



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea



Escuela Universitaria
de Ingeniería
Vitoria-Gasteiz

Ingeniaritzako
Unibertsitate Eskola
Vitoria-Gasteiz

Redes Neuronales de Pulsos

Spiking Neural Networks

Pablo González Nalda

Depto. de Lenguajes y Sistemas Informáticos
Grupo de Inteligencia Computacional

30 de marzo de 2011

Modificado el 29 de marzo de 2011



Contenidos de la presentación

Contenidos

Introducción

Usos de las
Redes
Neuronales

Redes
Neuronales de
Pulsos

Referencias

- 1 Introducción
- 2 Usos de las Redes Neuronales
- 3 Redes Neuronales de Pulsos



Contenidos

Introducción

Usos de las
Redes
Neuronales

Redes
Neuronales de
Pulsos

Referencias

1 **Introducción**

2 Usos de las Redes Neuronales

3 Redes Neuronales de Pulsos



Introducción

Contenidos

Introducción

Usos de las
Redes
Neuronales

Redes
Neuronales de
Pulsos

Referencias

Contextualización: mi área de investigación

- Robótica Evolutiva
- entornos no estructurados (representación inviable)
 - por falta de información,
 - porque el entorno es cambiante
 - descripción no manejable por complicada.
- comportamientos emergentes



¿Por qué Redes Neuronales en la Robótica Evolutiva?

Contenidos

Introducción

Usos de las
Redes
Neuronales

Redes
Neuronales de
Pulsos

Referencias

¿Por qué Redes Neuronales (RN) en la Robótica Evolutiva?

- fácilmente representables en Algoritmos Genéticos
- son buenos aproximadores del entorno
- se adaptan a un entorno cambiante



Contenidos

Introducción

**Usos de las
Redes
Neuronales**

Redes
Neuronales de
Pulsos

Referencias

1 Introducción

2 Usos de las Redes Neuronales

3 Redes Neuronales de Pulsos



Usos de las Redes Neuronales

Contenidos

Introducción

Usos de las Redes Neuronales

Redes Neuronales de Pulsos

Referencias

Usos de las Redes Neuronales: son un modelo

- aproximador de funciones
- interpolador y mezclador de información [García-Rubio et al., 2006]
- aproximador de Sistemas Dinámicos [Funahashi and Nakamura, 1993][Beer, 1995]
- extractor de características en espacio y tiempo
- uso desde punto de vista bioinspirado, científico y técnico



Contenidos

Introducción

Usos de las
Redes
Neuronales

**Redes
Neuronales de
Pulsos**

Fisiología
Modelos
Modelo de
Izhikevich

Referencias

1 Introducción

2 Usos de las Redes Neuronales

3 **Redes Neuronales de Pulsos**



EEG, Electroencefalograma y ECG, Electrocardiograma

Contenidos

Introducción

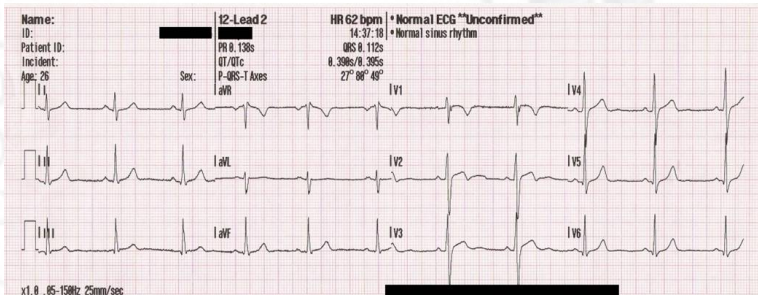
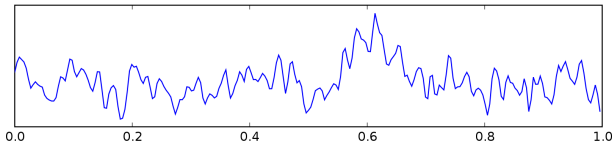
Usos de las
Redes
Neuronales

