



Deusto

Facultad de Ingeniería
Ingeniaritza Fakultatea

Grado en Ingeniería Informática

Informatikako Ingeniaritzako gradua

Proyecto fin de grado

Gradu amaierako proiektua

Aplicación de técnicas de reinforcement learning al
problema "flexible job-shop scheduling problem"

Asier Villar Marzo

Director: Iker Pastor Lopez

Bilbao, junio de 2023



Deusto

Facultad de Ingeniería
Ingeniaritza Fakultatea

Grado en Ingeniería Informática

Informatikako Ingeniaritzako gradua

Proyecto fin de grado

Gradu amaierako proiektua

Aplicación de técnicas de reinforcement learning al
problema "flexible job-shop scheduling problem"

Asier Villar Marzo

Director: Iker Pastor Lopez

Bilbao, junio de 2023

RESUMEN

En un mundo empresarial cada vez más dinámico y competitivo, el uso de metodologías y estándares modernos se ha convertido en una necesidad para las organizaciones que buscan mantenerse relevantes y competitivas. En este contexto, la adopción de metodologías ágiles, MLOps (Machine Learning Operations) y otras prácticas modernas se presenta como un elemento fundamental para facilitar la cooperación entre equipos, mejorar la calidad del producto y reducir los tiempos de desarrollo.

Las empresas que logran adaptarse y adoptar estos enfoques modernos experimentan una serie de beneficios significativos. En primer lugar, les permite responder de manera más rápida a los cambios en el entorno empresarial, lo que otorga una ventaja competitiva crucial. Además, la incorporación de prácticas de MLOps permite a las organizaciones gestionar de manera eficiente los modelos de machine learning en producción, garantizando su rendimiento y fiabilidad a lo largo del tiempo. Esto es especialmente relevante en un contexto donde el uso de la inteligencia artificial y el machine learning está cada vez más extendido dentro de la industria.

La implementación de estos estándares no está exenta de desafíos y dificultades. Cambiar la forma en que una empresa opera y se organiza puede ser un proceso complejo que requiere un cambio cultural significativo, así como la adopción de nuevas herramientas y tecnologías. El objetivo de este proyecto es diseñar un stack tecnológico que permita a una empresa adoptar estas metodologías y estándares de manera efectiva, facilitando la transición y reduciendo la complejidad de la misma.

DESCRIPTORES

MLOps, Machine Learning, CI/CD, Automatización, Metodologías ágiles

Contents

1	Introducción	1
1.1	Motivación	1
1.2	Estructura del documento	2
2	Antecedentes y justificación	4
2.1	Estado del arte	4
2.2	Antecedentes	4
3	Objetivos y alcance	5
3.1	Objetivos generales	5
3.2	Alcance	5
3.2.1	Dentro del alcance	6
3.2.2	Fuera del alcance	6
4	Metodología del Proyecto	7
5	Conclusiones y trabajo a futuro	8
5.1	Conclusiones	8
5.2	Trabajo a futuro	8

List of Tables

List of Figures

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento constituye la memoria del Proyecto de Fin de Máster (PFM) del Máster en Computación y Sistemas Inteligentes de la Universidad de Deusto, realizado en colaboración con Tecnalia Research and Innovation, un centro de investigación aplicada. Su propósito es documentar exhaustivamente el trabajo llevado a cabo, desde la conceptualización del problema hasta la implementación de la solución.

En la actualidad, los sistemas basados en inteligencia artificial (IA) desempeñan un papel más significativo en diversos sectores como el de la medicina o la industria. Cada vez son más las empresas que buscan incorporar soluciones IA para mejorar su eficiencia y competitividad. Sin embargo, el desarrollo de modelos de IA es un proceso complejo que demanda considerable esfuerzo y experiencia técnica, así como un mantenimiento continuo y una monitorización constante para garantizar su óptimo rendimiento.

