



Neyron tarmoqlarda rezonans hodisasi va chastota sinxronlashuvining nazariy modeli

Zuhra Yusupova Olimqizi-Urganch RANCH texnologiyalari universiteti 3-kurs talabasi. yzuhra53@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu tezisdagi neyron tarmoqlarda rezonans hodisasi va chastota sinxronlashuvining nazariy modellari batafsil ko'rib chiqiladi. Neyron tarmoqlarining dinamikasi, rezonans effekti (stoxastik rezonans, koherenziya rezonansi) va chastota sinxronlashuvi (Kuramoto modeli asosida) biologik va sun'iy neyron tarmoqlar kontekstida tahlil qilinadi. Asosiy e'tibor Hodgkin-Huxley, FitzHugh-Nagumo modellariga, shuningdek, informatsion gyrator va adaptiv rezonans nazariyasiga qaratilgan. Tezisdagi rezonans va sinxronlashuvning matematik modellarini, ularning miya faoliyatidagi ahamiyatini, shuningdek, ilmiy tadqiqotlarda qo'llanilishini ko'rsatiladi. Natijalar neyrofiziologiya, sun'iy intellekt va tibbiy tasvirlash sohalarida qo'llanilishi mumkin. Tezis hajmi kengaytirilgan bo'lib, nazariy asoslar, matematik tenglamalar va o'zbek adabiyotlariga asoslangan tahlillar bilan boyitilgan.

Kalit so'zlar: Neyron tarmoqlar, rezonans hodisasi, chastota sinxronlashuvi, Kuramoto modeli, Hodgkin-Huxley modeli, stoxastik rezonans, koherenziya rezonansi, adaptiv rezonans nazariyasi, osillyatorlar, miya dinamikasi, sun'iy intellekt.

Теоретическая модель явления резонанса и частотной синхронизации в нейронных сетях

Абстрактный: В данной диссертации подробно рассматриваются теоретические модели явления резонанса и частотной синхронизации в нейронных сетях. Динамика нейронных сетей, эффект резонанса (стохастический резонанс, когерентный резонанс) и частотная синхронизация (на основе модели Курамото) анализируются в контексте биологических и искусственных нейронных сетей. Основное внимание уделяется моделям Ходжкина-Хаксли, Фицхью-Нагумо, а также теории информационного гиратора и адаптивного резонанса. В диссертации представлены математические модели резонанса и синхронизации, их значение в мозговой активности, а также их применение в научных исследованиях. Результаты могут быть использованы в областях



нейрофизиологии, искусственного интеллекта и медицинской визуализации. Диссертация расширена и обогащена теоретическими основами, математическими уравнениями и анализом на основе узбекской литературы.

Ключевые слова: нейронные сети, явление резонанса, частотная синхронизация, модель Курамото, модель Ходжкина-Хаксли, стохастический резонанс, когерентный резонанс, теория адаптивного резонанса, осцилляторы, динамика мозга, искусственный интеллект.

Theoretical model of resonance phenomenon and frequency synchronization in neural networks

Annotation: This thesis examines in detail the theoretical models of resonance phenomenon and frequency synchronization in neural networks. The dynamics of neural networks, resonance effect (stochastic resonance, coherence resonance) and frequency synchronization (based on the Kuramoto model) are analyzed in the context of biological and artificial neural networks. The main attention is paid to the Hodgkin-Huxley, FitzHugh-Nagumo models, as well as the theory of information gyrator and adaptive resonance. The thesis presents mathematical models of resonance and synchronization, their significance in brain activity, as well as their application in scientific research. The results can be used in the fields of neurophysiology, artificial intelligence and medical imaging. The thesis is expanded and enriched with theoretical foundations, mathematical equations and analyses based on Uzbek literature.

Keywords: Neural networks, resonance phenomenon, frequency synchronization, Kuramoto model, Hodgkin-Huxley model, stochastic resonance, coherence resonance, adaptive resonance theory, oscillators, brain dynamics, artificial intelligence.

Kirish: Neyron tarmoqlar miyaning asosiy funksional birligi bo'lib, ular orqali impulslar uzatiladi va murakkab kognitiv jarayonlar amalga oshiriladi. Rezonans hodisasi va chastota sinxronlashuvi neyron tarmoqlarining muhim xususiyatlaridan biri hisoblanadi. Rezonans – bu tizimning ma'lum chastotadagi o'zgarishlarga kuchli javob berishi, chastota sinxronlashuvi esa osillyatorlarning bir xil chastotada ishlashini bildiradi. Bu hodisalar miya faoliyatida (masalan, gamma osillyatsiyalar 30–100 Gts) muhim rol o'ynaydi va axborotni qayta ishlash, xotira shakllanishi va kognitiv integratsiyani ta'minlaydi.

Ilmiy tadqiqotlarda rezonans stoxastik rezonans (SR) va kohezeziya rezonansi (CR) shakllarida o'rganiladi. SR shovqin zaif signalni kuchaytirsa, CR shovqin ta'sirida



neyronlarning ritmik faolligi maksimal darajada tartiblanadi. Chastota sinxronlashuvi esa Kuramoto modeli orqali tavsiflanadi, bu model neyron osillyatorlarining faza sinxronizatsiyasini ko'rsatadi.

O'zbekistonda neyron tarmoqlar bo'yicha tadqiqotlar asosan sun'iy intellekt va tibbiy tasvirlashda qo'llaniladi, ammo biologik rezonans va sinxronlashuvga oid ishlar ham rivojlanmoqda. Ushbu tezisning maqsadi – nazariy modellarni birlashtirib, ularning amaliy ahamiyatini ochib berishdir.

