IWR, Universität Heidelberg Sommersemester 2011
Aufgabenblatt 5 25. Mai 2011

Übungen zur Vorlesung

Modellierung und Simulation in den Neurowissenschaften

http://conan.iwr.uni-heidelberg.de/teaching/numsimneuro_ss2011

Dr. S. Lang, D. Popović

Abgabe: 01. Juni 2011 in der Übung

Übung 9 Integrate-and-Fire Neuron mit Exponential Adaption (10 Punkte)

In dieser Übung wird das Adaptive Exponential Leaky Integrate-and-Fire-Modell untersucht. In diesem Modell gibt es zusätzlich zum Adaptions-Term w, der aus der letzten Übung bekannt ist, und einen hemmenden (oder anregenden) Strom beschreibt, einen nicht-linearen exponentiellen Term. Dieser Term ist ein Spike-erzeugender Mechanismus. Das bedeutet, dass das Neuron, ähnlich wie beim Izhikevich-Modell, selber in der Lage ist, einen Spike zu erzeugen. Dieser muss nicht mehr von Hand „eingezeichnet" werden. Das Modell wird meist *IFAdEx* abgekürzt, „Integrate-and-Fire mit exponentieller Adaption". Es wird ausführlich untersucht in Brette, R. and Gerstner, W.: *Adaptive Exponential Integrate-and-Fire Model as an Effective Description of Neuronal Activity*, Journal of Neurophysiology 94, pp. 3637–3642, 2005 und Naud et al.: *Firing patterns in the adaptive exponential integrate-and-fire model*, Biol. Cybern (2008), 99:pp. 335–347. Aus letzterem Paper sind auch die in dieser Übung verwendeten Parameter.

In physikalischer Schreibweise lautet IFAdEx:

$$\begin{aligned} C_m \partial_t v(t) &= -g_L(v - E_L) + g_L \cdot \triangle T \cdot \exp\{(v - v_{thresh})/\triangle T\} - w + I, \\ \tau_w \partial_t w(t) &= a \cdot (v - E_L) - w, \\ v(0) &= v_0, \quad w(0) = w_0. \end{aligned}$$

Hierbei ist $I\,[pA]$ der (absolute) Eingangstrom, $C\,[pF]$ die Gesamt-Kapazität der Membran, $g_L\,[nS]$ die Gesamt-Leitfähigkeit der Membran, $\triangle T\,[mV]$ ein *threshold slope factor*, $v_{thresh}\,[mV]$ der Potential-Threshold, $w\,[pA]$ eine Adaptions-Variable, $\tau_w\,[ms]$ die Zeitkonstante der Adaption und $a\,[nS]$ der Kopplungsfaktor der Adaption. Wenn das Potential den Schwellwert $v = 0$ übersteigt, werden Potential v und Adaptions-Variable a zurückgesetzt: $v \to v_{reset}$, $w \to w + b$, wobei $b\,[pA]$ der Offset der Adaptions-Variable ist. Das Potential v hat die Einheit $[mV]$ und der Adaptionsstrom w die Einheit $[pA]$. Falls v den Schwellwert v_{thresh} übersteigt, lässt die Exponential-Funktion das Potential schnell anwachsen. Der Parameter $\triangle T$ steuert dabei, wie scharf das Modell auf das Überschreiten des Threshold-Werts reagiert. Das Modell wird vom angelegten Strom und neun anderen Parametern eingestellt, von denen fünf reine Skalierungsparameter sind, und vier sogenannte Bifurkationsparameter, die das Spiking-Verhalten des Systems beeinflussen können. Die fünf Skalierungsparameter können aus dem Modell elimiert werden, relevant sind Bifurkationsparameter. Siehe dazu die oben genannten Referenzen.

1. Führen Sie für die beiden Modell-Gleichungen eine Einheiten-Analyse für alle Terme durch. Wieviele Terme müssen sie wenigstens reskalieren, damit alle Terme die selbe Skala (z.B. pA) haben?

2. Implementieren Sie das Modell mit Hilfe von Octave und dem Forward Euler-Verfahren. Testen Sie das Modell dann mit den acht Parameter-Setups aus Tabelle 0.2 und exportieren Sie Plots des Potentials. Der applizierte Strom soll eine Strom-Schnelle sein, die Dauer können Sie beliebig wählen. Setzen Sie ausserdem $v_0 = E_L$ und $w_0 = 0.0$.

C	g_L	E_L	v_{thresh}	$\triangle T$	a	τ_w	b	v_{reset}	I
200	10	-70	-50	2	2	30	0	-58	500
200	12	-70	-50	2	2	300	60	-58	500
130	18	-58	-50	2	4	150	120	-58	400
200	10	-58	-50	2	2	120	100	-46	210
200	12	-70	-50	2	-10	300	0	-58	300
200	12	-70	-50	2	-6	300	0	-58	110
100	10	-65	-50	2	-10	90	30	-47	350
100	12	-60	-50	2	-11	130	30	-47	160

Tabelle 0.2: Parameter für das Integrate-and-Fire mit Exponential Adaptation-Modell.

3. Freiwillige Zusatzaufgabe: Implementieren Sie ein implizites Verfahren (BE, CN) für das nicht-lineare Modell. Beachten Sie, dass Sie dazu in jedem Schritt ein nicht-lineares Gleichungssystem lösen müssen. Dazu können Sie zum Beispiel ein Newton-Verfahren verwenden.