

Über die Kausalität

Einleitung

Während man normalerweise die Frage stellt wie etwas funktioniert, möchte ich hier das eine oder andere Konzept wie „funktionieren“ funktionieren kann vorstellen.

Aufgrund meiner Profession als Software Entwickler, beschäftige ich mich viel damit wie etwas funktioniert bzw. funktionieren muss um ein spezifisches Problem zu lösen oder eine virtuelle aber auch reale Umgebung zu schaffen.

Speziell in der heutigen Zeit der „multicore“ Prozessoren, des Internets und dem Bedarf an hochkomplexer Software stellt uns das klassische Ausführungsmodell vor spürbare Probleme.

Daher werde ich versuchen hier die von mir bisher identifizierten Konzepte von Kausalität, welche schon seit geraumer Zeit Teil meiner Anschauung sind, festzuhalten und ihre Charakteristika zu umreißen.

Die Kausalität

„**Kausalität** (lat. *causa* „Ursache“) ist die Beziehung zwischen *Ursache* und *Wirkung*, betrifft also die Abfolge aufeinander bezogener Ereignisse und Zustände. Oder: Ein **Ereignis** oder der Zustand *A* ist die Ursache für die Wirkung *B*, wenn *B* von *A* herbeigeführt wird.“ Wikipedia

Da ich diese Definition als Ungenau empfinde möchte ich diese hier etwas umdefinieren zu:

„Kausalität ist die Notwendigkeit als Folge einer Informationsänderung innerhalb eines Systems eine Information zu verändern“. Zustandsänderung impliziert eine Zustandsänderung. Diese Informationsänderungen nennt man eine Wirkung.

Also: **Wirkung ==> Wirkung**

Der kausale Fluss

Ein kausaler Fluss ist schlicht die Fortführung der Kausalität:

Wirkung ==> Wirkung ==> Wirkung ==> ...

Die Synchronität

Systeme können eine Synchronität aufweisen. Diese besagt in welchem Teil eines Systems sich eine bestimmte Wirkung synchron auswirken muss. Ein Beispiel wäre eine Kraftwirkung auf einen elastischen Ball. Während der Wirkung anliegende Teile des Balls direkt also synchron betroffen sind, sind nicht direkt anliegende Teile erst in Folge betroffen. Im Gegensatz zum plastischen Ball dessen entfernteste Teile ebenfalls sofort betroffen wären.

Die Macht einer Wirkung

Die Macht einer Wirkung ist ein Maß der durch eine Wirkung verursachten Informationsänderung. Hier muss man zwischen direkter und indirekter Macht differenzieren. Die direkte Macht ist synchrone Informationsänderung. Während die indirekte Macht der asynchrone Teil der Informationsänderung ist.

Ein Gedankenexperiment hierzu wären das Newtonpendel mit 6 Kugeln. Nehmen wir an, die Kugeln wären Perfekt plastisch, so findet die Wirkung zwischen Kugel A und B statt wirkt sich jedoch direkt auf alle anderen Kugeln bis zu Kugel F aus. Die Bewegung von Kugel F hingegen ist indirekte Macht.

Der Tick

Als Tick bezeichnen wir eine anhand von Kriterien definierte Zustandsänderung eines Systems welche von *n* Wirkungen verursacht wird.

Die Zeit

Während wir Zeit als einen nicht fassbaren integralen Grundbaustein unserer Welt betrachten, kennt das kausale System „Zeit“ nur als Ausdruck der Kausalität. Das was geschieht geschieht nicht innerhalb einer gewissen Zeit. Zeit ist hier „nur“ ein Ausdruck der direkten Macht der Wirkungen im Rahmen einer Betrachtung, also wie viel Information in einem Tick verändert wird.

Betrachten wir also ein System in welchem viel Information verändert werden muss um das System von Zustand A in Zustand B zu überführen so wird die Zeit hier „langsamer“ vergehen als in einem System in welchem weniger Information verändert werden muss um den selben Effekt zu erzielen.

