



Χιμαιρικές καταστάσεις σε δίκτυο διαγώνιας και μη-τοπικής τοπολογίας με το μοντέλο “ολοκλήρωσης πυροδότησης με απώλειες”



Τσίγκρη Νεφέλη-Δήμητρα

Τριμελής επιτροπή:

Α. Προβατά,

Ν. Σαρλής,

Δ. Φραντζεσκάκης

▀ Επισκόπηση

1. Εισαγωγή

- *Νευρώνες*
- *Το μοντέλο Ολοκλήρωσης Πυροδότησης*
- *Χιμαιρικές Καταστάσεις*
- *Προηγούμενα Αποτελέσματα*

2. Επίδραση διαγώνιας και μη-τοπικής τοπολογίας σε LIF δίκτυο

- *Μη-τοπική & διαγώνια τοπολογία*
- *Αποτελέσματα*

3. Σύνοψη

- *Συμπεράσματα*
- *Επόμενα βήματα*

Εισαγωγή

Νευρώνες:

- Κύτταρα που στέλνουν ηλεκτρικά σήματα σε μεγάλες αποστάσεις
 - Λήψη σήματος από περισσότερους από 1000 νευρώνες
 - Διάδοση σημάτων μέσω της σύναψης
 - Ολοκληρωτές με κατώφλι



Εισαγωγή

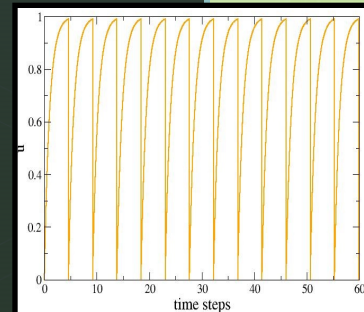
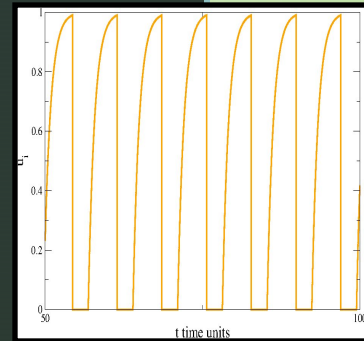
Νευρώνες:

- Κύτταρα που στέλνουν ηλεκτρικά σήματα σε μεγάλες αποστάσεις
 - Λήψη σήματος από περισσότερους από 1000 νευρώνες
 - Διάδοση σημάτων μέσω της σύναψης
 - Ολοκληρωτές με κατώφλι

Το μοντέλο Ολοκλήρωσης Πυροδότησης με Απώλειες (LIF*):

Απλή περιγραφή της εξέλιξης του δυναμικού της μεμβράνης ενός νευρώνα μεταξύ διαδοχικών διεγέρσεων:

$$\begin{cases} \frac{du(t)}{dt} = -u(t) + \mu \\ u_{th} \leq \mu, \mu: \text{constant} \\ u(t) \geq u_{th} \Rightarrow u(t + \varepsilon) = 0, \varepsilon \rightarrow 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} u(t) = \mu - (\mu - u_0)e^{-t} \\ u_{th} \leq \mu, \mu: \text{constant} \\ u(t) \geq u_{th} \Rightarrow u(t + \varepsilon) = 0, \varepsilon \rightarrow 0 \end{cases}$$