Redes
Neuronales de
Pulsos

Fisiología

Modelos
Modelo de
Izhikevich

Referencias





Pulso eléctrico o *Potencial de acción*

Contenidos

Introducción

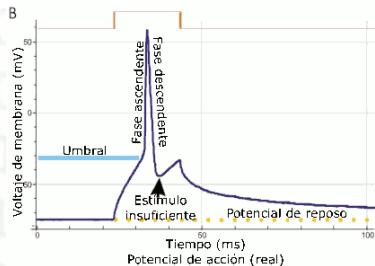
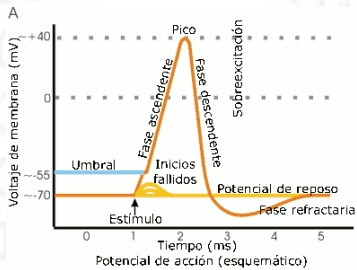
Usos de las
Redes
Neuronales

Redes
Neuronales de
Pulsos

Fisiología

Modelos
Modelo de
Izhikevich

Referencias



[En Wikipedia](#)



Umbral (*threshold*)

Contenidos

Introducción

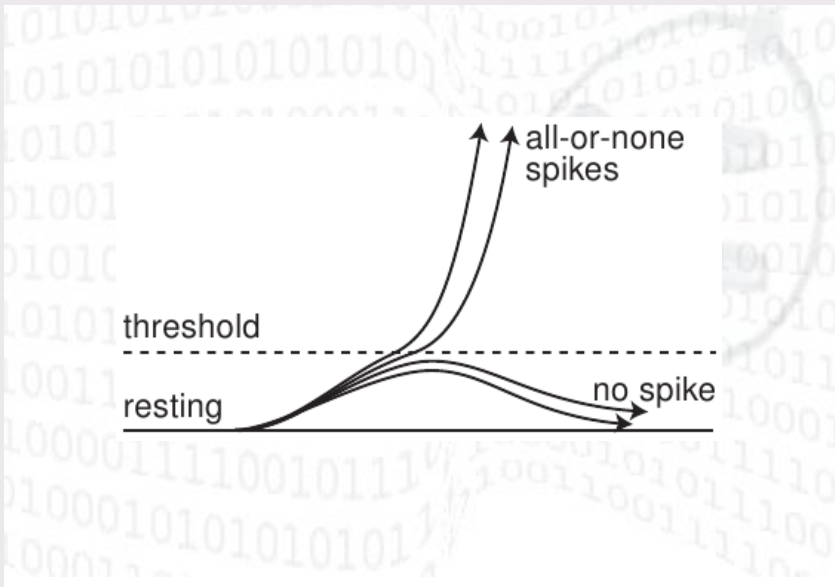
Usos de las
Redes
Neuronales

Redes
Neuronales de
Pulsos

Fisiología

Modelos
Modelo de
Izhikevich

Referencias





Química de la sinapsis

Potenciales post-sinápticos (PSPs)

Contenidos

Introducción

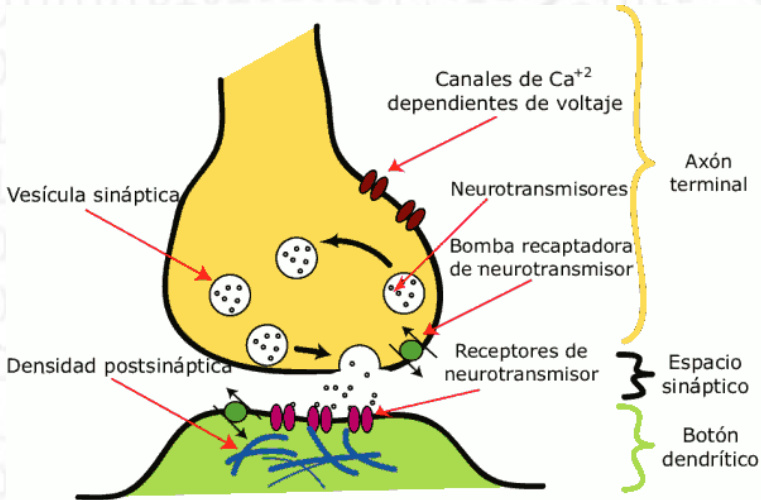
Usos de las
Redes
Neuronales

Redes
Neuronales de
Pulsos

Fisiología

Modelos
Modelo de
Izhikevich

Referencias





Dinámica de las neuronas

Contenidos

Introducción

Usos de las Redes Neuronales

Redes Neuronales de Pulsos

Fisiología **Modelos** Modelo de Izhikevich

Referencias

La dinámica electroquímica de una neurona está determinada por las sustancias producidas mediante la *expresión* de la información genética de la propia neurona.