Wird eine mechanische Uhr also auf der Sonnenoberfläche ticken, so wird sie dies im Vergleich zu einer Uhr auf der Erde langsamer tun, da die Beziehungsinformation des Materials zur umgebenden Materie weitaus umfangreicher ist und somit die Zustandsänderung eine größere Informationsänderung bewirken muss, wobei mit zunehmenden Abstand (r^2) die Quantität der Änderungen selbst kleiner werden und die Uhr somit auch mit zunehmender Distanz schneller tickt.

Das System

Wir können entsprechend der Natur des kausalen Flusses zwischen diskreten und stetigen Systemen unterscheiden.

Hier muss beachtet werden, dass der stetige Fall eine schwer fassbare Eigenschaft aufweist, eben die Stetigkeit, welche wir hier erst in einer späteren Fassung dieses Dokuments behandeln werden.

Die Information

Die atomare Information

Als atomare Information betrachten wir eine einzelne nicht weiter präzierte Aussage über das Objekt unserer Betrachtung. Kurz eine Eigenschaft.

Die Informationseinheit (Entität)

Als Entität betrachten wir eine Gruppe von Informationen. Eine Entität wäre zum Beispiel ein Massepunkt dessen atomare Information hier Masse und Position wären.

Die kohärente Information

Als kohärente Information betrachten wir eine oder mehrere atomare Informationen, welche durch isoliert betrachtete Wirkung im Sinne des Eingabe/Ausgabe Prinzips verbunden sind. Ein kausaler Fluss an einer einzigen kohärenten Information deren atomare Bestandteile nicht Teil einer anderen kohärenten Information sind, kann zu einer einzigen Wirkung abstrahiert/integriert werden.

Die geteilte atomare Information

Eine atomare Information kann Teil mehrerer kohärenter Informationen sein und bildet somit die Grundlage der Interaktion nichtlinearer Systeme.

Das lineare System

Sowohl diskrete als auch stetige lineare Systeme bestehen aus genau einem linearen, also verzweigungsfreien, kausalen Fluss.

Das lineare System besteht aus genau einer kohärenten Information.

Beispiele

- Das strikt sequentielle (singlethreaded) Programm ist genau eine Abfolge von Wirkungen auf eine kohärente Information. Die kohärente Information wäre hier der Inhalt des globalen Scopes und der daraufgelegten Scopes.
- Ein System zweier miteinander wechselwirkender Massepunkte ist genau ein kausaler Fluss. Die Informationen über Masse und Position eines jeden Massepunktes können zu einer Entität zusammengefasst werden.
Die kohärente Information wäre hier Masse und Position beider Massepunkte. Also die Menge der für diese Wirkung relevanten atomaren Informationen von M1 und M2.
Die Abstraktion erfolgt hier üblicherweise in Form einer Integration.

Zeit im linearen System

In solchen Systemen ist die Zeit als lineares „ticken“ von Wirkungen sehr einfach gestrickt und somit gut greifbar. Zur Anschauung können wir die Idee einer Uhr in egal welcher Ausprägung betrachten.

Egal ob wir von einer Sanduhr, einer mechanischen, einer Quartz- oder Atomuhr sprechen, müssen wir nach eingehender Betrachtung feststellen, dass der Schöpfer dieser Uhr darauf bedacht war die Vorgänge innerhalb der Uhr auf eine einzige kohärente Information zu reduzieren und somit ein möglichst isoliertes lineares System herzustellen.

Auf der einen Seite werden aufgrund der Bauweise nicht lineare Vorgänge z.B. im Material einen gewissen „nicht Determinismus“ also Ungenauigkeit hervorrufen.