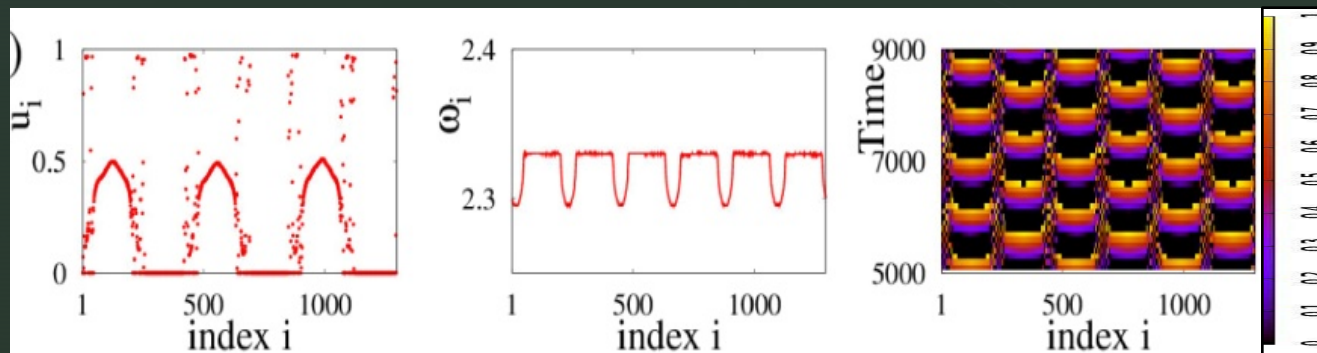


Εισαγωγή

LIF για συζευγμένους ταλαντωτές:

Χιμαιρικές καταστάσεις:

- Η χιμαιρική κατάσταση χαρακτηρίζεται από την ταυτόχρονη συνύπαρξη συγχρονισμένων και ασυγχρόνιστων περιοχών
 - Πολλαπλότητα χιμαιρικής κατάστασης: το πλήθος των συγχρονισμένων (ασυγχρόνιστων) περιοχών



ω_i : μέση ταχύτητα φάσης

$$\omega_i = \frac{2\pi n}{T_{sim}}$$

n : # των ταλαντώσεων

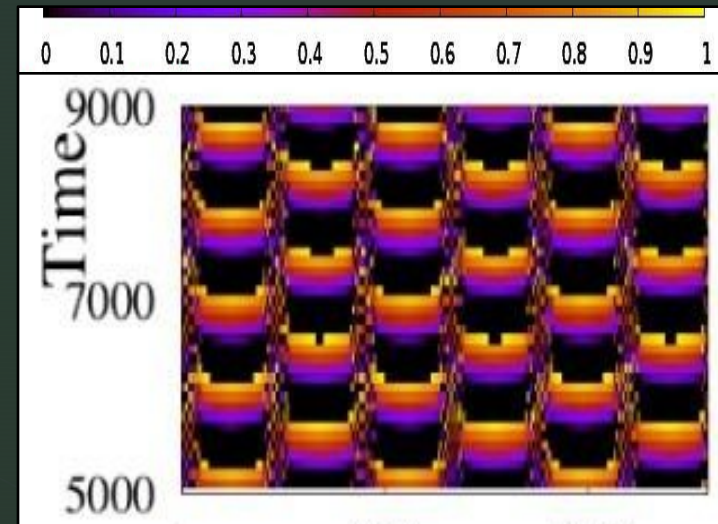
$$\begin{cases} \frac{du_i(t)}{dt} = -u_i(t) + \mu + \sum_{j=i-R}^{j=i+R} C_{ij} [u_j(t) - u_i(t)] \\ u_{th} \leq \mu, \quad \mu: \text{constant} \\ u_i(t) \geq u_{th} \Rightarrow u_i(t + \varepsilon) = 0, \quad \varepsilon \rightarrow 0 \\ p_r: \text{refractory period (περίοδος εφησυχασμού)} \\ C_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{R_{total}} \end{cases}$$

Εισαγωγή

Προηγούμενα Αποτελέσματα σε διαφορετικές τοπολογίες:

→ **Μη-τοπική:** $\sigma_{ij} = \begin{cases} \sigma, & \text{για } i - R \leq j \leq i + R \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$

→ Χιμαιρικές καταστάσεις



- Η πολλαπλότητα της χιμαιρικής κατάστασης είναι αντιστρόφως ανάλογη του R
- Ο χρόνος εφησυχασμού εισάγει την πολλαπλότητα των χιμαιρικών καταστάσεων

