

Introducción a la redes neuronales y el aprendizaje profundo

Libro de ejercicios

Juan Irving Vasquez Gomez



JIVG.ORG

Copyright © 2023 Juan Irving Vasquez Gomez

PUBLISHED BY PUBLISHER

JIVG.ORG

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

First printing, March 2013

Contents

1	Introducción	9
1.1	Bienvenida	9
1.2	Acerca del autor	10
1.3	Agradecimientos	10

I	Parte Uno: Fundamentos	
2	Preeliminares	13
2.1	Introducción	13
2.2	Álgebra lineal	13
2.2.1	Vectores y espacios vectoriales	14
2.2.2	Matrices	15
2.2.3	Ejercicios	16
2.3	Cálculo	17
2.3.1	Cálculo diferencial	17
2.3.2	Derivadas parciales	18
2.3.3	Vector gradiente	18
2.3.4	Ejercicios	18
2.3.5	Lecturas recomendadas	18
2.4	Probabilidad y estadística	18
2.4.1	Probabilidad	18
2.4.2	Probabilidad condicional	19
2.4.3	Regla de Bayes	19
2.4.4	Variable aleatoria	19
2.4.5	Distribución de probabilidad	19

2.4.6	Probabilidad marginal	20
2.4.7	Ejercicios	20
2.5	Programación en Python	20
2.5.1	Numpy	21
2.5.2	Ejercicios	22
2.6	Optimización	22
2.6.1	Conceptos de optimización	22
2.7	Descenso por gradiente	23
2.7.1	Implementación	24
2.7.2	Ejercicios	24
3	Fundamentos de redes neuronales	27
3.1	Introducción	27
3.2	Modelo McCulloch y Pitts	28
3.2.1	Reglas de operación	28
3.2.2	Parámetros	29
3.2.3	Implementación	30
3.2.4	Ejercicios	30
3.2.5	Limitaciones del modelo	30
3.3	Perceptrón	31
3.3.1	Modelo del perceptrón	32
3.3.2	Selección de parámetros	34
3.3.3	Implementación	34
3.3.4	Ejercicios	35
3.3.5	Limitaciones del perceptrón	36
3.4	Redes neuronales simples	36
3.4.1	Funciones de activación	36
3.4.2	Ejemplos	40
3.4.3	Implementación	41
3.4.4	Ejercicios	41
3.5	Redes neuronales de varias salidas	43
3.5.1	Parámetros	44
3.5.2	Ejemplos	44
3.5.3	Ejercicios	45
3.6	Redes neuronales multicapa	46
3.6.1	Capas ocultas	46
3.6.2	Implementación	49
3.6.3	La base de muchos avances recientes	49
3.6.4	Ejercicios	50
3.7	Acordeón de redes neuronales	53
4	Aprendizaje	55
4.1	Introducción	55
4.2	Descenso por gradiente	55
4.2.1	Métricas de error	55
4.2.2	Proceso general de descenso por gradiente	56
4.2.3	Uso en redes neuronales	57

4.2.4	Actualización para múltiples ejemplos	59
4.2.5	Implementación eficiente	60
4.2.6	Ejercicios	61
4.3	Retropropagación	61
4.3.1	Retropropagación eficiente	64
4.3.2	Algoritmo de retropropagación	66
4.3.3	Implementación de la retropropagación	67
4.4	Inicialización de los pesos	67
4.4.1	Problema del mal condicionamiento	67
4.4.2	Inicializaciones prácticas	67
4.5	Sobre-ajuste	69
4.6	Regularización	70
4.6.1	Paro anticipado	70
4.6.2	Regularización L1 y L2	70
4.6.3	Deserción	71
4.7	Optimización	71
4.7.1	Descenso por gradiente estocástico (SGD)	71
4.7.2	Momento (<i>momentum</i>)	71
4.7.3	Caída de la tasa de aprendizaje <i>Learning rate decay</i>	72
4.8	Normalización	73
4.9	Ejercicios	73
4.10	Acordeón de aprendizaje	75

II

Arquitecturas de redes neuronales

5	Redes neuronales convolucionales	79
5.1	Introducción	79
5.1.1	Operación de convolución	80
5.2	Convolución bidimensional	80
5.2.1	Tamaño de la salida	81
5.2.2	Parámetros	83
5.2.3	Gradiente	83
5.2.4	Implementación	83
5.2.5	Relleno (<i>Padding</i>)	84
5.2.6	Salto <i>Stride</i>	85
5.3	Submuestreo <i>Pooling</i>	86
5.4	Convolución multicanal	87
5.4.1	Implementación	88
5.5	Apilado	89
5.6	Convoluciones especiales	89
5.7	Aplanado y regresión	89
5.8	Ejercicios	89
5.9	Acordeon	92

