

Structure and dynamics of the world airline network

Doctoral Thesis

Author(s):

Verma, Trivik

Publication date:

2016

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010581890>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH No. 23263

STRUCTURE AND DYNAMICS OF THE WORLD AIRLINE NETWORK

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

TRIVIK VERMA

MSc in Computer Engineering, TU Delft

born on 03.09.1988

citizen of

India

accepted on the recommendation of

PROF. DR. HANS JÜRGEN HERRMANN, examiner

PROF. DR. DIRK HELBING, co-examiner

2016

Zusammenfassung

Infrastruktur-Netze eines Landes verbinden weit entfernt liegende Städte und Bevölkerungen mit unterschiedlichsten ökonomischen Wachstumsprinzipien. Einige Transportnetzwerke wie Flugnetzwerke, Bahn- oder Strassennetze, welche unterschiedliche Regionen eines Bundeslandes, Staates oder der Welt verbinden, können sehr anfällig gegenüber lokalen Störungen sein, wie z.B. dem Vulkanausbruch des Eyjafjallajökull, bei dem Millionen von Passagiere aus der ganzen Welt aufgrund der geschlossenen europäischen Lufträume festsaßen.

In der vorliegenden Arbeit werden verschiedene Methoden der statistischen Physik komplexer Netzwerke verwendet, um Topologie und Dynamik von Transportnetzwerken zu untersuchen. Mit Hilfe eines statischen Netzwerkmodells wird die Struktur des weltweiten Flug-Transportnetzwerkes analysiert, das auf frei zugängliche Verfügbarkeit großer Flug-Daten basiert. Diese Flug-Datensätze erlauben die Entwicklung eines komplexen Netzwerkmodells, das sowohl statische Aspekte als auch struktur-dynamische Vorgänge (d.h. die Netzwerkdynamik) umfasst. Dabei wird untersucht, wie anhand der Netzwerktopologie robustere Transportnetzwerke entwickelt werden können. Dazu wird ein einfaches Modell eingeführt, das unter anderem die sogenannte Core-Peripherie-Topologie von Transportnetzwerken erklärt, indem diese topologische Eigenschaft als Resultat des Wettbewerbs zwischen Konnektivität und Profitmaximierung verstanden wird. Profit geht dabei aus einem Last-Umverteilungsmechanismus hervor, der der Dynamik von Transportnetzwerken unterliegt.

Des Weiteren wird eine Methode entwickelt, um die Robustheit von Transportnetzwerken zu erhöhen, welche auch auf andere komplexe geographisch eingebettete Netzwerke angewandt werden kann, die Last-Umverteilungen unterliegen und ökonomisch beschränkt sind. Die Methode wird insbesondere angewandt, um effiziente Netzwerke zu designen. In dieser Arbeit versuchen wir nicht nur, die statischen strukturellen Eigenschaften von Transportnetzwerken und deren Dynamik zu verstehen und zu kontrollieren, sondern auch das Zusammenspiel dieser beiden Einflussfaktoren offenzulegen.

Summary

Infrastructure networks reduce the geographical gap between societies, however disparate they are in their economic development. Some transportation systems - airlines, railways, roadways - that connect different parts of a state, country or the world, break down considerably in times of a catastrophe, much like during the volcanic eruption of Eyjafjallajökull, where in millions of passengers were stranded around the world when multiple airspaces were closed.

This thesis uses techniques of statistical physics of complex networks in order to study transport networks and understand their topology and dynamic behavior. We analyze the structure of a transportation network, the World Airline Network, through a static network representation using openly available data sets. The availability of large data sets allows us to represent a complex network together with its interaction patterns in a holistic manner. We discuss ways to improve transport network robustness by using data and the structure of the network, and propose a simple model to understand its characteristic core-periphery structure. Such a structure, in our plausible scenario, is the result of a balanced interplay between connectivity and profit and arises due to a load redistribution mechanism which underlines the dynamic nature of transport networks.

In addition, we develop a framework to improve the robustness of transport networks that can also be applied to other complex load-driven networks embedded in space and restricted in their development by cost constraints. In particular, we apply this tool to design efficient networks. Thus, this thesis aims at understanding and controlling not only the static structural features of a transport network and the dynamic cascading processes but also the interplay of the two.