

Übung zur theoretischen Physik neuronaler Informationsverarbeitung (Prof. J. L. van Hemmen)

Aufgabe 1: „Integrate and fire“ Neuronenmodell

Das „Integrate and fire“ Neuronenmodell eines Neurons mit Membranpotential $V(t)$, Zeitkonstante τ und Input-Strom $I(t)$ wird beschrieben durch die Modellgleichung

$$\dot{V}(t) = -\frac{1}{\tau}V(t) + I(t). \quad (1)$$

Das Neuron mit Schwelle ϑ erzeugt ein Aktionspotential zum Zeitpunkt t_0 , falls

$$V(t_0) = \vartheta. \quad (2)$$

Unmittelbar nach dem Aktionspotential wird das Membranpotential wieder auf null zurückgesetzt und der durch Gleichung (1) beschriebene Prozess startet neu.

1. Berechnen Sie die Raten-Input-Funktion (Rate der Aktionspotentiale in Abhängigkeit des Stroms) bei konstantem Input-Strom I_0 .
2. Berechnen Sie das exzitatorische postsynaptische Potential $V(t)$ (EPSP) für einen mit Zeitkonstante τ_s exponentiell abfallenden synaptischen Input-Strom, also

$$I(t) = I_0 e^{-t/\tau_s}. \quad (3)$$

für $t \geq 0$, mit Anfangsbedingung $V(0) = 0$. Was ergibt sich für $\tau_s = \tau$?

3. Was ist die Lösung von (1) für einen pulsformigen Input-Strom $I(t) = \delta(t - t_0)$, $t_0 > 0$, mit Anfangsbedingung $V(0) = 0$?
4. Stellen Sie die Lösung $V(t) = \varepsilon(t)$ von (1) für einen beliebigen Input-Strom $I(t) = \alpha(t)$, $\alpha(t) = 0$ für $t \leq 0$, mit Anfangsbedingung $V(0) = 0$ als Integral dar.
5. Das Neuron erhalte über Synapsen der Stärke J_j zu den Zeiten t_j^f Input-Ströme $J_j \alpha(t - t_j^f)$. Zeigen Sie, dass das „Integrate and fire“ Neuronenmodell ein Spezialfall des Spike-Response-Modells ist, indem Sie das Membranpotential $V(t)$ des „Integrate and fire“ Neuronenmodells darstellen durch

$$V(t) = \sum_f \eta(t - t^f) + \sum_{j,f} J_j \varepsilon(t - t_j^f). \quad (4)$$