

Selbstorganisation und Emergenz

Annett Huck, 20.08.2004, Ftan

1. Selbstorganisation — Beobachtung

- offene, gleichgewichtsferne und deshalb nichtlineare Systeme weisen geordnete zeitliche, räumliche oder funktionale Struktur als Folge kooperativer innerer Wechselwirkungen auf

- zweiter Hauptsatz der Thermodynamik

vs.

spontane Strukturbildung in unbelebten Systemen

1.1. Bénard-Effekt:

- Flüssigkeitsschicht: von unten erhitzen, oben feste niedrige Temp.
- bei kleinen Temperaturdifferenzen: makroskopisch in Ruhe, Energietransport durch Wärmeleitung
- oberhalb kritischer Temperaturdifferenz: spontane Konvektion in Form von hexagonalen Rollzellen; Muster: Streifen und Wellen, Konvektionsrollen in Größenordnung wie die Schichtdicke (mm bis cm); höhere Rayleigh-Zahl: Einstetzen von Oszillation der Rollen
- Geometrie der Konvektionszellen nicht von außen aufgeprägt
- Beispiele: Wolkenformen, Granulation der Sonnenoberfläche, Tasse Kaffee/Kakao

1.2. Laser:

- bei niedriger Pumprate: alle Atome emittieren unabhängig voneinander, geringe Leistung wie „Lampe“;
- oberhalb kritischer Pumprate: alle Atome oszillieren spontan phasengleich, Emission eines kohärenten Wellenzuges, ausgesandte Leistung hoch, als „Laser“
- makroskopische Strukturbildung in Form kohärenten Laserlichts sobald die Rückkopplung die Verluste überwiegt
- Rauschen \rightarrow kohärente Oszillation in Frequenz ω_1 \rightarrow periodische Pulse in Frequenz ω_2 welche die Oszillationen in Frequenz ω_1 modulieren

1.3. Flüssigkeiten: dynamische Muster — Taylor Instabilitäten:

- Versuchsaufbau: Flüssigkeit zwischen zwei coaxialen Zylindern, äußerer Zylinder ist fest und transparent, innerer Zylinder rotiert
- langsame Bewegung: koaxiale Strömungslinien, Reibung „zieht“ die Flüssigkeit mit dem Zylinder mit
- Überschreiten einer speziellen Geschwindigkeit (Taylor-Zahl): horizontale Schichten von Rollen bilden sich aus, in welcher sich die Moleküle periodisch nach innen und nach außen bewegen
- zweite kritische Geschwindigkeit: die Rollen beginnen in einer Basisfrequenz zu oszillieren
- weitere Taylor-Zahlen: Oszillation der Rollen mit zusätzlicher zweiter Frequenz

- höherer Taylor-Zahlen: chaotische Bewegung
- das Phänomen heißt Perioden-Verdopplung, da die zusätzlichen Frequenzen jeweils $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, ... der Basisfrequenz sind
- typisch für Selbstorganisation:
Änderung von äußeren Parametern (Rotationsgeschwindigkeit) verursacht eine Hierarchie von Mustern, obwohl das Muster nicht durch irgendwelche Mittel von außen gegeben ist; die Muster werden in ihrer zeitlichen und räumlichen Struktur zunehmend komplizierter

1.4. Kohonen, Teuvo: Self-organizing Maps; 1997 Ritter, Helge: Neuronale Netze: eine Einführung in die Neuroinformatik selbstorganisierter Netzwerke, 1994

Neurophysiologische Motivation:

- zweidimensionale Neuronenschicht A, eingehendes Signal durch Axone mit den Neuronen verbunden
- Eingang des Signals \longrightarrow Erregung der Neuronen
- Neuronen stehen auch untereinander über Synapsen in Verbindung, dadurch Rückkopplung der Schicht auf sich selbst
- Umfeldhemmung: auf kurze Distanz erregende, auf lange Distanz hemmende Beeinflussung der Nachbarneuronen