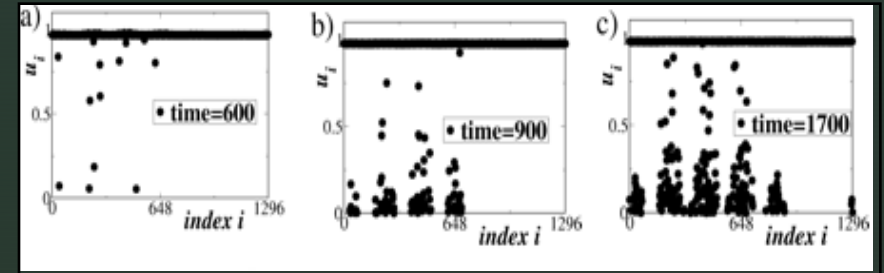
- **N. Brunel, MC Van Rossum, Biol. Cybernetics Vol.97, (5-6):337-339, (2007)**
- **R. Zilmer et al, PRE 76, 046102 (2007)**

Προηγούμενα Αποτελέσματα σε διαφορετικές τοπολογίες:

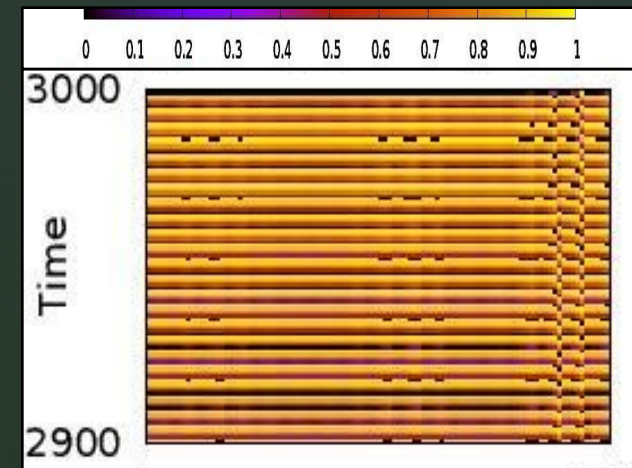
- Μη-τοπική: $\sigma_{ij} = \begin{cases} \sigma, & \text{για } i - R \leq j \leq i + R \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$
- **Ιεραρχική:** $\sigma_{ij} = \sigma$, για $I_{i-j}^n \neq 0$, όπου \bar{I}^n η συμβολοσειρά έναρξης

→ Χιμαιρικές καταστάσεις

→ Οδεύουσες χιμαιρικές καταστάσεις



- Οι ασυγχρόνιστες περιοχές εμφανίζουν επιμέρους δομή



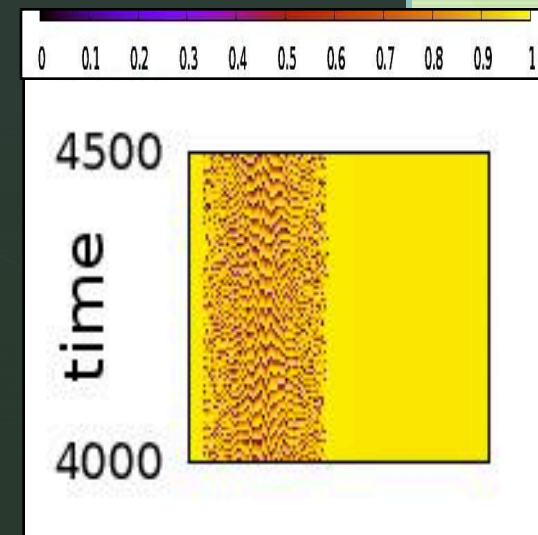
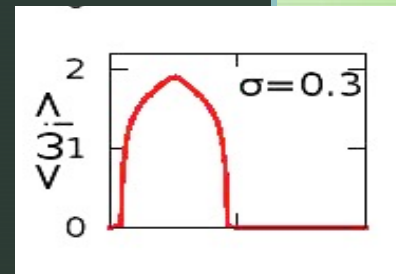
- B.B. Mandelbrot, "Fractals: form, chance & dimension," W.H.Freeman & Company
- I. Omelchenko et al, PRE 91, 022917 (2015)

