceso para alcanzar los objetivos del proyecto se estructura en tres etapas principales.

5.2.1 Estudio del estado del arte

Se realizará una investigación de las técnicas existentes en el ámbito de ALS con aprendizaje automático, analizando papers, artículos y trabajos previos para identificar la metodología más adecuada a implementar en AxLS.

5.2.2 Adecuación de la herramienta

Se modificarán y extenderán las funcionalidades de AxLS para permitir la integración de la técnica seleccionada. Esto puede incluir ajustes en la arquitectura del software, implementación de nuevos módulos y adaptación de los flujos de procesamiento.

5.2.3 Comparación de resultados

Se ejecutarán pruebas con la nueva técnica y se compararán sus resultados con los obtenidos mediante los métodos ya existentes en AxLS. Se analizarán métricas clave para evaluar mejoras en precisión, rendimiento o eficiencia.

5.3. Entregables y actividades

5.3.1 Entregables

Los entregables del proyecto y su relación con cada objetivo específico se muestran en la siguiente tabla.

Identificador	Entregable	Técnicas / Herramientas	Estrategias de verificación	Objetivo Específico
100	Documento de diseño que justifique la escogencia de la técnica de aprendizaje automático a implementar en AxLS, junto con un plan para su entrenamiento. Si hubiesen múltiples técnicas que se están considerando este documento puede mencionarlas y compararlas para llegar a una conclusión de cuál se utilizará.	Zotero para manejo de referencias, procesador de texto de preferencia.	Documento detalla una técnica en específico, da razones de por qué se escogió tomando en cuenta la factibilidad y relevancia en el estado del arte.	1
200	Documento de diseño que explique las adaptaciones necesarias que se harán a AxLS, el módulo que se integrará para aplicar técnicas de ML y cómo usarlo. Así como específicamente cómo lo usará la técnica de aprendizaje automático a implementar.	AxLS, Python, Yosys, Icarus Verilog, procesador de texto.	Documento detalla la técnica general que se usará para agregar el módulo así como los cambios necesarios a nivel de API.	2
201	Código adaptado de herramienta AxLS con técnica de AA integrada.	AxLS, Python, Yosys, Icarus Verilog, git, Github, Pytorch u otra biblioteca de AA	La herramienta AxLS sigue funcionando con todas sus técnicas pasadas y además se puede escoger utilizar la técnica AA y se ejecuta correctamente. La ejecución correcta se validará con un plan de pruebas.	2

Identificador	Entregable	Técnicas / Herramientas	Estrategias de verificación	Objetivo Específico
300	Informe final sobre el proyecto realizado y los resultados encontrados al comparar la técnica de AA con las ya existentes en la herramienta AxLS	LaTeX, IEEE, AxLS	El informe describe cómo se llevó a cabo el proyecto, la técnica de AA empleada y presenta los resultados de esta técnica comparados con los de las otras técnicas ya existentes en la máquina con gráficos.	3

5.3.2 Actividades

La siguiente tabla presenta las actividades a realizar y su relación con los entregables.

Identificador	Actividad	Horas estimadas	Entregables Relacionados
100	Experimentar y familiarizar con AxLS	25	100, 200
200	Recopilación de literatura de los últimos años sobre aplicación de técnicas de ML en ALS	10	100
300	Lectura de literatura sobre técnicas de ALS con enfoque en ML	30	100
400	Redactar documento de diseño que justifique la escogencia de la técnica de ML a utilizar	15	100
500	Redactar documento de diseño que explique cómo se adaptará AxLS para integrarse con la técnica de ML y cómo se llevará a cabo la implementación de esta.	40	200
700	Hacer adaptaciones a AxLS necesarias para permitir integrar el módulo diseñado	30	201
800	Agregar el módulo planteado para aplicar técnicas de ML	30	201
900	Crear programas necesarios para el entrenamiento del modelo a emplear.	30	201
1100	Llevar a cabo el entrenamiento y monitoreo del modelo	60	201
1200	Integración del modelo entrenado con el módulo creado de AxLS	15	201
1300	Comparación y análisis de resultados de AxLS con técnica de ML con otras técnicas.	20	300
1400	Redacción de informe final detallando las técnicas empleadas y comparándolas con otras técnicas de la herramienta AxLS.	20	300

5.4. Cronograma

A continuación se proporciona el cronograma de actividades que se van a realizar en cada semana y el estimado de horas a trabajar por semana.

Semana	Actividades a realizar	Horas estimadas de trabajo por semana
1	100	25
2	200, 300	20
3	300	20

Semana	Actividades a realizar	Horas estimadas de trabajo por semana
4	400, 500	25
5	500	30
6	700	20
7	700	20
8	800	30
9	900	30
10	1100	30
11	1100	30
12	1200	15
13	1300	20
14	1400	20

Nota: El cronograma deja al propio las últimas 2 semanas libres para considerar un colchón por cualquier atraso.

Apéndice

Ficha de contactos del proyecto

Datos del estudiante

Nombre	Ignacio Vargas Campos
Correo electrónico	ignacio.vargas@estudiantec.cr
Teléfono	+506 88116820

Datos del proyecto

Nombre	Aplicación de Técnicas de Aprendizaje Automático para Generación de Circuitos Aproximados
Breve descripción	Implementación de técnicas de aprendizaje automático en AxLS para mejorar la síntesis de circuitos aproximados y comparar su desempeño con métodos existentes.
Fecha de inicio	17 de febrero del 2025

Datos de la empresa u organización

Nombre	Instituto Tecnológico de Costa Rica
Nombre contacto	Jorge Castro Godínez
Correo electrónico	jocastro@itcr.ac.cr
Teléfono	+506 70460449