Se pueden usar varias ecuaciones en derivadas parciales para modelar la dinámica de una neurona.

El modelo más complejo, el de Hodgkin-Huxley, tiene cuatro ecuaciones, decenas de parámetros y 1200 operaciones de coma flotante para un milisegundo de simulación. Sus valores tienen significado y medida biológica.



¿Cuál elegir, qué modelo de neurona?

Contenidos

Introducción

Usos de las Redes Neuronales

Redes Neuronales de Pulsos

Fisiología **Modelos** Modelo de Izhikevich

Referencias

El modelo debe simular de la forma más fiel posible la mayor cantidad de características de diferentes tipos de neuronas. Por contra, debe ser un modelo computacionalmente asumible, para poder hacer redes de mayor tamaño.

Respuesta: Eugene Izhikevich





El modelo de Izhikevich

Contenidos

Introducción

Usos de las Redes Neuronales

Redes Neuronales de Pulsos

Fisiología Modelos Modelo de Izhikevich

Referencias

Izhikevich [2004] plantea su modelo como el más adecuado, ya que con dos ecuaciones y cuatro parámetros simula todos los tipos de neuronas y es rápido (13 FLOPS), aunque no tiene traducción biológica directa (no es un modelo basado en la conductancia).

$$\dot{v}_i = 0,04v_i^2 + 5v_i + 140 - u_i + I \quad (1)$$

$$\dot{u}_i = a(bv_i - u_i) \quad (2)$$

$$\text{si } v_i \geq 30mV \begin{cases} v_i \leftarrow c \\ u_i \leftarrow u_i + d \end{cases} \quad (3)$$

Es importante indicar que el valor $30mV$ no es un umbral de activación (*threshold*) sino el pico del disparo.



El modelo de Izhikevich

Más información sobre el modelo, con código en C y MATLAB en la web izhikevich.org

Contenidos

Introducción

Usos de las Redes Neuronales

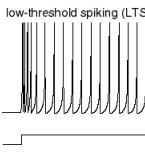
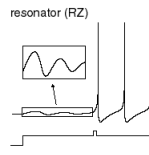
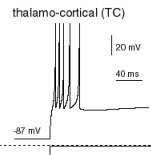
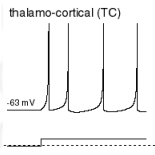
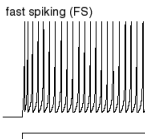
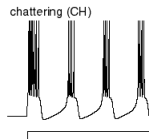
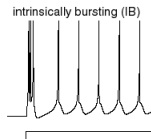
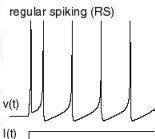
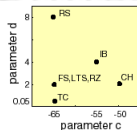
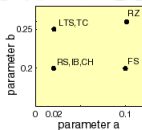
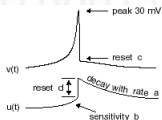
Redes Neuronales de Pulsos

Fisiología Modelos Modelo de Izhikevich

Referencias

$$v' = 0.04v^2 + 5v + 140 - u + I$$
$$u' = a(bv - u)$$

**if $v = 30$ mV,
then $v \leftarrow c$, $u \leftarrow u + d$**





Policronización

Contenidos

Introducción

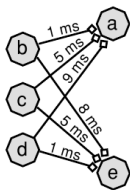
Usos de las
Redes
Neuronales

Redes
Neuronales de
Pulsos

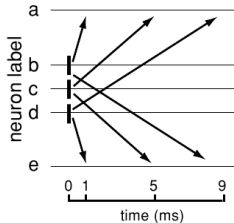
Fisiología
Modelos
**Modelo de
Izhikevich**

Referencias

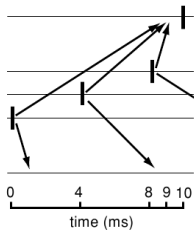
A



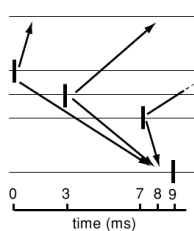
B



C



D





STDP

Contenidos

Introducción

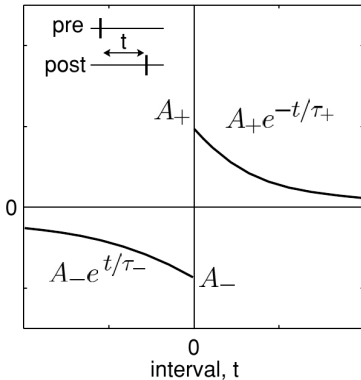
Usos de las
Redes
Neuronales

Redes
Neuronales de
Pulsos

Fisiología
Modelos
**Modelo de
Izhikevich**

Referencias

Plasticidad dependiente del intervalo entre pulsos
(Spike-Timing-Dependent Plasticity), una plasticidad sináptica de tipo Hebbiano [Hebb, 1949] asimétrico respecto al tiempo.





