

# UN NUOVO PARADIGMA PER RETI NEURALI ASINCRONE

*Mario Salerno, Daniele Casali, Massimo Carota, Giovanni Costantini*

Dipartimento di Ingegneria Elettronica  
Università di Roma "Tor Vergata"  
Via del Politecnico, 1, Roma

La simulazione di reti neurali di grandi dimensioni è un'importante area di ricerca, che interessa sia aspetti teorici, che l'esigenza di sviluppare modelli del sistema nervoso reale. Per ottenere modelli realistici, è importante fare riferimento alle cosiddette reti neuromorfe, in cui ogni neurone è in grado di produrre un insieme di pattern di spike simile a quello dei sistemi biologici. Com'è noto, il modello classico di Hodgkin-Huxley [1] è molto accurato, ma consente simulazioni di durata accettabile solo nel caso di reti molto piccole. Al contrario, il modello integrate-and-fire [2,3], pur essendo molto semplice, può produrre solo sequenze di spike molto elementari e quindi inadatte a riprodurre la natura ricca e irregolare di quelle dei sistemi biologici. Allo scopo di introdurre nel modello tempi di propagazione apparentemente casuali dei segnali sinaptici, sono state proposte diverse soluzioni intermedie, considerando modelli neurali semplificati [4,5] oppure introducendo opportune modifiche che consentano di migliorare il sistema integrate-and-fire originale [6].

Il limite del modello integrate-and-fire consiste nel modo in cui gli spike vengono generati. Infatti, nel momento in cui lo stato interno di un neurone supera il livello di soglia, il processo di generazione degli spike diventa attivo e invia uno spike ai neuroni connessi mediante collegamenti sinaptici. Poiché in questo processo non viene considerato alcun ritardo, i pattern di spike tendono a diventare sincroni, situazione questa inesistente nella controparte biologica. Per superare tale difficoltà, nella letteratura tecnica sono state proposte diverse soluzioni [7,8]: alcune introducono nei modelli elementi stocastici, mentre altre considerano tempi di propagazione finiti per le diverse sinapsi [9].

Nel presente lavoro, viene proposto un nuovo modello neurale, nel quale ad ogni spike è associato un tempo di ritardo in funzione della dinamica interna del neurone (Fig. 1). Tale ritardo, diverso per ogni evento, viene introdotto in maniera molto semplice, in modo da ottenere una complessità del neurone simile a quella del modello integrate-and-fire. Diventa quindi possibile simulare facilmente reti neurali che, pur contenendo centinaia di migliaia di neuroni, consentono la generazione di pattern di spike completamente asincroni.

Inoltre, il tempo di ritardo considerato può assumere valori temporali continui, consentendo quindi una distribuzione di spike analogica, come accade nei sistemi nervosi biologici. E' evidente che una simulazione a tempo discreto non è adatta, proprio perché basata su intervalli di campionamento discreti, mentre è preferibile un approccio di tipo event-driven [10], dove l'evoluzione consiste in una sequenza di eventi-spike che occorrono in determinati istanti temporali. Quando viene generato un nuovo evento, il tempo di spike viene calcolato e quindi incrementato in maniera analogica.

Sono state implementate reti neurali di grande complessità, usando degli schemi di interconnessione simili a quelli esistenti nelle Cellular Neural Networks [11], nelle quali è presente una topologia sinaptica a connessione locale. Sono state considerate strutture realistiche, contenenti sia neuroni eccitatori, sia inibitori, nonché applicati i classici algoritmi di apprendimento per la modifica dei pesi sinaptici [12]. In questo modo, si sono ottenute reti neurali adattative, per le quali valgono le regole classiche di plasticità. Sotto l'azione di appropriati segnali d'ingresso, la simulazione dell'intera rete neurale evolve verso la

formazione di gruppi neurali, nei quali l'attività appare molto alta, mentre rimane a livelli relativamente bassi nelle regioni che separano i suddetti gruppi (Fig. 2). Questa proprietà di auto-confinamento sembra rimanere stabile anche dopo che lo stimolo d'ingresso è terminato.

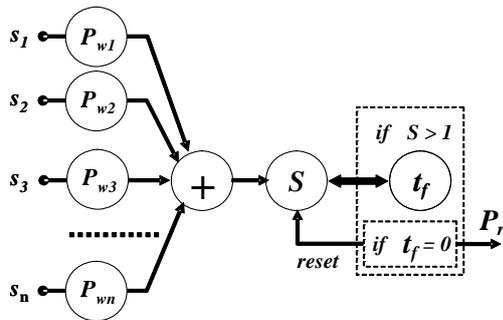


Fig. 1: Modello proposto per il neurone.

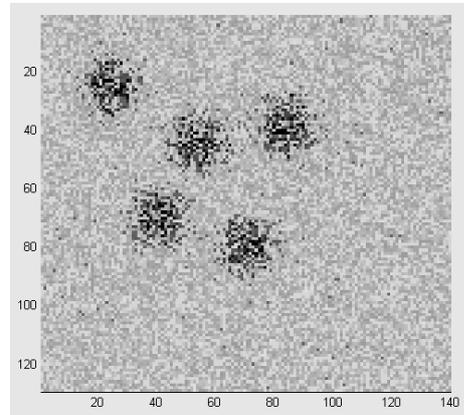


Fig. 2: La rete dopo 18132 eventi-spike.

## Referenze

- [1] A. L. Hodgkin, A. F. Huxley "A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve", J Physiol (London) 117:500–544J, 1952.
- [2] A. N. Burkitt, "A review of the integrate-and-fire neuron model: I. Homogeneous synaptic input", Biol Cybern 95: 1–19, 2006.
- [3] A. N. Burkitt, "A review of the integrate-and-fire neuron model: II. Inhomogeneous synaptic input and network properties", Biol Cybern 95: 97–112, 2006.
- [4] L. F. Abbott, T. B. Kepler, "Model neurons: from Hodgkin–Huxley to Hopfield", Garrido L (ed) Statistical mechanics of neural networks. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 5–18R. 1990.
- [5] E. M. Izhikevich, "Simple Model of Spiking Neurons", IEEE Trans. on Neural Networks, Vol 14, N. 6, Nov 2003.
- [6] G. L. Gerstein, B. Mandelbrot, "Random walk models for the spike activity of a single neuron", Biophys J 4:41–68, 1964.
- [7] H. C. Tuckwell, "On stochastic models of the activity of single neurons", J Theor Biol 65:783–785, 1977.
- [8] A. V. Holden, Models of the stochastic theory of neurons. Springer, Berlin Heidelberg New York, 1976.
- [9] V. Lánská, P. Lánský P, C. E. Smith, "Synaptic transmission in a diffusion model for neural activity", J Theor Biol 166:393–406, 1994.
- [10] M. Bumble and L. Coraor, "Implementing Parallelism in Random Discrete Event-Driven Simulation", Proceedings of the 30th conference on Winter simulation, Washington, D.C., United States, Pages: 1599 – 1606, 1998.
- [11] T. Roska, L. Chua, "The CNN Universal Machine: An Analogic Array Computer", IEEE Trans. on Circuits and Systems-II, 40(3): 163-172, 1993.
- [12] J.C. Pearson, L.H. Finkel, G. M. Edelman, "Plasticity in the Organization of Adult Cerebral Cortical Maps: A Computer Simulation Based on Neuronal Group Selection", The Journal of Neuroscience, 4209-4223, Dec. 1987.