En el contexto de la investigación y desarrollo, es común centrar los esfuerzos en la búsqueda de nuevas soluciones que aplicar a aspectos concretos dentro de una temática. Sin embargo, esta se ve gravemente ralentizada debido a la predominancia de tareas repetitivas y procesos manuales que consumen una gran cantidad de tiempo, pero no aportan ningún tipo de valor. Además, la falta de un buen sistema de gestión del conocimiento, conlleva por parte de las empresas a la pérdida de información valiosa que ha sido descubierta y que podría ser reutilizada en futuros proyectos. Todo ello sumado a la ausencia de un marco de trabajo común, dificulta en gran medida la cooperación, ya que cada miembro del equipo requiere de un tiempo adicional para adaptarse a las especificaciones de cada proyecto.

Durante los últimos años, el concepto de MLOps (Machine Learning Operations) ha ido ganando popularidad hasta convertirse en un elemento disruptivo en cuanto a desarrollo de modelos de IA se refiere. Este nuevo paradigma, que toma como base las prácticas DevOps (Development Operations), busca combinar la IA y el desarrollo de software moderno con el objetivo de tener un mayor control sobre el ciclo de vida de los modelos, permitiendo una entrega continua. Estas prácticas han demostrado ser muy efectivas en la industria, pero en cambio no han sido totalmente acogidas en el ámbito de la investigación. Esto puede deberse a multitud de factores, ya sea por la resistencia al cambio, la falta de comprensión de sus beneficios o la falta de recursos dedicados a su implementación.

Uno de los principales desafíos en la implementación de estas prácticas radica en las diferencias de conocimientos entre los miembros del equipo, lo que genera fricción. Por tanto, resulta crucial considerar el punto de partida del equipo y diseñar un proceso intuitivo. Este proyecto propone un estándar que aborda esta problemática, recopilando las mejores prácticas, tecnologías y procedimientos desarrollados hasta la fecha, y las adapta a un marco de trabajo común que facilite la cooperación y la reutilización de conocimiento.

1.1. MOTIVACIÓN

Mi motivación para empezar este proyecto surge de la necesidad identificada por Tecnalia de explorar el ámbito del software, específicamente enfocándose en la creación de una herramienta que agilice el proceso de desarrollo de modelos de aprendizaje automático. Esta herramienta tiene como objetivo permitir que los investigadores dediquen más tiempo a la investigación en sí y menos a tareas repetitivas, al mismo tiempo que fomenta la cooperación y la reutilización del conocimiento de manera eficiente.

Desde el principio, encontré este tema sumamente interesante, especialmente considerando mi experiencia previa en el desarrollo de software. Percibí la oportunidad de aportar una solución innovadora que podría ser de gran ayuda para abordar los desafíos identificados por Tecnalia.

Además, el hecho de que la integración de buenas prácticas en el desarrollo de modelos de IA sea un tema en constante crecimiento, pero aún poco explorado en el ámbito de la investigación, me motiva aún más. Esta situación me brinda la oportunidad de realizar una contribución significativa que no solo beneficiará a Tecnalia, sino que también podría ayudar a otros equipos de investigación que se enfrenten a problemáticas similares.

1.2. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

En esta sección, se presenta la estructura del documento de forma clara y organizada. Se brinda una visión general de cómo se han organizado los diferentes capítulos y secciones para abordar de manera coherente y completa todos los aspectos relevantes del proyecto. Además, se proporciona una breve descripción de cada capítulo, destacando su contenido y su contribución al conjunto de la memoria. Esta sección permite al lector tener una guía clara sobre cómo está estructurado el documento y qué puede esperar encontrar en cada sección.

