

Trabajo Práctico 4 - 16.82 Neurociencia Computacional

Julián Sasso (Leg. 61535) - Agustín Mattiussi (Leg. 61361)

Ejercicio 1

De los modelos de neuronas y sinapsis que vimos en las distintas clases (Poisson, Hodgkin & Huxley, Leaky Integrate and Fire, Tsodyks & Markram, McCulloch y Pitts), diga y justifique brevemente cuál usaría en las siguientes investigaciones / proyectos:

- a. Quiere estudiar la forma del potencial de acción dada la aplicación de algún fármaco (ej. un bloqueador de canales de potasio).**

Para este caso la mejor opción sería utilizar el modelo de Hodgkin & Huxley, este modelo biofísico describe con precisión cómo los potenciales de acción son generados y propagados en neuronas mediante la dinámica de canales iónicos específicos. Por lo tanto, al representar explícitamente las corrientes iónicas, (incluyendo la del potasio), nos permite observar cómo los cambios en la conductancia de estos canales afectan el potencial de acción.

- b. Quiere simular algún fenómeno poblacional con >10 millones de neuronas.**

Para la simulación de un fenómeno poblacional con más de 10 millones de neuronas, se puede elegir tanto el modelo Poisson como el modelo Leaky Integrate and Fire (LIF). La elección dependerá de la complejidad de la simulación. Si lo que nuestro interés principal está en los patrones globales de actividad neuronal, sin necesidad de capturar la dinámica temporal detallada de cada neurona, nos alcanza con un modelo de Poisson debido a su simplicidad y eficiencia computacional. Sin embargo, si se requiere un mayor realismo temporal y se dispone de los recursos necesarios, el modelo LIF sería más apropiado.

- c. Quiere estudiar sincronización de spikes en redes de pocos cientos de neuronas.**

El balance entre la capacidad de capturar dinámicas temporales y simplicidad, sumado a que tratamos con una red de tamaño mediano, hacen que el modelo Leaky Integrate and Fire sea ideal para este problema. Este modelo describe cómo las neuronas integran entradas sinápticas y disparan cuando se alcanza un umbral, con una constante de fuga que simula la pérdida de potencial a lo largo del tiempo.

- d. Quiere armar datos sintéticos para testear un algoritmo de decodificación con neuronas ruidosas (con respuesta estocástica a un estímulo).**

Para generar datos sintéticos para testear un algoritmo de decodificación con neuronas ruidosas, una de las mejores opciones es el modelo de Poisson. Este modelo, debido a su naturaleza estocástica, genera spikes de manera probabilística, reflejando la variabilidad intrínseca en la respuesta neuronal a estímulos, lo que es crucial para modelar neuronas ruidosas.

- e. Quiere analizar depresión a corto plazo en neuronas retinales como consecuencia de un estímulo estático en el tiempo.**

Por último, para este caso utilizaremos el modelo de Tsodyks & Markram que debido a su enfoque en la dinámica sináptica, incluyendo la facilitación y depresión sináptica, es ideal para nuestro problema.

Ejercicio 2

Elija 2 de los modelos vistos en clase y compárelos con otro no visto en clase. Esta [lista](#) puede ser útil.

A continuación, realizaremos una comparación entre el Modelo McCulloch–Pitts y el Modelo Leaky Integrate-and-Fire con el Modelo Exponencial Integrate-and-Fire

I. Del nuevo modelo:

A. Breve descripción.

El modelo Exponencial Integrate-and-Fire (EIF) es una extensión del modelo Leaky Integrate-and-Fire (LIF) que introduce una función exponencial para describir cómo el potencial de membrana se aproxima al umbral de disparo de manera más fisiológicamente realista. En el EIF, el potencial de membrana V sigue la ecuación diferencial:

$$\frac{dV}{dt} - \frac{R}{\tau_m} I(t) = \frac{1}{\tau_m} [E_m - V + \Delta_T \exp\left(\frac{V - V_T}{\Delta_T}\right)]$$

Donde V es el potencial de membrana, V_T es el umbral intrínseco del potencial de membrana, τ_m es la constante de tiempo de la membrana, E_m es el potencial de reposo y Δ_T es la rapidez con la que se inicia el potencial de acción, usualmente alrededor de 1 mV para las neuronas piramidales corticales.

B. Un ejemplo de un fenómeno para el cual usar este modelo es particularmente útil/apropiado.

El modelo EIF es particularmente útil para modelar neuronas que presentan un comportamiento de disparo muy rápido y una transición abrupta al estado de disparo, lo cual es difícil de capturar con el modelo LIF. Un ejemplo específico es el estudio de la dinámica de disparo en neuronas piramidales del cortex, donde la precisión temporal del disparo es crucial.

