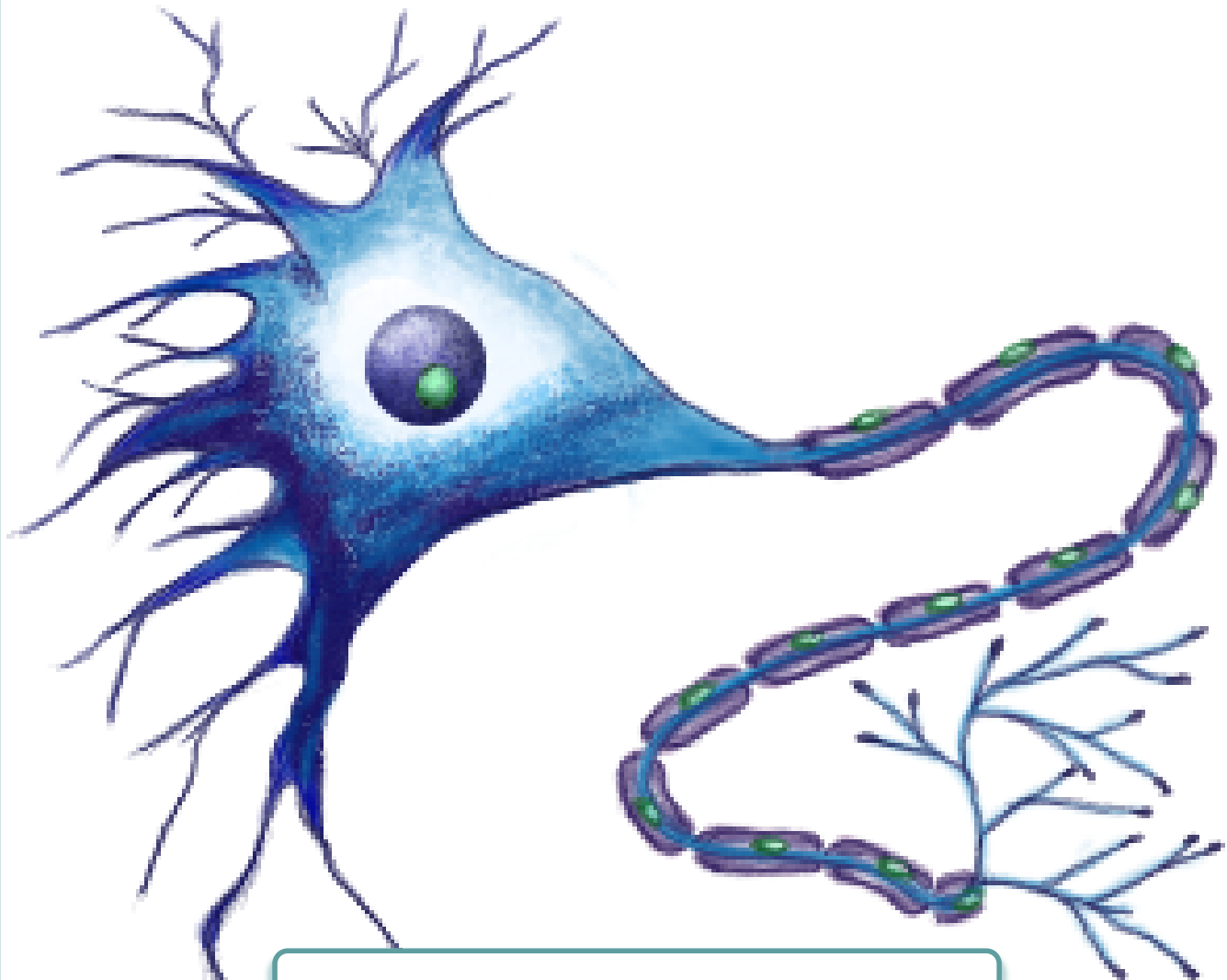


Redes Neuronales

Notas de clase

Karla Fernanda Jiménez Gutiérrez
Verónica Esther Arriola Ríos



FACULTAD DE CIENCIAS,
UNAM

Índice general

Índice general	I
I Antecedentes	2
1 Neurona biológica	3
1.1 Sistema nervioso	3
1.1.1 Neurociencias computacionales	3
1.2 Sistema nervioso	5
1.3 Neurona biológica	5
2 Modelo de Hodgkin-Huxley	6
2.1 Membrana y canal	6
2.2 Dinámica del voltaje durante un disparo	6
2.3 Simulación usando el método de Euler	6
3 Aprendizaje de máquina	7
3.1 Espacio de hipótesis	7
3.2 Conjuntos de entrenaiento, validación y prueba	7
3.3 Perceptrón	7
3.4 Compuertas lógicas con neuronas	7
3.5 Funciones de activación	7
3.6 Funciones de error: diferencias al cuadrado y entropía cruzada	7
3.7 Medidas de rendimiento:	7
3.7.1 Matriz de confusión	7
3.7.2 Precisión	7
3.7.3 Recall	7
3.7.4 f score	7
II Redes dirigidas acíclicas	8
4 Perceptrón multicapa	9
4.1 XOR	9
4.2 Propagación hacia adelante manual	9

4.3	Propagación hacia adelante vectorizada (con matrices)	9
4.4	Interpretación matemática del mapeo no lineal	9
4.5	Propagación hacia adelante para el perceptrón multicapa	9
5	Entrenamiento por retropropagación	10
5.1	Función de error	10
5.2	Gradiente de la función de error	10
5.3	Descenso por el gradiente	10
5.4	Otros algoritmos de optimización	10
6	Optimización del entrenamiento	11
6.1	Problemas en redes profundas	11
6.2	Gradiente desvaneciente (o que explota)	11