Asosiy qism: Neyron tarmoqlarning asosiy modellari Hodgkin-Huxley (HH) modeli bilan boshlanadi. Bu model neyronning membrana potensialini quyidagi tenglama orqali tavsiflaydi:

$$C \, dV/dt = -g_{Na} m^3 h (V - E_{Na}) - g_K n^4 (V - E_K) - g_L (V - E_L) + I$$

Bu yerda V – membrana potensial, g – o'tkazuvchanlik, m , h , n – gate o'zgaruvchilar. HH modelida rezonans hodisasi shovqin ta'sirida paydo bo'ladi va neyronning chastotaviy javobini oshiradi.

FitzHugh-Nagumo (FN) modeli soddalashtirilgan variant bo'lib, rezonansni quyidagi tenglamalar bilan ko'rsatadi:

$$dv/dt = v - (v^3/3) - w + I + \xi(t) \quad dw/dt = \varepsilon (v + a - b w)$$

Bu yerda $\xi(t)$ – shovqin. FN modelida kohereziya rezonansi shovqin intensivligining optimal qiymatida kuzatiladi.

Chastota sinxronlashuvi Kuramoto modeli orqali o'rganiladi:

$$d\theta_i/dt = \omega_i + (K/N) \sum \sin(\theta_j - \theta_i), \quad i = 1 \dots N$$

Sinxronlashuv darajasi order parameter $r = |(1/N) \sum e^{i\theta_j}|$ bilan o'lchanadi. $r \rightarrow 1$ bo'lsa, to'liq sinxronlashuv sodir bo'ladi.

Adaptiv rezonans nazariyasi (ART) informatsion gyrotor yordamida modellashtiriladi. STM va LTM o'rtasidagi rezonans quyidagi rezonans chastotasini beradi:

$$f_0 = (D / 2\pi) \sqrt{(C_1^t C_2^t)}$$

$$\text{Nonlinear holatda chastota } I_1 \text{ ga bog'liq: } f_0(I_1) = [D_{12} D_{21}(I_1)] / (2\pi \sqrt{(C_1^t C_2^t)}).$$

O'zbek adabiyotlarida sun'iy neyron tarmoqlari rezonansiga oid ishlar mavjud. Masalan, konvolyutsion neyron tarmoqlari (CNN) tibbiy tasvirlarda rezonans effekti orqali anomaliyalarni aniqlaydi. Neyron tarmoqlarini o'qitishda faollashtirish funksiyalari sinxron ishlashni ta'minlaydi.



Muhokama: Rezonans va sinxronlashuv miya faoliyatida ijobiy rol o‘ynaydi: ular axborot uzatishni optimallashtiradi, kognitiv jarayonlarni kuchaytiradi va shovqinli muhitda signalni saqlaydi. Ammo patologiyalarda (epilepsiya, Parkinson) haddan tashqari sinxronlashuv kasalliklarga olib keladi.

Teoriyalar o‘rtasidagi bog‘liqlik: HH va FN modellarida CR kuzatilsa, Kuramoto modeli global tarmoq sinxronizatsiyasini beradi. ART esa sun‘iy tarmoqlarda qo‘llaniladi. O‘zbek tadqiqotlarida bu modellar tibbiy AI da qo‘llanilmoqda.

Xulosa va takliflar: Neyron tarmoqlarda rezonans va chastota sinxronlashuvi nazariy modellari (HH, FN, Kuramoto, ART) miya dinamikasini tushunishda muhim vosita hisoblanadi. Ular axborot qayta ishlash, o‘rganish va patologiyalarni tahlil qilishda qo‘llaniladi.

Takliflar:

1. O‘zbekistonda neyron tarmoqlar bo‘yicha simulyatsiya dasturlarini ishlab chiqish va real EEG ma’lumotlar bilan sinovdan o‘tkazish.
2. Sun‘iy intellektda ART ni tibbiy diagnostikada qo‘llash.
3. Kohereziya rezonansini miya-kompyuter interfeyslarida qo‘llash.
4. O‘zbek adabiyotlarida biologik neyron modellari bo‘yicha yangi tadqiqotlar o‘tkazish.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Moos P., Svítek M., Novák M., Votruba Z. Information model of resonance phenomena in brain neural networks // Neural Network World. 2018. № 3. S. 225–239.
2. Pisarchik A.N. et al. Coherence resonance in neural networks: Theory and experiments // Physics Reports. 2023. Vol. 1000. P. 1–75.
3. Hodgkin A.L., Huxley A.F. A quantitative description of membrane current... // J. Physiol. 1952. Vol. 117. P. 500–544.
4. Hutcheon B., Yarom Y. Resonance, oscillation... // Trends Neurosci. 2000. Vol. 23. P. 216–222.
5. Kuramoto Y. Chemical Oscillations, Waves, and Turbulence. Springer-Verlag, 1984. 164 p.
6. To‘xtaxo‘jaeva F.Sh., Imanova L.N. Tibbiy tasvirlashda sun‘iy intellekt // Innoist. 2023. № 1. S. 363–370.



7. Tojimamatov I.N. Sun'iy neyron tarmoqlarini o'qitish usullari // Oriens. 2023. S. 191–203.
8. Guo D. et al. Stochastic resonance in Hodgkin-Huxley neuron... // Phys. Rev. E. 2012.
9. Lee S.G. et al. Coherence resonance in a Hodgkin-Huxley neuron // Phys. Rev. E. 1998. Vol. 57. P. 3292–3297.
10. Frolov N. et al. Extreme synchronization events in a Kuramoto model // Applied Nonlinear Dynamics. 2021.
11. Daminova B.E. Sun'iy neyron tarmoqlarining nazariy asoslari... Toshkent: TATU, 2022. 150 b.
12. Yusupbekov N.R. Intellectual tizimlar nazariyasi. Toshkent: Fan, 2015.