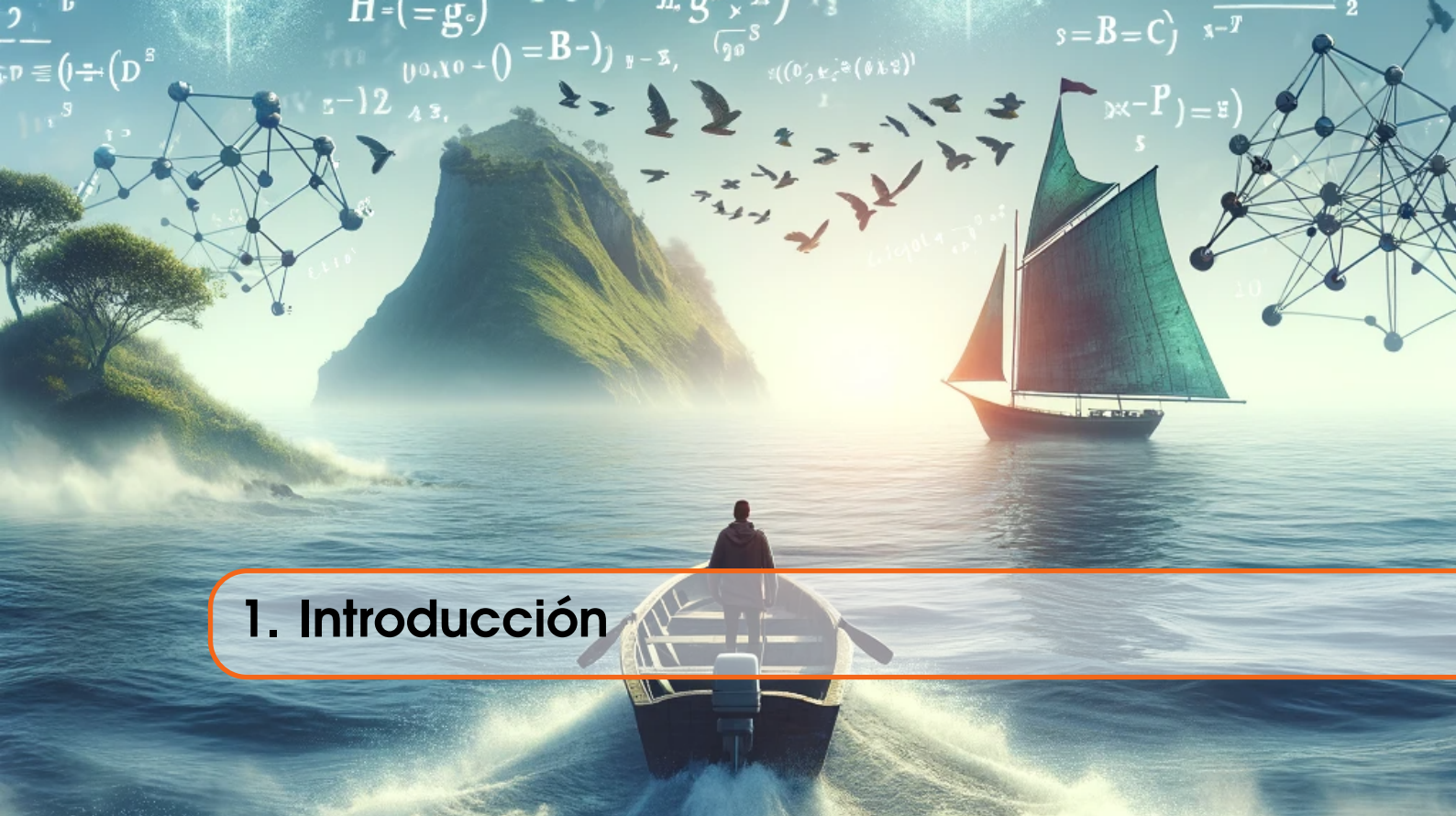
6	Autocodificadores	93
6.1	Introducción	93
6.2	Codificador	93
6.3	Decodificador	93
6.3.1	Convolución transpuesta	93
7	Transformers	95
7.1	Introducción	95
8	In-text Elements	97
8.1	Theorems	97
8.1.1	Several equations	97
8.1.2	Single Line	97
8.2	Definitions	97
8.3	Notations	98
8.4	Remarks	98
8.5	Corollaries	98
8.6	Propositions	98
8.6.1	Several equations	98
8.6.2	Single Line	98
8.7	Problems	98
8.8	Vocabulary	98