6.3	Entrenamiento en línea vs en lotes	11
6.4	Normalización y normalización por lotes	11
6.5	Regularización	11
7	Caso de análisis e interpretación	12
7.1	Red Hinton árbol familiar con numpy (entrenamiento)	12
7.2	Red Hinton árbol familiar con pytorch	12
8	Entrenamiento con genéticos	13
8.1	Algoritmos genéticos	13
8.2	Neuroevolución	13
8.2.1	Antecedentes: Aprendizaje por refuerzo en videojuegos	13
8.2.2	Arquitectura para estimar la función de recompensa	13
8.2.3	Entrenamiento	13
9	Mapeos autoorganizados	14
9.1	Aprendizaje no supervisado	14
9.2	Mapeos autoo-organizados	14
9.3	Kohonen	14
10	Redes Neuronales Convolucionales	15
10.1	Convolución	15
10.2	Redes Convolucionales	15
10.3	Softmax	15
10.4	MNIST	15
III	Redes con ciclos	16
11	Redes Neuronales Recurrentes	17
11.1	Derivadas ordenadas	17
11.2	Retropropagación en el tiempo	17

11.3	Sistemas dinámicos y despliegue del grafo	17
11.4	Arquitectura recurrente universal	17
11.5	Función de error	17
11.6	Forzamiento del profesor	17
12	Atención	18
13	LSTM	19
14	GRU	20
15	Casos de análisis: etiquetado de palabras y conjugación de verbos	21
IV	Redes no dirigidas	22
16	Redes de hopfield	23
16.1	Entrenamiento	23
17	Máquinas de Boltzman	24
17.1	Entrenamiento	24
17.1.1	Partículas y partículas de fantasía	24
17.1.2	Máquinas de Boltzman Restringidas	24
18	Redes adversarias	25
18.1	GANs	25
A	Ecuaciones diferenciales	26

Etc

A lo largo del texto se utilizará la siguiente notación para diversos elementos:

Conjuntos	C
Vectores	x
Matrices	M
Unidades	cm

Parte I

Antecedentes

1 | Neurona biológica

Sistema nervioso

Neurociencias computacionales

Las redes neuronales surgieron completamente inspiradas en los sistemas biológicos. Lo que estamos haciendo los computólogos es tomar una idea a la naturaleza, una idea que ha probado ser sumamente efectiva para procesar información y que logra resolver problemas que nosotros aún no sabemos hacer con modelos diseñados explícitamente. Los más notorios:

- Problemas de visión por computadora
- Procesamiento del lenguaje natural

A lo largo del texto tendremos una somera idea de que hace el sistema nervioso de un ser humano, tomaremos también ejemplos de animales como, el calamar gigante, cangrejos. Ejemplos que han permitido estudiar biológicamente, cómo funcionan las neuronas y cómo funciona su sistema nervioso.

Entonces por un momento veamos el sistema como un todo, lo que realmente está haciendo en el cómputo no es de una sola neurona sino de la colección de todas ellas, lo que sucede con los sistemas biológicos es que son muchísimo más complicados que lo que vamos a ver nosotros como modelos computacionales sin embargo muchísimas empresas están utilizando estas técnicas. El sistema nervioso como un todo es bastante más complejo pero conforme han ido evolucionando las redes neuronales computacionales ya con sus arquitecturas y organizaciones, se están volviendo también más complejas. Varias de las estructuras más exitosas tienen un análogo muy fuerte con un sistema nervioso natural.

Veamos un campo conocido como neurociencias computacionales el cual se dedica explícitamente al estudio/modelo de los sistemas biológicos pero ya conjuntando varios campos. Se van a interesar notablemente en: descripciones y modelos funcionales biológicamente realistas de neuronas y sistemas neuronales. Lo que veremos en redes neuronales

1. Neurona biológica

computacionales no necesariamente tienen que ser realistas, lo que nos interesa es que resuelvan los problemas, si se desvían un poco de cómo funcionan los sistemas naturales en un principio no es problema.

Ahora, ¿Qué les interesa modelar? Se fijan en la fisiología y en la dinámica de estos sistemas, combinan varias ciencias tales como:

- **Biofísica**
- **Neurociencias tradicionales** con modelos matemáticos.
- **Ciencias de la computación** tanto en la parte del modelado como en la parte de la implementación de estos modelos y la generación de simulaciones computacionales.
- **Ingeniería eléctrica** se está diseñando hardware especializado para ejecutar modelos de manera eficiente, algunos de los modelos matemáticos están basados en circuitos eléctricos.
- **Ciencias cognitivas** tratan de ver que se está codificando dentro de un sistema nervioso y cómo podemos interpretar esa información que está ahí guardada.

De entre todo esto vamos a ver cómo está influyendo todo esto, en lo que va a hacer las ciencias de la computación pero con su propio modelo de redes neuronales (Existe una conexión muy fuerte entre estos dos campos).

Las neurociencias computacionales como se mencionó anteriormente estudia modelos del sistema nervioso y clasifica estos modelos en tres tipos:

- **Modelos descriptivos**, nos limitamos a decir que está haciendo un sistema y en particular aquí son muy famosos los experimentos con ratones se está tratando de ver qué puede hacer, que no puede hacer, que puede aprender, que no pero no se puede explicar “como”, simplemente se dice que es lo que está sucediendo.
- **Modelos mexicanistas**, donde ahora sí nos interesa saber cómo es que están haciendo las cosas aquí vamos a ver los modelos matemáticos que precisamente nos están tratando de describir cómo puede ser que se están conectando estas neuronas, cómo pueden estar funcionando las redes de neuronas, cómo podría estarse almacenando la información y transfiriendo de un lado a otro.
- **Modelos interpretativos**, nos dan una idea del por qué o para qué lo hacen. Se tiene que buscar intencionalidad, razonamiento de más alto nivel.

Cuando trabajemos con en redes de computadoras vamos a notar que sí necesitamos trabajar un poco con los niveles 2 y 3. Para romper ese mito que nuestras redes neuronales, sabemos que aprendieron y no estamos ni siquiera seguros de que aprendieron o porque

lo aprendieron así, vamos a tener que utilizar herramientas matemáticas para tratar de descubrir qué es lo que realmente está haciendo la red entrenada.