Προηγούμενα Αποτελέσματα σε διαφορετικές τοπολογίες:

- Μη-τοπική: $\sigma_{ij} = \begin{cases} \sigma, & \text{για } i - R \leq j \leq i + R \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$
- Ιεραρχική: $\sigma_{ij} = \sigma$, για $I_{i-j}^n \neq 0$, όπου \bar{I}^n η συμβολοσειρά έναρξης

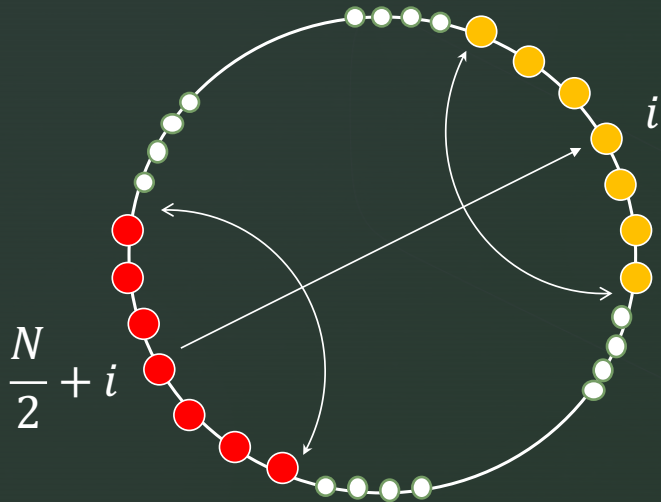
- **Κατοπτρική:** $\sigma_{ij} = \begin{cases} \sigma, & \text{για } N - i - R \leq j \leq N - i + R \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$

→ Συνύπαρξη ασυγχρόνιστων περιοχών με περιοχές όπου οι ταλαντωτές παραμένουν κοντά στην τιμή κατωφλίου