- **Introducción.** En este capítulo se presenta de forma breve el objetivo principal del proyecto, su impacto deseado y la motivación detrás de su realización. Además, se realiza una breve descripción del problema a resolver y se enumeran de manera ordenada los capítulos que componen el proyecto.
- **Antecedentes y justificación.** Se proporciona un estudio del estado del arte y las últimas tendencias, y se justifican las antecedentes existentes durante el desarrollo del proyecto.
- **Alcance y objetivos.** Se definen de manera detallada tanto el objetivo principal como los objetivos secundarios del proyecto. También se establece el alcance del proyecto, que se describe mediante una lista concisa de elementos que se encuentran dentro y fuera del proyecto.
- **Metodología.** Se describe la metodología de trabajo utilizada durante el desarrollo del proyecto, así como la metodología creada para la resolución del problema.
- **Memoria técnica.** Se explican en detalle todos los aspectos técnicos del mismo. Se incluyen la arquitectura del sistema integral, las herramientas utilizadas para el desarrollo, los requisitos del sistema y las incidencias encontradas entre otros.
- **Proceso de desarrollo.** En este capítulo se presenta el proceso de desarrollo utilizado en el proyecto. Se describe de manera detallada la metodología y las prácticas empleadas durante la resolución del problema. Proporciona una visión general del enfoque adoptado en el desarrollo del proyecto y cómo se aseguró la calidad y eficiencia en la implementación del sistema. También se discuten posibles limitaciones de los métodos y se proponen recomendaciones para investigaciones futuras.
- **Experimentación.** En este apartado se describe el proceso de experimentación llevado a cabo en el proyecto. Se detallan los experimentos realizados, las diferentes representaciones del problema, los datos recopilados y los resultados obtenidos. Además, se analizan e interpretan los resultados para sacar conclusiones relevantes y respaldar las decisiones tomadas en el proyecto.

- **Planificación y presupuesto.** Se detallan las fases y tareas del proyecto, se organizan cronológicamente indicando su duración. También se incluye un esquema de descomposición del trabajo y el plan de recursos humanos. Además, se incluyen los costes totales del proyecto, incluyendo los materiales y los recursos humanos.
- **Conclusiones y trabajo a futuro.** Se presentan las reflexiones realizadas tras la finalización del proyecto, así como las lecciones aprendidas y los conocimientos adquiridos. Además, se presentan ideas o propuestas que podrían ser utilizadas o implementadas en futuras investigaciones.
- **Abreviaturas, acrónimos y definiciones.** Se proporcionan explicaciones sobre el significado de ciertos términos, acrónimos o abreviaturas mencionadas en la memoria y que se consideran relevantes.
- **Bibliografía.** Se incluye una lista de referencias bibliográficas utilizadas durante el desarrollo de la memoria.
- **Anexos.** Se incluyen documentos independientes a la memoria del proyecto, pero considerados lo suficientemente relevantes como para ser adjuntados en documentos separados.
 - **Anexo I, Manual de usuario.** Se proporcionan las instrucciones necesarias para que cualquier usuario, independientemente de su nivel de conocimiento sobre el tema del proyecto, pueda poner en marcha el sistema inteligente y aprovechar todas sus funcionalidades.
 - **Anexo II, Dimensión ética del proyecto.** Se realiza un análisis ético del proyecto para garantizar que en su conjunto sea considerado éticamente aceptable y una contribución positiva para la sociedad.

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

2.1. ESTADO DEL ARTE

2.2. ANTECEDENTES

3. OBJETIVOS Y ALCANCE

En esta sección se introducen los objetivos en los que va consistir el proyecto, habiéndose realizado una división entre el principal y los secundarios. Además de ello, se presentan los elementos que forman el alcance, así como se comentan otros que no forman parte de este.

3.1. OBJETIVOS GENERALES

El objetivo principal del proyecto es diseñar e implementar un estándar tecnológico y operacional que cubra las necesidades más comunes dentro de un equipo de *data science*. Se busca agilizar los tiempos de desarrollo y estandarizar los procesos, con el fin de facilitar la colaboración entre investigadores y la reutilización del conocimiento. A continuación, se detallan los objetivos específicos que guiarán el desarrollo:

- **Agilizar el proceso inicial de proyectos:** Optimizar las primeras etapas de los proyectos, identificando y eliminando aquellos procesos repetitivos que no aportan valor y que puedan retrasar su puesta en marcha.
- **Facilitar la colaboración entre investigadores:** Implementar herramientas y métodos que fomenten una cooperación fluida y efectiva entre los miembros del equipo de investigación, con el fin de potenciar la sinergia y aprovechar al máximo el conocimiento colectivo.
- **Definir procesos mediante buenas prácticas:** Establecer un marco de trabajo basado en buenas prácticas de gestión de proyectos, con el objetivo de estandarizar los procesos y garantizar su eficiencia y calidad.
- **Automatizar el desarrollo de modelos robustos:** Investigar y aplicar técnicas que contribuyan al desarrollo automático de modelos de aprendizaje automático, con el fin de reducir el tiempo y el esfuerzo necesarios para obtener resultados de calidad.
- **Promover la reutilización del conocimiento:** Desarrollar mecanismos y herramientas que faciliten la captura, organización y difusión del conocimiento generado durante el desarrollo de los proyectos, con el propósito de fomentar su reutilización en futuras investigaciones y actividades relacionadas.

