

BIFORCAZIONI E SINCRONIZZAZIONE IN RETI DI OSCILLATORI NON LINEARI

A. Ascoli, M. Biey, M. Bonnin, P.P. Civalleri, F. Corinto, M. Gilli V. Lanza, L. Ponta, M. Righero

Dipartimento di Elettronica
Politecnico di Torino
C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino

In questo settore sono state sviluppate le seguenti linee di ricerca:

Condizioni di sincronia in reti di neuroni di ispirazione biologica

Reti di neuroni d'ispirazione biologica continuano ad attrarre l'interesse di un crescente numero di ricercatori in svariati settori scientifici.

La presente linea di ricerca considera il caso particolare di reti composte da celle descritte da un modello, dovuto a Hindmarsh e Rose (HR), di complessità non troppo elevata, ma già capace di riprodurre comportamenti di tipo “*spiking*” e “*bursting*”, che caratterizzano un elevato numero di sistemi biologici.

Per tali neuroni sono stati recentemente proposti modelli in cui la non linearità è approssimata mediante una funzione lineare a tratti (PWL), che presentano il vantaggio di offrire una più semplice realizzazione in tecnologia *VLSI*.

La validità del modello PWL è già stata confermata in passato confrontando il comportamento dinamico di un singolo neurone PWL con quello del corrispondente neurone HR.

L'obiettivo della presente attività di ricerca è quello di estendere i test di validità, mettendo ora a confronto il comportamento dinamico collettivo di reti (di struttura anche complessa) formate da oscillatori HR con quello di reti aventi la stessa topologia, ma con gli oscillatori HR sostituiti dalla loro approssimazione PWL.

I fenomeni presi in esame sono quelli di sincronizzazione identica. Sono stati considerati diverse situazioni, variando la topologia della rete e i parametri caratteristici della stessa, quali, ad esempio, il coefficiente di accoppiamento e il grado di ogni nodo.

I primi risultati parziali di tali confronti, ottenuti nel caso di reti composte da neuroni tutti uguali, con legami di tipo diffusivo, sono incoraggianti e sono descritti in [1].

Biforcazioni in reti di oscillatori con input costante

Le reti di oscillatori non lineari rappresentano un adeguato modello per descrivere i fenomeni di sincronizzazione che emergono dall'interazione tra le unità costituenti un sistema complesso e che non sono riconducibili ai singoli costituenti. Tali processi sono osservabili in varie discipline quali la biologia, la chimica, l'ecologia, l'ingegneria e la fisica. In particolare, nell'ambito delle neuroscienze, alcuni studi sul sistema talamo corticale hanno evidenziato che tali reti simulano anche l'architettura di un computer neurale. È stato inoltre mostrato che

tali reti presentano proprietà associative e possono essere impiegate per l'elaborazione dell'informazione e delle immagini [2].

L'obiettivo dell'attività di ricerca, che si inserisce nell'ambito di quella svolta negli anni passati, consiste nello sviluppo di nuove metodologie per l'analisi ed il progetto del comportamento dinamico globale di reti di oscillatori non lineari soggette ad un input esterno. L'applicazione delle metodologie sviluppate ha consentito sia l'analisi accurata dei processi di biforcazioni in singoli oscillatori e in reti composte da un elevato numero di oscillatori non lineari [3].

Analisi del comportamento dinamico di oscillatori con memristori

Nel corso del 2008, un gruppo di ricercatori dei laboratori HP hanno individuato una tecnica per realizzare un nano-dispositivo che si comporta come resistore con memoria (memristor). L'esistenza del memristor come quarto elemento circuitale fondamentale, oltre al resistore, all'induttore e al condensatore, fu teorizzata dal prof. L.O. Chua nel 1971. Dal punto di vista applicativo le caratteristiche essenziali del memristor sono: (a) la variazione della resistenza secondo una legge precisa caratterizzata dalle sue proprietà fisiche; (b) la capacità di ricordare, anche se privato dell'alimentazione, lo stato resistivo precedente. Ciò consente di ipotizzare una memoria a memristori in grado di replicare alcune funzioni dei neuroni umani per quanto attiene l'immagazzinamento dei dati e il riconoscimento di *patterns*.

Il fine ultimo dell'attività di ricerca è costituito dallo sviluppo di metodologie per l'analisi ed il progetto di reti d'oscillatori con memristor in grado di elaborare *patterns* spazio-temporali. Il primo passo è costituito dall'analisi del comportamento dinamico d'oscillatori con memristori [4-6].

[1] D. Linaro, M. Righero, M. Storace and M. Biey, "Synchronization properties in networks of Hindmarsh-Rose neurons and their PWL approximations with linear symmetric coupling", *IEEE Int. Symp. on Circuits and Systems*, Taipei, Taiwan, 2009.

[2] F. C. Hoppensteadt, E. M. Izhikevich, *Weakly connected neural networks*, Springer-Verlag: New York, 1997.

[3] V. Lanza, L. Ponta, M. Bonnin, F. Corinto, M. Gilli, "Emerging dynamics in systems with hard excitation" Internal report - Politecnico di Torino, n. 04/2010

[4] F. Corinto, A. Ascoli, M. Gilli, "Bifurcations in memristive oscillators", IEEE Workshop on Nonlinear Dynamics of Electronic Systems, Dresda, 2010

[5] F. Corinto, A. Ascoli, M. Gilli, "Memristive based oscillatory associative and dynamic memories", International Workshop on Cellular Nanoscale Networks and their Applications, Berkeley, California (USA), 2010

[6] F. Corinto, A. Ascoli, M. Gilli, "Nonlinear dynamics in Memristive Oscillators", Internal report - Politecnico di Torino, n. 05/2010