Kohonens Modell:

1. Initialisierung: Starte mit geeigneten Anfangswerten für die Synapsenstärken w_{rl} . In Abwesenheit irgendwelcher a-priori-Informationen können die w_{rl} z.B. zufällig gewählt werden.
2. Stimuluswahl: Wähle entsprechend der Wahrscheinlichkeitsdichte $P(v)$ einen zufälligen Vektor v , der ein „sensorisches“ Signal repräsentiert.
3. Response: Bestimme das entsprechende Erregungszentrum r' aus der Bedingung
$$\|v - w_{r'}\| \leq \|v - w_r\| \quad \forall r \in A .$$
4. Adaptationsschritt: Führe einen Lernschritt durch Veränderung der Synapsenstärke gemäß
$$w_r^{neu} = w_r^{alt} + \epsilon h_{rr'}(v - w_r^{alt})$$
 aus und fahre mit Schritt 2. fort.

- Markovprozess:
 $X_t : \Omega = \{\text{Eingangssignale mit } P(v)\} \longrightarrow$
Zustand der Neuronenschicht; Auswahlwahrscheinlichkeiten für jeden Übergang sind feste Größen, die nur vom jeweiligen Vorgänger abhängen
- topologieerhaltende Merkmalskarten
- Karte berücksichtigt das statistische Gewicht $P(v)$ der eingegangene Reize; Regionen von V , aus denen viele Eingangssignale hervorgingen, werden größer und damit in höherer Auflösung abgebildet, als Ursprungsgebiete seltener Signale

2. Eigenschaften von Selbstorganisation

2.1. Existenzbedingungen für dissipative Strukturen:

- Offenheit des Systems, Stoff- und Energieaustausch mit der Umgebung, Energiebilanz quantitativ ausgeglichen, Entropieexport
- Nichtlinearität der Dynamik
- Überschreiten kritischer Parameterwerte, insbesondere eines Mindestabstandes vom Gleichgewicht
- Kooperativität der Mikroprozesse
- Auftreten geeigneter Fluktuationen / zufälliger kleiner Störungen

2.2. Definitionsversuche:

Haken (Advanced Synergetics, 1983): Änderung der Umgebung / Überschreiten kritischer Werte führt zur Ausbildung von höheren Mustern / neuer Zustände, die entstehen, obwohl die Umgebung völlig homogen agiert

Jetschke (Mathematik der Selbstorg, 1989): ein Syst. unterliegt einem selbstorganisierten Übergang wenn die Symmetriegruppe seiner Dynamik zu einer weniger symmetrischen wechselt (Bsp: Phasenübergang)

Erweiterung auf System im thermodynamischen Ungleichgewicht: Phasenübergang \rightarrow Ordnungsparametern (Ordnungsparameter charakterisieren die Abweichung in einem geordneten Zustand von einem ungeordneten System; messen An- oder Abwesenheit von Symmetrie, müssen explizit zu einem System konstruiert werden)

Polani (diverse Paper, 2003, 2004): Organisationsinformation mit Beobachter

3. Der Begriff der Emergenz

Ideen von:

- Crutchfield: The calculi of emergence: Computation, dynamics and introduction, 1994
- Baas, Emmeche: On Emergence and Explanation, 1997

Wie kommt Neues in die Welt? Wenn ich ein Modell von der Welt habe, wie kann ich damit Innovation erkennen?

3.1. Intuitive Definition von Emergenz: „etwas Neues erscheint / tritt auf“

- Formation von Fischeschärme und Vögelscharen, Ameisenkolonien — komplexe Verhalten und komplexe Staatenbildung ohne Direktor
- Preisbildung in einer Wirtschaft scheint von Agenten, die den lokalen Wirtschaftsregeln folgen, ausgehend zu entstehen
- menschliche Farbwahrnehmung, abhängig von den umliegenden Farben, keine reine Spektralzerlegung von räumlich-lokalisierter Retinadetektoren
- menschliches Formsehen, abhängig von topologischen Eigenschaften, wie z.B. ob eine Kurve offen oder geschlossen ist

Emergenz = Prozess der zur Erscheinung
/ zum Auftauchen von Strukturen führt,

die nicht direkt durch die definierenden
Rahmenbedingungen und augenblicklich
wirkenden Kräfte (die das System kontrol-
lieren) beschrieben werden.

