

Rezonans stochastyczny

Przypadkowe fluktuacje mogą nasilać słabe sygnały **Tanja Bossmann**

Wtedy, gdy słuchając radia, nie chcemy słyszeć szumów, systemy biologiczne wydają się zyskiwać na zakłóceniach. Christian T. Haas w narracyjnym wywiadzie, zaczynającym się od strony 728, przedstawia w skrócie fizjologiczne działanie i rehabilitacyjne potencjały pobudzenia wibracyjnego, zakłócanego szumami. Dowodzi on, że zmienność sygnału podstawowego odgrywa przy tym ważną rolę. Fenomen rezonansu stochastycznego (SR) znany jest w wielu dziedzinach – np. w fizyce, elektrotechnice, biologii i medycynie – ma w odniesieniu do skuteczności pobudzenia wibracyjnego decydujące znaczenie. Dlaczego jednak oscylacje podprogowe z zakłóceniami są lepsze od drgań harmonijnych?

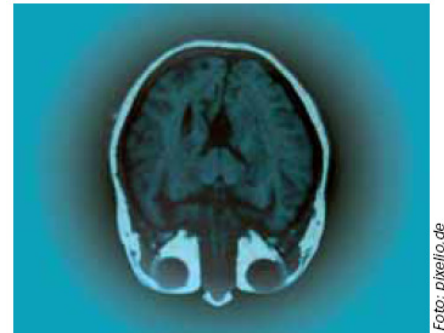
Fenomen ma za podstawę trzy elementy

Rezonans stochastyczny pierwotnie wywodzi się z obliczeń czasu trwania okresów epok lodowcowych dokonanych w latach 80-tych przez geofizyka Roberto Benzi'ego (Benzi et al 1981, Haas et al 2006) i jest obecnie doceniany w wielu dyscyplinach naukowych. W literaturze opisywane są przy tym trzy decydujące aspekty fenomenu rezonansu stochastycznego:

- Szum (noise)
- Obecność sygnałów podprogowych
- Nielinearność, tzn. nie istnieje próg

Peter Hänggi, profesor w Instytucie Fizyki Uniwersytetu w Augsburgu, obrazowo wyjaśnia fenomen rezonansu stochastycznego za pomocą prostego przykładu. – Wyobraźmy sobie kulkę leżącą na wybrzuszeniu kartonu na jajka. Gdy będziemy ostrożnie i w sposób jednorodny kołysać kulkę, nie pokona ona granicy do najbliższego wgłębienia kartonu. Jeżeli jednak dojdzie do tego przypadkowe potrząsanie, może stać się tak, że kulka nagle przetoczy się na następne wybrzuszenie – jednorodna, podprogowa, oscylująca siła przeniesiona zostanie przez nagły ruch.

Zwykle wychodzimy z założenia, że system funkcjonuje tym lepiej, im mniej istnieje źródeł zakłóceń. Szum w radiu jest dla nas objawem negatywnym. Co ciekawe w dynamicznych, nieliniarnych systemach działa to inaczej. Tutaj ich funkcjonalność wskutek szumów może ulec nawet istotnej poprawie. Rezonans stochastyczny, niezależnie od danej dyscypliny, opisuje zachowanie systemów, posiadających kilka wejść i progów funkcjonalnych – przykładem jest ludzki układ nerwowy (Haas et al 2006)



Komórki nerwowe posiadają funkcjonalność progową, a zespoły komórek nerwowych wykazują naturalne zachowanie stochastyczne – są to istotne podstawy fizjologiczne dla zrozumienia fenomenu rezonansu stochastycznego

Komórki nerwowe posiadają funkcjonalność progową

Podstawą zrozumienia tego fenomenu u ludzi jest fakt, że komórki nerwowe działają zgodnie z prawem „wszystko albo nic”.

Gdy tylko potencjał spoczynkowy ulegnie depolaryzacji do potencjału progowego wysokości ok. -50mV, powstaje potencjał czynnościowy. Ponadto, Christian T. Haas w swojej pracy przeglądowej w tym wydaniu ukazuje, że zespoły komórek nerwowych człowieka wykazują naturalne stochastyczne, czyli przypadkowe, zachowanie. Jeżeli na człowieka zadziała więc słaby sygnał posiadający również elementy stochastyczne, dochodzi do krótkotrwałych interferencji – nakładania się – i w ten sposób może dojść do przekroczenia progu wymaganego dla powstania potencjału czynnościowego. Tym samym zwykle podprogowe pobudzenie jest czulej rejestrowane.

Charakter stochastyczny jest istotny, gdyż komórki nerwowe bardzo szybko dostosowują się do stałego pobudzenia. Na co dzień można to zaobserwować w przypadku ubrań, których prawie nie odczuwa się na skórze. Jeżeli jednak na sygnały nakładają się szумы o przypadkowym charakterze, komórki nerwowe nie mogą się zaadaptować i dlatego wystawione są stale na działanie nowych bodźców. Na podstawie modelu komórki nerwowej Haas et al (2006) prezentują zróżnicowane działania sygnałów sinusoidalnych i SR przy poza tym identycznej amplitudzie podstawowej. Stymulacja jednorodnymi sygnałami sinusoidalnymi prowadzi jedynie do stanów aktywacji poniżej progu depolaryzacji. Bodziec SR prowadzi z kolei do wielu nadprogowych aktywności i tym samym do generowania potencjałów aktywności. Na płaszczyźnie mikro znajdują się bodźce o charakterze SR w powiązaniu z uwalnianiem czynników neurotroficzných oraz pobudzeniem wzrostu kości.

Nawet jeśli bodźce wibracyjne mają wpływ na wielu płaszczyznach biologicznych, a ich efektów nie można ocenić z góry, fenomen rezonansu stochastycznego wydaje się jednak odgrywać decydującą rolę dla ich skuteczności.

- Haas CT, Turbanski S, Markitz S, Kaiser I, Schmidbleicher D. 2006. Stochastische Resonanz in der Therapie von Bewegungsstörungen. *Bewegungstherapie u Gesundheitssport* 2: 258-61
- Haas CT, Turbanski S, Schmidbleicher D. 2004. Biomechanische und physiologische Effekte mechanischer Schwingungsreize beim Menschen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 55, 2: 34-43
- Hänggi P. 2001. Stochastische Resonanz: Rauschenmacht sensibel. *Physikalische Blätter* 57,1: 15-6
- Harry JD, Niemi JB, Priplata AA, Collins JJ. 2005. Balancing act. *IEEE Spectrum* 4: 36-41
- Moss F, Ward LM, Sannita WG. 2004: Stochastic resonance and sensory information processing: a tutorial and review of application. *Clinical Neurophysiology* 115: 267-81
- Dudel J. 2000. *Informationsvermittlung durch elektrische Erregung*. In *Physiologie des Menschen*. ed. RF Schmidt, G Thews, F Lang. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag

LITERATURA

- Benzi R, Sutera A, Vulpiani A. 1981. The mechanism of stochastic resonance. *J Phys A Mathemat Gen* 14: L453-7