III

Aplicación práctica

9	Aplicaciones prácticas	101
9.1	Pre-procesamiento de los datos	101
9.1.1	Adaptación de la base de datos	101
9.2	Regresión	101
9.3	Clasificación	101
9.3.1	Codificación por unos	101
9.3.2	Softmax	102
9.3.3	Entropía cruzada	102
9.4	Entrenamiento	102
9.5	Validación	102
9.6	Evaluación del rendimiento	102
9.6.1	Matriz de confusión	102
9.7	Sobre-ajuste	103
10	Diseño de experimentos	105
10.1	Introducción	105
10.2	Nota sobre sustentabilidad	106
10.3	Una variable a la vez	106

Index	111
-------------	-----



1. Introducción

1.1 Bienvenida

Bienvenidos a la apasionante travesía por el mundo de las redes neuronales y el aprendizaje profundo. Este libro está diseñado como una guía completa para estudiantes de licenciatura interesados en adentrarse en el campo de las redes neuronales, una de las áreas más dinámicas y revolucionarias de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático.

Al adentrarnos en este viaje, exploraremos no solo la teoría que subyace a estas herramientas, sino también su aplicación práctica. A través de ejercicios matemáticos cuidadosamente seleccionados, este libro tiene como objetivo proporcionar una comprensión sólida y práctica del funcionamiento fundamental de las redes neuronales. Estos ejercicios no solo reforzarán los conceptos teóricos, sino que también desarrollarán habilidades prácticas esenciales para aplicar estos conceptos en problemas del mundo real. Encontraremos que los ejercicios matemáticos irán acompañados de su respectiva implementación en el lenguaje de programación Python.

Este libro abarca una variedad de temas clave, comenzando con el perceptrón, la unidad básica y fundamental de las redes neuronales. A través de este simple modelo matemático, sentiremos las bases para comprender cómo las neuronas artificiales pueden imitar, hasta cierto punto, las funciones de las neuronas biológicas en el cerebro humano.

A continuación, nos adentraremos en el mundo de las redes neuronales convolucionales (CNNs), esenciales en el procesamiento y análisis de imágenes. Exploraremos cómo estas redes pueden identificar patrones, objetos y características en imágenes, jugando un papel crucial en aplicaciones que van desde el reconocimiento facial hasta la clasificación de imágenes médicas. Dedicaremos especial atención a la interacción de los Kernels con las entradas para formar los mapas de características.

Los autocodificadores, otra pieza fundamental en nuestro viaje, nos mostrarán cómo las redes neuronales pueden aprender a comprimir y descomprimir datos, una habilidad clave para la reducción de la dimensionalidad y la generación de representaciones más eficientes de los datos. Esto nos ayudará a comprender cómo es que podemos generar nuevos ejemplos a partir de estas representaciones reducidas.

Finalmente, abordaremos los transformers, una innovación relativamente reciente que ha revolu-

cionado el procesamiento del lenguaje natural y la visión computacional generativa. Aprenderemos cómo estas redes pueden manejar secuencias de datos, como textos o series temporales, de una manera más efectiva que las técnicas anteriores.

Este libro está diseñado no solo para proporcionar conocimientos, sino también para inspirar curiosidad y fomentar la experimentación. Los ejercicios prácticos, combinados con explicaciones detalladas, están pensados para estimular el pensamiento crítico y la creatividad, elementos esenciales para cualquier aspirante a científico de datos o ingeniero de inteligencia artificial.

Así que, citando a Constantino Cavafis, "Ten siempre en tu mente a Ítaca. La llegada allí es tu destino. Pero no apresures tu viaje en absoluto" [1]. Con mente abierta y entusiasmo, nuestra meta será el entendimiento de las redes neuronales, pero iremos paso a paso armando un rompecabezas que al principio parece abrumador. Finalmente, los invito a sumergirse en el mundo de las redes neuronales, una herramienta poderosa y versátil que continúa redefiniendo lo que es posible en la era de la inteligencia artificial.

1.2 Acerca del autor

Juan Irving Vasquez recibió los grados de maestría en ciencias y doctorado en ciencias por el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE) en 2009 y 2014 respectivamente. El grado de Ingeniero en Sistemas Computacionales lo adquirió por el Instituto Tecnológico de Tehuacán en 2006. De 2016 a 2021 fue investigador del programa cátedras CONACYT. Desde 2021 es profesor de tiempo completo en el Instituto Politécnico Nacional. Su producción científica incluye diversas publicaciones en revistas arbitradas y congresos internacionales, así como desarrollos tecnológicos aplicados a la industria. Sus intereses actuales de investigación incluyen visión computacional basada en aprendizaje, robótica móvil, planificación de movimientos así como sus aplicaciones a vehículos autónomos. Desde 2017 ha sido reconocido como investigador nacional por parte del CONACYT, actualmente en nivel 1.

1.3 Agradecimientos

Agradecimientos a Saulo Gante y Sergio Garrido por participar en la resolución de ejercicios. Fotografías: Clint Adair de Unsplash. Dall-e 3.