Eine emergente Eigenschaft lässt sich
nicht explizit durch die Anfangs- und Rah-
menbedingungen erfassen.

3.2. Musterbildung: Äußerer Beobachter identifiziert „Organisation“ in einem dynamischen System

- Emergenz von deterministischem Chaos
 - Kompliziertheit führt zu Nichtmessbarkeit und Nichtberechenbarkeit des Beobachters
 - Woher kommt in dem Deterministischen das Chaos? Kompliziertheit des Systems + Beschränktheit des Beobachters
- Self-avoiding random walk
 - 2-dimensional, jeder neue Schritt in zufällig Richtung außer zurück
 - es entsteht eine selbstähnliche geordnete Weg-Struktur

Vergleich:

- in beiden Beispielen entsteht das Gegenteil zum ursprünglichen Charakter des Systems:
- 1. vollständiger Determinismus \rightarrow Unvorhersehbarkeit, Chaos;
- 2. Stochastizität \rightarrow Selbstähnlichkeit

Beobachter:

- die „Neuigkeit“ daran entsteht im Auge des Beobachters / Betrachters, denn der Beobachter stellt fest, dass seine Voraussagen versagen, und der Beobachter erkennt sich neu bildende Muster
- historische Beispiele für Leugnen von Mustern: Belousov-Zhabotinsky-Reaktion, kohärente Strukturen in hochturbulenten Flüssen, ... die Muster waren auch schon vorher da, wurden jedoch nicht wahrgenommen / gewürdigt
- der Beobachter verleiht das teleologische „Selbst-“ solchen Prozessen, die sich sonst einfach entsprechend der unterliegenden dynamischen Zwangsbedingungen „organisieren“

3.3. Eigentliche / Innere Emergenz: das System selbst nutzt entstehende Muster aus

- Musterbildung ist nicht genügend, um den essentiellen Kern von koordiniertem Verhalten und globaler Datenverarbeitung zu erfassen (Fischschwarm, Vogelschar, Ameisenkolonie, Finanzmarkt, Form- und Farbwahrnehmung)
- Problem: die „Neuigkeit“ bei der Emergenz von Mustern wird somit nach außerhalb des Systems verwiesen, zu einem Beobachter, der durch eine feste Palette möglicher Gesetze die Struktur vorwegnimmt (a receiver with already a codebook in hand)
- Ein Signal, was somit nicht decodierbar ist, ist Rauschen / Störung und hat keine erkennbare Struktur für den Beobachter

Eigenschaften über Musterbildung hinaus:

- die „Neuigkeit“ bezieht sich auf die anderen Strukturen im darunterliegenden System
- Emergenz nicht auf einen äußeren Beobachter verweisen, deshalb: intrinsic (=innere, eigentliche) Emergenz
- z.B. für Händler im Finanzmarkt ist die Preisbildung (fully reflecting all available information) Basis für ihr nächsten Handlungen
- die neue Struktur überträgt zusätzliche Funktionalität, was globale Informationsverarbeitung fördert (z.B. Preisbildung)

Hypothese: während innerer Emergenz steigt die innere Rechenfähigkeit, welche man ausnutzen kann, damit: steigender Funktionalität

3.4. Andere Klassifizierung von Emergenz

Ableitbare Emergenz

- „Ein Auto ist mehr als die Summe seiner Teile.“

Beobachtete Emergenz

- Bewusstsein ist durch die reine Neuro-
nentätigkeit nicht erfassbar
- Statistische Eigenschaften sind von den
einzelnen Komponenten nicht ableitbar