Während also die mechanische Uhr auf ein möglichst homogenes aber auch massearmes Material angewiesen ist, welches möglichst wenig nichtlineare Einflüsse an das lineare System des Uhrwerks weitergibt und andererseits möglichst wenig direkte Macht erfordert, ist die Atomuhr die genaueste und am feinsten granulierte da es hier am wenigsten Nichtlinearität und Information im System gibt und somit das „Uhrwerk“ den geringsten Einflüssen unterliegt und am wenigsten Information pro Tick verändern muss.

Auf der anderen Seite kann eine solche Uhr nicht vollständig isoliert werden und wird den „großen“ nicht linearen Einflüssen der Umwelt wie der Gravitation, der Beschleunigungskräfte und anderer unterliegen wodurch „große“ direkte Macht zur Zustandsänderung gewirkt werden muss. Daraus ergibt sich, dass betrachtete Uhr in unterschiedlichen Umgebungen unterschiedlich „schnell“ tickt.

Nichtlineare Systeme (nLS)

Wirklich interessant wird ein kausaler Fluss innerhalb nichtlinearer Systeme. Während das ideale lineare System aus einer einzigen kohärenten Information besteht, besteht das nicht lineare System aus mindestens zwei kohärenten Informationen von welchen mindestens zwei eine geteilte atomare Information gemein haben. Die geteilte Information dient hier als Verbindungsglied zwischen den kausalen Flüssen.

Im nichtlinearen unterscheiden wir mindestens zwei mögliche Systemtypen welche als Aussagen über die Natur der geteilten Information zu verstehen sind.

Zeit im nichtlinearen System

Im nLS ist Zeit hochgradig asymmetrisch und hängt vom jeweiligen Tick und seiner Umgebung ab. Jedoch können große in bestimmten Aspekten homogene Systeme als eine Art Machtstabilisator fungieren indem sie kleinen Wirkungen die Notwendigkeit großer direkter Macht aufzwingen wodurch die Differenz zwischen der direkten Macht der einen und der direkten Macht der anderen Wirkung im Verhältnis zur benötigten direkten Macht „vernachlässigbar“ wird.

Das wirkgetriebene nichtlineare System

In einem wirkgetriebenen nLS stellen die geteilten Informationen einen Teil von beschreibenden Entitäten dar. Dieses nLS ist Grundlage für Abstraktionen wie dem signalgetriebenen nLS.

Ein Beispiel wären drei Massepunkte welche miteinander interagieren. In einem solchen System gibt es drei kohärente Informationen. Hier teilen immer zwei kohärente Informationen atomare Information welche Teil eines Massepunktes ist.

Das signalgetriebene nichtlineare System

In einem signalgetriebenen nLS stellen die geteilten Informationen eigens dafür definierte Entitäten also Signale dar. Hierbei handelt es sich um eine Abstraktion des wirkungsgetriebenen nichtlinearen Systems. Das signalgetriebene nLS zeichnet sich durch die Entkopplung der nicht signalisierenden Entitäten aus. Dieser Umstand erlaubt Wirkungen mit minimaler direkter aber großer indirekter Macht.

Ein Beispiel hierfür wären drei miteinander kommunizierende Menschen. Dieses System besteht aus sechs kohärenten Informationen wobei die geteilten Informationen einzig die atomare Information der Signale ist. Während die Wirkung des Aktes des Kommunizierens kaum Auswirkungen hat, kann die Wirkung der Kommunikation selber enorme Auswirkungen haben.

Es scheint, dass die Natur selber eine Vielzahl signalgetriebener nLS herausgebildet hat. Wir brauchen nur uns selber oder aber auch unsere Welt betrachten und werden unzählige Beispiele finden. Durch die Verlagerung der Macht ins indirekte liegen die Vorteile eines solchen nLS allerdings auch klar auf der Hand.

In der Informatik bietet uns das signalgetriebene nLS die Möglichkeit bereits existierende signalgetriebene Ressourcen neu zu betrachten und zu nutzen.

Meine Referenzimplementierung eines signalgetriebenen nichtlinearen System ist auf [GitHub](#) verfügbar.