II. Para cada uno de los tres modelos

A. ¿Es descriptivo, mecanicista o interpretativo?

- El modelo McCulloch–Pitts es descriptivo ya que detalla cómo una neurona puede actuar como un procesador lógico básico, sumando entradas ponderadas y disparando si el resultado supera un umbral.
- El modelo LIF es descriptivo ya que especifica cómo una neurona integra sus entradas y dispara una vez que se alcanza un umbral, con una fuga que simula la pérdida de potencial.
- El modelo EIF es descriptivo ya que describe cómo la neurona integra sus entradas con un crecimiento exponencial del potencial de membrana al acercarse al umbral, mejorando el realismo fisiológico.

B. ¿Qué nivel de análisis de Marr trata de satisfacer? (computacional, algorítmico e implementación).

- El modelo McCulloch–Pitts trata de satisfacer el nivel computacional de Marr, enfocándose en la función que la neurona cumple como unidad de procesamiento binario.
- El modelo LIF trata de satisfacer el nivel algorítmico de Marr, describiendo el proceso mediante el cual las entradas se integran y producen una salida (disparo).
- El modelo EIF trata de satisfacer tanto el nivel algorítmico como el computacional, proporcionando una descripción del proceso de integración y disparo con mayor precisión fisiológica.

C. ¿Qué ventajas o desventajas presentan estos modelos?

- **Modelo McCulloch–Pitts**
 - **Ventajas:** Simplicidad y facilidad de implementación, además es fundamental para las redes neuronales artificiales.
 - **Desventajas:** No captura la dinámica temporal ni la complejidad biológica real de las neuronas.
- **Modelo LIF**
 - **Ventajas:** Relativamente simple y computacionalmente eficiente. Captura la integración temporal y la pérdida de potencial.
 - **Desventajas:** No captura el aumento rápido del potencial de membrana cerca del umbral de disparo y otros comportamientos complejos de las neuronas.
- **Modelo EIF**
 - **Ventajas:** Captura de manera más realista la dinámica de disparo neuronal, especialmente la rápida transición al estado de disparo.
 - **Desventajas:** Más complejo y computacionalmente intensivo que el modelo LIF. Requiere más parámetros y ajustes.

D. ¿Cuáles son los objetivos más importantes de Kording et al 2020 que trata de satisfacer? (no es necesario que puntúe todos)

- Modelo McCulloch-Pitts

Objetivo	Valor	Justificación
Realismo microscópico	2	No captura detalles biológicos finos, solo comportamiento binario.
Realismo macroscópico	2	Representa la lógica de redes neuronales, pero no sus dinámicas temporales.
Utilidad	4	Útil para entender conceptos básicos de redes neuronales y computación lógica.
Interpretabilidad	5	Muy interpretable debido a su simplicidad y claridad en la lógica subyacente.

- Modelo LIF

Objetivo	Valor	Justificación
Realismo microscópico	3	Captura la dinámica básica de la integración y fuga del potencial de membrana.
Realismo macroscópico	3	Puede modelar la dinámica temporal de poblaciones neuronales medianas.
Utilidad	4	Equilibrio entre simplicidad y capacidad de modelado, útil para diversas aplicaciones.
Interpretabilidad	4	Equilibrio entre simplicidad y capacidad de modelado, útil para diversas aplicaciones.

- Modelo EIF

Objetivo	Valor	Justificación
Realismo microscópico	4	Captura con mayor detalle la dinámica de disparo neuronal, incluyendo la transición exponencial.
Realismo macroscópico	4	Puede representar con precisión la actividad de grandes poblaciones neuronales.
Utilidad	5	Muy útil para estudios que requieren precisión y realismo en la dinámica de disparo.
Interpretabilidad	3	Más complejo que el LIF, pero aún interpretable con un conocimiento adecuado.

E. De un ejemplo de un fenómeno/aplicación para el cual no sería adecuado.

- El modelo McCulloch–Pitts no es adecuado para modelar fenómenos que dependen de la dinámica temporal, como la integración temporal de señales sinápticas.
- El modelo LIF no es adecuado para modelar neuronas que presentan una transición muy rápida al estado de disparo, como las neuronas piramidales del cortex.
- El modelo EIF no es adecuado para aplicaciones que requieren modelos más simples que sean computacionalmente eficientes, como grandes redes neuronales artificiales donde la precisión biológica no es crítica.