

Stimulus-induzierte Desynchronisation von gekoppelten Oszillatoren mit Zeitverzögerung: Theorie und Anwendung bei neurologischen Patienten

Valerii Krachkovskiy (v.krachkovskiy@fz-juelich.de)

Der Verfasser untersucht in dieser Dissertation Systeme von Phasenoszillatoren, welche miteinander mit einer Zeitverzögerung gekoppelt sind. Die Systeme werden in Form von Differentialgleichungen beschrieben. Diese Systeme dienen als Modelle gewisser Aspekte der neuronalen Prozesse bei neurologischen Patienten (z.B. bei Parkinson Erkrankung). Sie werden mittels einer externen Stimulation kontrolliert, wobei die Stimulation durch einen zusätzlichen Glied in den Gleichungen repräsentiert wird. Mögliche dynamische Regime werden mit der Hilfe analytischer Methoden, z.B. der Bifurkationstheorie, und Computersimulationen untersucht; die Erforschung der Synchronisation ist eines der Hauptziele.

Im ersten Teil der Arbeit werden zwei Phasenoszillatoren betrachtet, die die Phasendynamik von zwei instantan interagierenden Funktionseinheiten mit zeitverzögerter Selbstkopplung modellieren. Dieses System wird mittels einer externen Kurzpuls-Stimulation beeinflusst. Der starke Reiz ruft einen Reset der Phasen hervor, gefolgt von weiteren Übergangsprozessen zu mehreren synchronen Zuständen. Die reizinduzierte, transiente Antwort der Dynamik der Oszillatoren in den verschiedenen synchronen Regimen wird untersucht. Es wird gezeigt, dass in Abhängigkeit von den Stimulationsparametern, die Reizantwort des Systems verschiedene Formen annehmen kann: von einer Klusterbildung der Reizantwort bis zur einer kompletten Desynchronisation. Die Mechanismen der Klusterbildung der Reizantwort während und nach der Stimulation werden erklärt. Die Rolle der stabilen Mannigfaltigkeit des Sattelpunkts in der Klusterbildung wird erläutert. Die stimulus-induzierte Umschaltung zwischen koexistierenden, stabilen, synchronen Zuständen und auch desynchronen Zuständen wird illustriert.

Das zweite Modell, das betrachtet wird, ist ein System von zwei gekoppelten Oszillatoren, die die Phasendynamik von zwei interagierenden neuronalen Populationen mit einer Zeitverzögerung modellieren. Nur einer der Oszillatoren wird mittels einer externen Kurzpulse-Stimulation stimuliert und beide Oszillatoren werden von Rauschen beeinflusst. Untersucht werden die Reizantwort des stimulierten Oszillators und die Reiztransmission an den zweiten Oszillator (zwischen zwei beispielhaften Gehirnarealen). Der Autor schlägt die neue Technik für die Auswertung von stimulus-induzierten Antworten und der Transmissionszeit vor. Diese Technik wird mit den Standardmethoden, welche auf Mittelungsverfahren basieren, verglichen. Es wird gezeigt, dass sich die Standardtechniken eher auf die oszillatorische Dynamik beziehen als auf Transmissionsphänomene. Im Gegensatz zur Standardtechnik ist die vorgeschlagene Methode nicht nur für die Ermittlung der Transmissionszeit sondern auch für die Ermittlung der Zeitverzögerung im System geeignet.