Consecuencias de STDP

Contenidos

Introducción

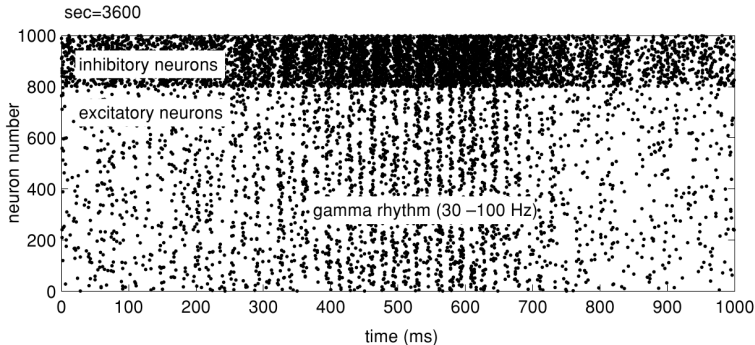
Usos de las
Redes
Neuronales

Redes
Neuronales de
Pulsos

Fisiología
Modelos
Modelo de
Izhikevich

Referencias

Produce variación en los regímenes de disparo del conjunto de las neuronas





Homeostasis

Contenidos

Introducción

Usos de las
Redes
Neuronales

Redes
Neuronales de
Pulsos

Fisiología
Modelos
Modelo de
Izhikevich

Referencias

Homeostasis u homeocinesis

Homeostasis es el comportamiento de autorregulación para mantener un régimen de funcionamiento estable o equilibrio como sistema dinámico

Mecanismos homeostáticos en el caso de las redes neuronales (ver [Watt and Desai, 2010] y [Lazar et al., 2009]):

- plasticidad sináptica
- LTP, potenciación a largo plazo
- LTD, depresión a largo plazo
- escalado sináptico
- plasticidad intrínseca



Modelo del cerebro de Izhikevich

RMI (imágenes de resonancia magnética) analizadas por DTI

Contenidos

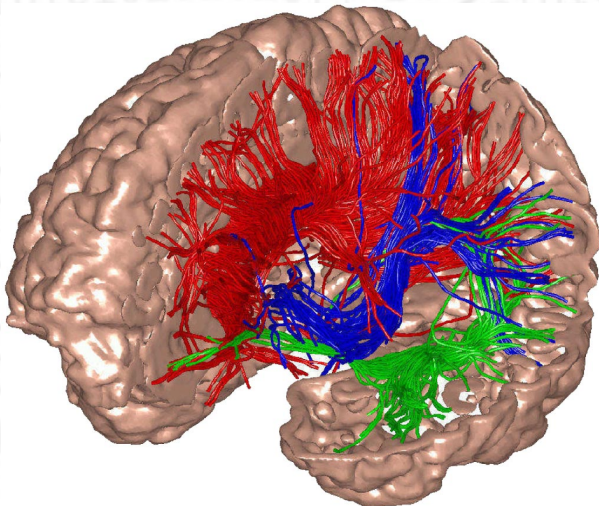
Introducción

Usos de las
Redes
Neuronales

Redes
Neuronales de
Pulsos

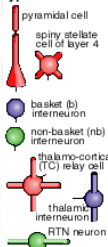
Fisiología
Modelos
**Modelo de
Izhikevich**

Referencias

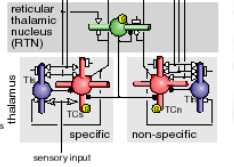
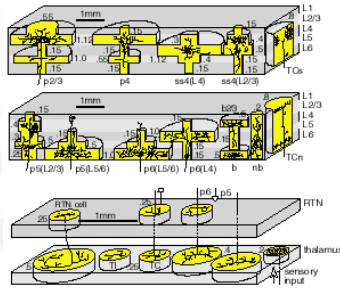
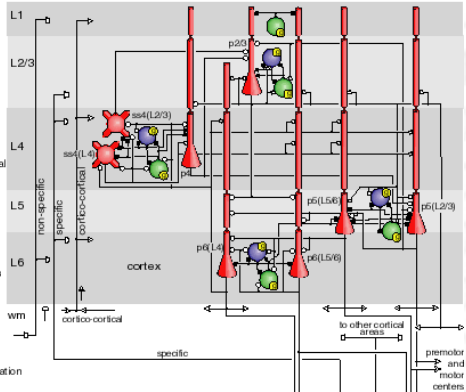


