

Abstract:

In the present work, a peculiar type of partial synchronization pattern called chimera states is investigated. Discovered in the early 2000s, these hybrid states are made up of spatially separated domains of synchronized and desynchronized behavior. They arise surprisingly in networks of completely identical units and symmetric coupling topologies. Chimera states have been investigated both theoretically and experimentally and have wide-range applications in physics, biology, chemistry, and engineering. These intriguing patterns are named after a fabulous fire-breathing creature from Greek mythology that has a lion's, a goat's, and a snake's head. Like the counter-intuitive dynamical state, this monster is also composed of incongruous parts. This habilitation thesis explores the formation of chimera states in various dynamical systems and networks with different topologies. Moreover, it discusses the role of time delay and stochasticity that arise naturally in real-world systems. We investigate how the interplay of nonlinearity with network topology, time delay, and noise leads to a plethora of complex phenomena. In particular, we focus on the new dynamical behavior induced by noise and time delay. Furthermore, we address the question of robustness and control of chimera states that is especially relevant from the point of view of experiments and applications. We discover special types of chimera states such as amplitude chimeras and chimera death in networks of Stuart-Landau oscillators, and coherence-resonance chimeras in networks of FitzHugh-Nagumo neurons. Finally, we study the occurrence of chimera states in complex network structures including nonlocally coupled rings, multiplex networks, networks with power law coupling kernel and networks with fractal connectivities.

Zusammenfassung:

In dieser Arbeit werden besondere partielle Synchronisationsmuster untersucht die Chimera-Zustände genannt werden. Diese Hybridzustände bestehen aus räumlich getrennten synchronisierten und desynchronisierten Bereichen und wurden in den frühen 2000er Jahren entdeckt. Überraschenderweise entstehen sie in Netzwerken, die aus identischen Einheiten und symmetrischen Kopplungstopologien bestehen. Chimera-Zustände wurden sowohl theoretisch als auch experimentell untersucht und bieten viele Anwendungsmöglichkeiten in Physik, Biologie, Chemie und Ingenieurwissenschaften. Diese faszinierenden Zustände wurden nach einem feuerspuckenden Fabelwesen aus der altgriechischen Mythologie benannt, welches den Kopf eines Löwen, einer Ziege und einer Schlange besitzt. Wie dieses Monster, besteht auch der kontraintuitive dynamische Zustand aus nicht-zusammenpassenden Teilen. Diese Habilitationsschrift behandelt die Entstehung von Chimera-Zuständen in unterschiedlichen dynamischen Systemen und Netzwerken mit unterschiedlichen Topologien. Außerdem wird der Einfluss von Zeitverzögerung und Rauschen diskutiert, welche in den meisten realen Systemen auftauchen. Wir untersuchen, wie das Zusammenspiel der Nichtlinearität mit der Netzwerktopologie, der Zeitverzögerung und dem Rauschen zu einer Vielzahl von komplexen Phänomenen führt. Vor allem konzentrieren wir uns auf Abweichungen der Dynamik, welche durch Zeitverzögerung und Rauschen induziert wurde. Weiterhin behandeln wir die Robustheit und Kontrolle von Chimera-Zuständen, die besonders für Experimente und Anwendungen von großer Bedeutung sind. Wir entdecken spezielle Typen von Chimera-Zuständen: "amplitude chimera" und "chimera death" in Netzwerken von Stuart-Landau Oszillatoren und "coherence-resonance chimera" in Netzwerken von FitzHugh-Nagumo Oszillatoren. Schließlich untersuchen wir das Auftreten von Chimera-Zuständen in komplexen Netzwerken wie nicht-lokal gekoppelte Ringe, Multiplex-Netzwerke, Netzwerke mit einem Kopplungskern des Potenzgesetzes und Netzwerke mit fraktalen Konnektivitäten.