- **E. S Finn et al., Nature Neuroscience 18, 1664-1671 (2015)**

Επίδραση διαγώνιας και μη-τοπικής τοπολογίας σε LIF δίκτυο



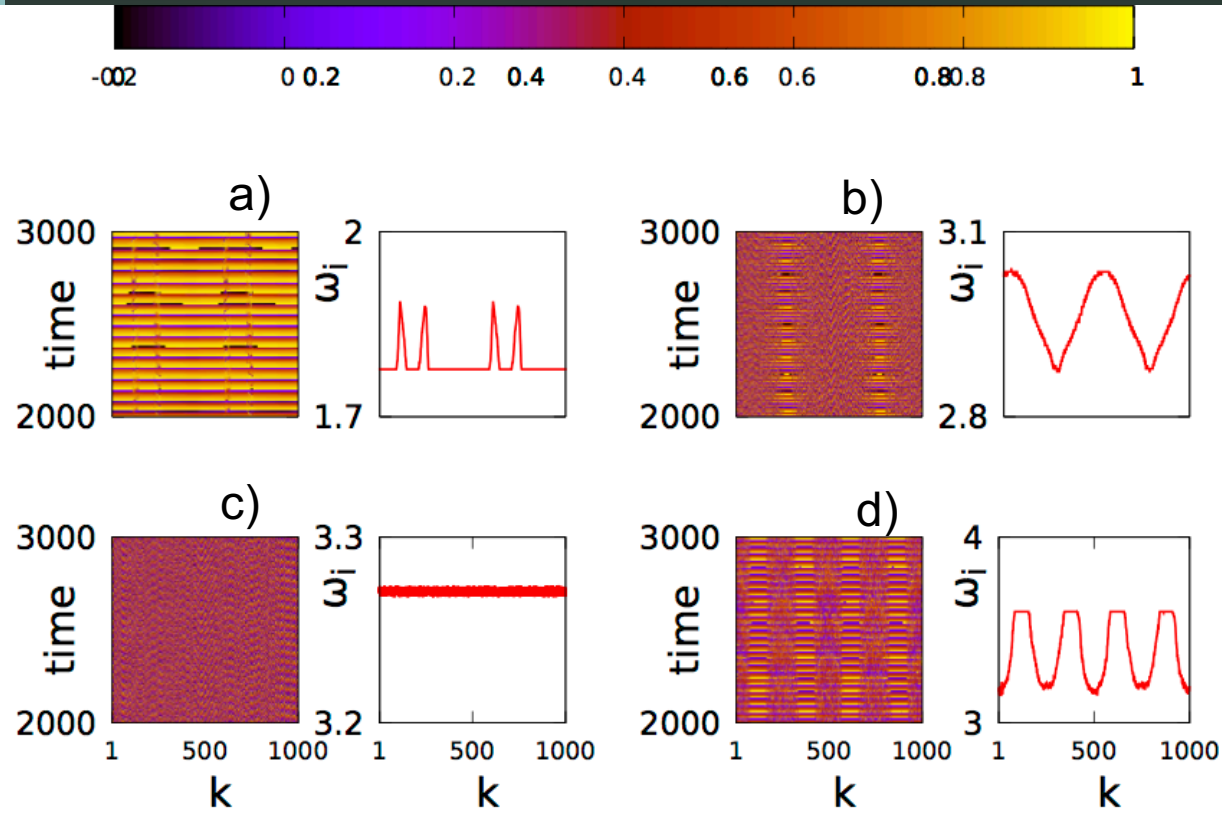
Διαγώνια και μη-τοπική τοπολογία:

Πίνακας σύνδεσης: • $C_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{(2R_{nl} + 2R_{diag} + 1)} = \frac{\sigma_{ij}}{4R + 1}$

• $R_{nl} = R_{diag} = R$

$$\sigma_{ij} = \begin{cases} \sigma, & \text{για } \left(\frac{N}{2} + i - R_{diag}\right) \leq j \leq \left(\frac{N}{2} + i + R_{diag}\right) \\ \sigma, & \text{για } i - R_{nl} \leq j \leq i + R_{nl} \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

Αποτελέσματα:

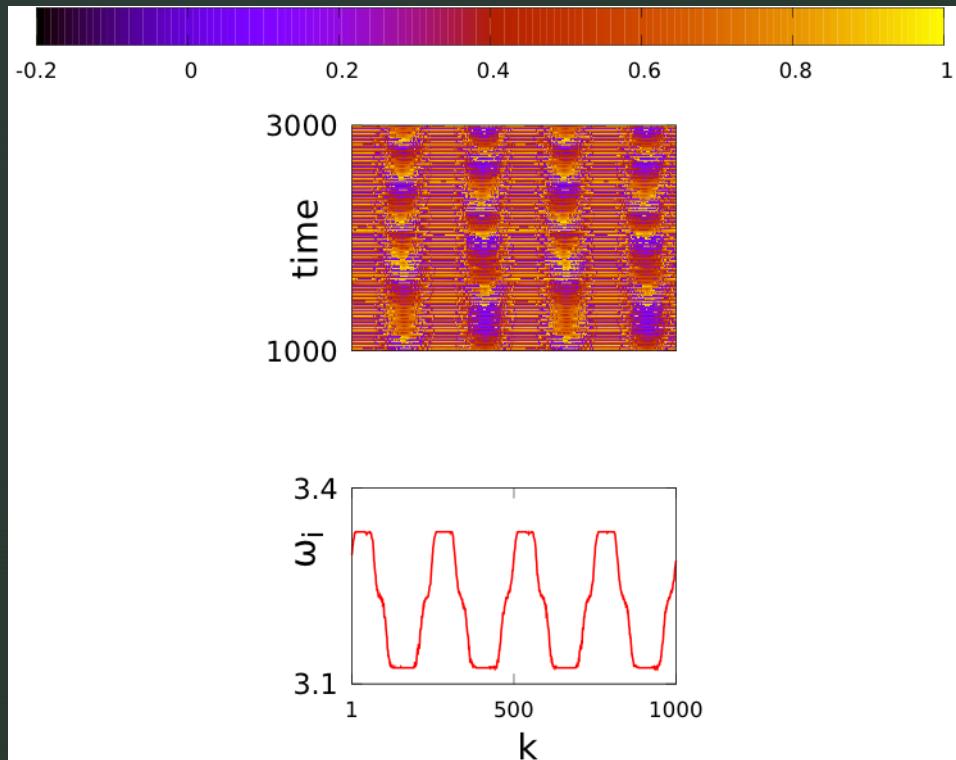


- **Solitary states** για $\sigma < 0.6$
- **Χιμαιρικές καταστάσεις** για $0.6 < \sigma < 1.0$ και $\sigma > 1.5$
- **Ασυγχρόνιστες καταστάσεις**
Για $1.0 < \sigma < 1.5$
- Όταν $0.6 < \sigma < 1.0 \rightarrow \omega_{\text{incoh}} > \omega_{\text{coh}}$
- Όταν $\sigma > 1.5 \rightarrow \omega_{\text{incoh}} < \omega_{\text{coh}}$

Παράμετροι: Χωροχρονικά διαγράμματα και μέσης ταχύτητας φάσης ω_i για $R=150$. $N=1000$, $u_{\text{th}}=0.98$, $\mu=1$ και a) $\sigma=0.4$, b) $\sigma=0.6$, c) $\sigma=1.0$ and d) $\sigma=1.6$.

▲ Αποτελέσματα:

- Χιμαιρική κατάσταση με 2 επίπεδα συγχρονισμού (two-level synchronisation chimera state)



Παράμετροι: $R=200$, $\sigma=1.4$, $N=1000$, $u_{th}=0.98$, $\mu=1$.

- Στην ασυγχρόνιστη περιοχή $1.0 < \sigma < 1.5$, για $R=200$ και $\sigma=1.2-1.5 \rightarrow$ χιμαιρικές καταστάσεις με 2 συγχρονισμένες περιοχές με $\omega_{coh1} \neq \omega_{coh2}$
- Οι 2 συγχρονισμένες περιοχές ω_{coh1} , ω_{coh2} χωρίζονται από μια ασυγχρόνιστη περιοχή

- **N.D. Tsigkri-DeSmedt, I.Koulierakis, G.Karakos, A. Provata, Eur. Phys. J.B 91:305 (2018)**

Αποτελέσματα:

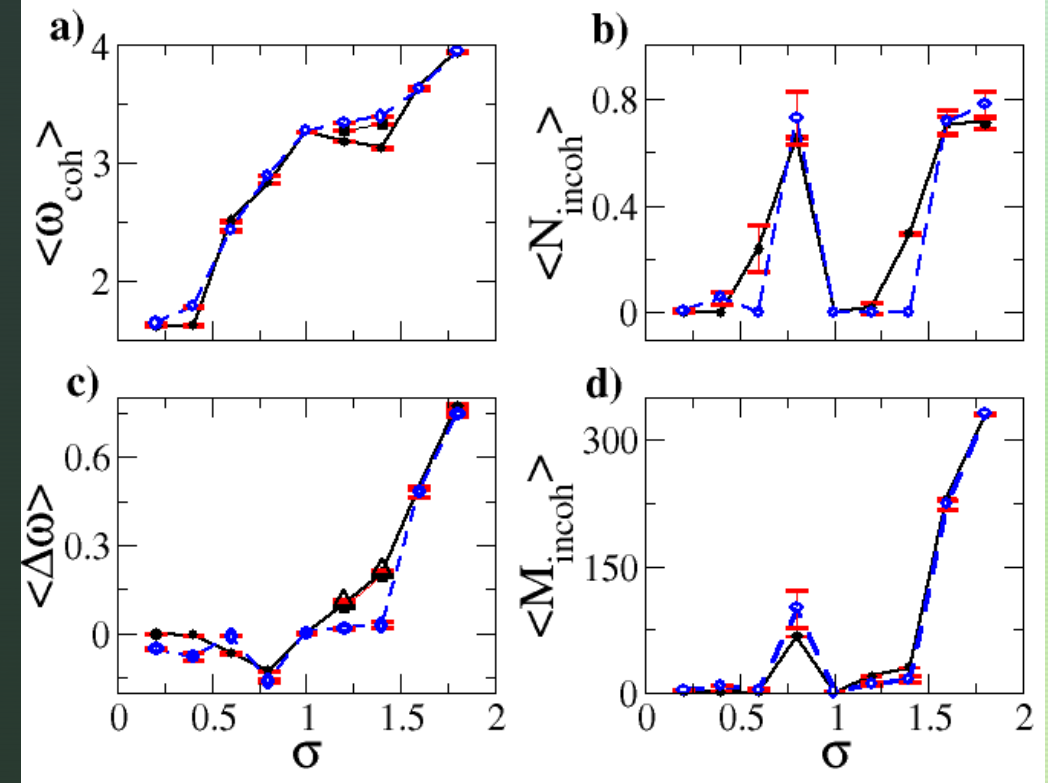
Μέτρα συγχρονισμού:

$$N_{incoh} = \frac{1}{N} \sum_1^N \Theta(A), \quad \Theta(A) = \begin{cases} 1, & \text{όταν } A > 0 \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

$$A = \begin{cases} \omega_i - \omega_{coh} - c, & \text{όταν } \omega_{coh} < \omega_{incoh} \\ \omega_{coh} - \omega_i - c, & \text{όταν } \omega_{coh} > \omega_{incoh} \end{cases}$$

$$M_{incoh} = \sum_1^N |(\omega_i - \omega_{coh})|$$

- Αύξηση της $\sigma \Rightarrow$ αύξηση $\langle \omega_{coh} \rangle$
- $N_{incoh} = 0 \Rightarrow$ ασυγχρόνιστη κατάσταση



Παράμετροι: (Μπλε) $R=120$, (Μαύρο) $R=200$,
 $u_{th}=0.98$, $\mu=1.0$, $N=1000$.

Σύνοψη

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:

- Ο συνδυασμός διαγώνιας και μη-τοπικής τοπολογίας ανέδειξε την ύπαρξη της χιμαιρικής κατάστασης με δύο επίπεδα συγχρονισμού
- Διαφοροποίηση ανάπτυξης της χιμαιρικής κατάστασης για $\sigma < 1.0$ και $\sigma > 1.0$

ΕΠΟΜΕΝΑ ΒΗΜΑΤΑ:

Μελέτη φαινομένων συγχρονισμού με:

- ▶ Τοπολογία μικρού κόσμου (Small World)
- ▶ Τοπολογία κατά Barabasi-Alberts
- ▶ Διερεύνηση Εφαρμογών

▀ ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ!

«Το έργο συγχρηματοδοτείται από την Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού, Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση», στο πλαίσιο της Πράξης «Ενίσχυση του ανθρώπινου ερευνητικού δυναμικού μέσω της υλοποίησης διδακτορικής έρευνας» (MIS-5000432), που υλοποιεί το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών (ΙΚΥ)»



ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ:

- (C1.) N.D. Tsigkri-DeSmedt, et al., Procedia Computer Science, Vol.66, 13-22, (2015),
- (J1.) N.D. Tsigkri-DeSmedt, et al. EPJST Springer 225 (5) (2016)
- (J2.) N.D. Tsigkri-DeSmedt et al. Eur. Phys. J.B 90:139 (2017)
- (J3.) N.D. Tsigkri-DeSmedt et al. Eur. Phys. J.B 91:305 (2018)