Ahora los **objetivos del modelado**:

(Empezando desde lo más granular que es cada una de las neuronas)

- Las **corrientes**, que están pasando a través de las membranas de las neuronas, la influencia que tiene en el paso de la información.
- Las **proteínas buenas** van a jugar un papel importante en la conducción de elementos iónicos no transmisores (acoplamientos químicos).

(El siguiente nivel ya no solamente de una neurona)

- Las **oscilaciones de las redes** completas, que pasa con estas señales, pulsos eléctricos, que se están transfiriendo de unas regiones a otras y que empiezan a producir oscilaciones con ciertos períodos, regiones de actividad, que se apagan.
- **Arquitectura topográfica y de columnas** cómo están organizadas estas neuronas, quienes están conectadas con quiénes, cómo reaccionan dentro de ciertas regiones identificadas, cómo interactúan con otras regiones. Se puede identificar una arquitectura desde el punto de vista fisiológico como de vista funcional. Un caso particular de estas estructuras es la formación de columnas de neuronas que están altamente conectadas y trabajan como una unidad.
- El **aprendizaje** es decir estamos procesando información, estamos guardando información, recuperando y eso permite que los seres que cuentan con un sistema nervioso tengan características especiales cuyo comportamiento se puede modificar conforme aprenden.
- La **memoria** que significa que necesitamos almacenar información, recuperarla procesarla.

Sistema nervioso

Neurona biológica

2 | Modelo de Hodgkin-Huxley

Membrana y canal

Dinámica del voltaje durante un disparo

Simulación usando el método de Euler

3 | Aprendizaje de máquina

Espacio de hipótesis

Conjuntos de entrenamiento, validación y prueba

Perceptrón

Compuertas lógicas con neuronas

Funciones de activación

Funciones de error: diferencias al cuadrado y entropía cruzada

Medidas de rendimiento:

Matriz de confusión

Precisión

Recall

f score

Parte II

Redes dirigidas acíclicas

4 | Perceptrón multicapa

XOR

Propagación hacia adelante manual

Propagación hacia adelante vectorizada (con matrices)

Interpretación matemática del mapeo no lineal

Propagación hacia adelante para el perceptrón multicapa

5 | Entrenamiento por retropropagación

Función de error

Gradiente de la función de error

Descenso por el gradiente

Otros algoritmos de optimización

6 | Optimización del entrenamiento

Problemas en redes profundas

Gradiente desvaneciente (o que explota)

Entrenamiento en línea vs en lotes

Normalización y normalización por lotes

Regularización

7 | Caso de análisis e interpretación

Red Hinton árbol familiar con numpy (entrenamiento)

Red Hinton árbol familiar con pytorch

8 | Entrenamiento con genéticos

Algoritmos genéticos

Neuroevolución

Antecedentes: Aprendizaje por refuerzo en videojuegos

Arquitectura para estimar la función de recompensa

Entrenamiento

9 | Mapeos autoorganizados

Aprendizaje no supervisado

Mapeos autoo-organizados

Kohonen

10 | Redes Neuronales Convolucionales

Convolución

Redes Convolucionales

Softmax

MNIST

Parte III

Redes con ciclos

11 | Redes Neuronales Recurrentes

Derivadas ordenadas

Retropropagación en el tiempo

Sistemas dinámicos y despliegue del grafo

Arquitectura recurrente universal

Función de error

Forzamiento del profesor

12 | Atención

13 | LSTM

14 | GRU

15 | Casos de análisis: etiquetado de palabras y conjugación de verbos

Parte IV

Redes no dirigidas

16 | Redes de hopfield

Entrenamiento

17 | Máquinas de Boltzman

Entrenamiento

Partículas y partículas de fantasía

Máquinas de Boltzman Restringidas

18 | Redes adversarias

GANs

A | Ecuaciones diferenciales