El cumplimiento de estos objetivos se espera que no solo mejore la eficiencia y la calidad de los proyectos, sino que también contribuya a la creación de un entorno de trabajo más colaborativo y enriquecedor para los miembros del equipo de investigación.

3.2. ALCANCE

En esta sección se definen los límites del proyecto, estableciendo lo que está incluido y excluido dentro mismo. Se describirá de manera detallada las actividades que forman parte del desarrollo final, así como aquellos elementos que no están incluidos en el alcance del proyecto. Aunque el enfoque de este proyecto podría aplicarse a una amplia variedad de problemas en el ámbito del aprendizaje automático, en el contexto de este TFM nos centraremos en tres de los casos más comunes dentro del marco de las series temporales: Forecasting, Clasificación y Detección de Anomalías. A continuación, se detallan las actividades que forman parte del alcance del proyecto.

3.2.1 Dentro del alcance

- **Plantillas de proyectos base:** Desarrollar plantillas para los tres problemas de series temporales comentados anteriormente. Estas plantillas servirán como punto de partida para proyectos específicos dentro de cada uno de estos dominios y definirán desde el principio una estructura y un conjunto de herramientas comunes. Además, se incluirán ejemplos de código y documentación que faciliten su uso y comprensión.
- **Componentes esenciales:** Identificar y almacenar los componentes esenciales de cada proyecto, incluyendo modelos, algoritmos, métricas de evaluación y preprocesamiento de datos. Estos componentes se almacenarán y documentarán de forma que puedan ser reutilizados en futuros proyectos, facilitando la transferencia de conocimiento.
- **Integración de sistemas externos:** Se incluirá la configuración de sistemas externos, como plataformas MLOPs o herramientas de visualización, con las plantillas de proyectos base. Esto permitirá una integración más fluida y rápida de estos sistemas con los proyectos, facilitando el flujo de datos y la visualización de resultados.
- **Proceso de AutoML:** Diseñará y ejecutar procesos de AutoML (Machine Learning Automatizado) que demostrará cómo se pueden combinar los conocimientos adquiridos de todos los proyectos para desarrollar un sistema de aprendizaje automático automatizado. Este proceso utilizará las plantillas y componentes esenciales almacenados para generar modelos de forma automática.

3.2.2 Fuera del alcance

- **Desarrollo de modelos específicos:** Aunque se incluirán ejemplos de modelos y algoritmos, el desarrollo de modelos específicos para problemas concretos no forma parte del alcance de este proyecto. Se espera que los modelos desarrollados sean generales y puedan ser adaptados a problemas específicos por los usuarios.
- **Despliegue de modelos:** EL despliegue de modelos en producción no forma parte del alcance de este proyecto. Se espera que los modelos desarrollados puedan ser desplegados en sistemas de producción, pero no se incluirá en este proyecto. El enfoque se centrará exclusivamente en el desarrollo de los mismos.

4. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

En esta sección, se describirá la metodología para abordar tanto el desarrollo del software como la propia metodología de investigación. La metodología de desarrollo de software se basa en el uso de metodologías ágiles [1], concretamente en la metodología Scrum [2]. Por otro lado, la metodología de investigación es una metodología propia diseñada para abordar problemas dentro del marco de trabajo de los problemas combinatorios NP-Hard diseñada por el autor de este trabajo. Esta metodología se basa en el uso de técnicas de IL.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

5.1. CONCLUSIONES

5.2. TRABAJO A FUTURO

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “WHAT IS AGILE”. en. In: *The Power of the Agile Business Analyst, second edition*. IT Governance Publishing, 2018, pp. 22–25. ISBN: 9781849289955.
- [2] Atlassian. *What is Scrum?* 2018.