[...] in C programming language with MPI and it is run on a Beowulf cluster of 60 3GHz processors with 1.5 GB of RAM each. Most of the simulations were performed with one million neurons, tens of millions of neuronal compartments, and almost half a billion synapses. It takes [...] one minute to compute one second of simulated data using a sub-millisecond time step.

types of neurons



types of synapses





Modelo del cerebro de Izhikevich

Contenidos

Introducción

Usos de las
Redes
Neuronales

Redes
Neuronales de
Pulsos

Fisiología
Modelos
**Modelo de
Izhikevich**

Referencias

Vídeo de parte de la simulación



Paralelización

Contenidos

Introducción

Usos de las
Redes
Neuronales

Redes
Neuronales de
Pulsos

Fisiología
Modelos
**Modelo de
Izhikevich**

Referencias

La ejecución del modelo es posible en un sistema paralelo.

CUDA [NVIDIA-Corporation, 2010] permite paralelizar las Redes Neuronales usando tarjetas gráficas de la marca NVIDIA. OpenCL es un estándar equivalente.

En [Nageswaran, 2009] se muestra que se puede acelerar la ejecución hasta en 26 veces.



Bibliografía I

Contenidos

Introducción

Usos de las Redes Neuronales

Redes Neuronales de Pulsos

Referencias

R. Beer. On the dynamics of small continuous-time recurrent neural networks. *Adaptive Behavior*, 3(4):469–509, 1995.

Kenichi Funahashi and Yuichi Nakamura. Approximation of dynamical systems by continuous time recurrent neural networks. *Neural Netw.*, 6(6):801–806, 1993. ISSN 0893-6080. doi:
[http://dx.doi.org/10.1016/S0893-6080\(05\)80125-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0893-6080(05)80125-X).

N. García-Rubio, M. Gámez, and E. Alfaro. Rna+sig: Sistema automático de valoración de viviendas. In A. Fernández-Caballero, M. Gracia Manzano, E. Alonso, and S. Miguel Tomé, editors, *Una perspectiva de la Inteligencia Artificial en su 50 aniversario*, pages 219–230. Universidad de Castilla-La Mancha, 2006.



Bibliografía II

Contenidos

Introducción

Usos de las Redes Neuronales

Redes Neuronales de Pulsos

Referencias

Donald O. Hebb. *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory*. John Wiley and Sons, New York, 1949.

E. M. Izhikevich. Which model to use for cortical spiking neurons? *IEEE Trans Neural Netw*, 15(5):1063–1070, September 2004. ISSN 1045-9227.

Andreea Lazar, Gordon Pipa, and Jochen Triesch. Sorn: a self-organizing recurrent neural network. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 3(0), 2009. ISSN 1662-5188. doi: 10.3389/neuro.10.023.2009. URL http://www.frontiersin.org/Journal/Abstract.aspx?s=237&name=computationalneuroscience&ART_DOI=10.3389/neuro.10.023.2009.



Bibliografía III

Contenidos

Introducción

Usos de las Redes Neuronales

Redes Neuronales de Pulsos

Referencias

Dutt N. Krichmar¹ J.L. Nicolau A. Veidenbaum A.V. Nageswaran, J.M. A configurable simulation environment for the efficient simulation of large-scale spiking neural networks on graphics processors. *Neural Networks*, 22: 791–800, 2009.

NVIDIA-Corporation. *CUDA Programming Guide for CUDA Toolkit 3.2*. NVIDIA Corporation, 2010.

Alanna J Watt and Niraj S Desai. Homeostatic plasticity and stdp: keeping a neuron's cool in a fluctuating world. *Frontiers in Synaptic Neuroscience*, 2(0), 2010. ISSN 1663-3563. doi: 10.3389/fnsyn.2010.00005. URL http://www.frontiersin.org/Journal/Abstract.aspx?s=1082&name=synapticneuroscience&ART_DOI=10.3389/fnsyn.2010.00005.