

Topologie des Internets - Modellierung und Messung

Jakob Kasicz

HAW Hamburg

jakob.kasicz@haw-hamburg.de

June 9, 2016

Motivation

Der Graf als Repräsentation

Was wird betrachtet?

Router Level Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Ingeniere

- ▶ Aus Topologien des Internets, vor allem auf der hier untersuchten Ebene, können Prognosen entstehen für zukünftige technologische Notwendigkeiten. Zudem gibt es Daten die Analysen zu vorhanden Technologien erlauben.

Wirtschaft

- ▶ Internettopologie zur Analyse von nicht erschlossenem Kapital.

Mathematiker

- ▶ Internettopologie als Objekt für die Erkundung neuer Modell und Analyse Methodik.

Sozialwissenschaftler

- ▶ Interessieren sich für Daten vor allem aus dem Bereich der Sozialen Netzwerke und dessen Verknüpfungen von Usern. (wird hier nicht behandelt)

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Motivation

Der Graf als Repräsentation

Was wird betrachtet?

Router Level Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

im Folgenden werden Topologien immer als Grafen betrachtet, die Einteilung erfolgt folgendermaßen:

- ▶ Knoten - Meint eine Entität wie z.B. einen Router oder ein AS ...
- ▶ Kante - Meint eine Verbindung zwischen Knoten, diese kann gerichtet oder ungerichtet sein, oder auch gewichtet. Knoten haben i.d.R. immer ein "degree" also eine Anzahl der ein- bzw. ausgehenden Kanten.

Zudem wird Wert darauf gelegt, wo der jeweilige Knoten sich befindet.

Was wird betrachtet?

Motivation

Der Graf als Repräsentation

Was wird betrachtet?

Router Level Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

OSI (Open Source Interconnection) 7 Layer Model

Layer	Application/Example	Central Device/ Protocols	DOD4 Model
Application (7) Serves as the window for users and application processes to access the network services.	End User layer Program that opens what was sent or creates what is to be sent Resource sharing • Remote file access • Remote printer access • Directory services • Network management	User Applications SMTP	Process
Presentation (6) Formats the data to be presented to the Application layer. It can be viewed as the "Translator" for the network.	Syntax layer encrypt & decrypt (if needed) Character code translation • Data conversion • Data compression • Data encryption • Character Set Translation	JPEG/ASCII EBDIC/TIFF/GIF PICT	
Session (5) Allows session establishment between processes running on different stations.	Synch & send to ports (logical ports) Session establishment, maintenance and termination • Session support - perform security, name recognition, logging, etc.	Logical Ports RPC/SQL/NFS NetBIOS names	Host to Host
Transport (4) Ensures that messages are delivered error-free, in sequence, and with no losses or duplications.	TCP Host to Host, Flow Control Message segmentation • Message acknowledgement • Message traffic control • Session multiplexing	TCP/SPX/UDP	
Network (3) Controls the operations of the subnet, deciding which physical path the data takes.	Packets ("letter", contains IP address) Routing • Subnet traffic control • Frame fragmentation • Logical-physical address mapping • Subnet usage accounting	Routers IP/IPX/ICMP	Internet
Data Link (2) Provides error-free transfer of data frames from one node to another over the Physical layer.	Frames ("envelopes", contains MAC address) [NIC card — Switch — NIC card] (end to end) Establishes & terminates the logical link between nodes • Frame traffic control • Frame sequencing • Frame acknowledgement • Frame delimiting • Frame error checking • Media access control	Switch Bridge WAP PPP/SLIP	Network
Physical (1) Concerned with the transmission and reception of the unstructured raw bit stream over the physical medium.	Physical structure Cables, hubs, etc. Data Encoding • Physical medium attachment • Transmission technique - Baseband or Broadband • Physical medium transmission Bits & Volts	Hub	

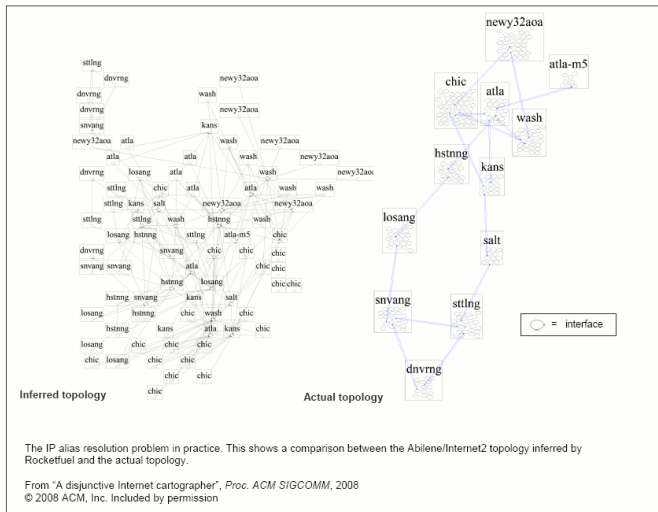
Figure: Reference [1]

Wir ermitteln, über welche Router und Internet-Knoten IP-Datenpakete bis zum abgefragten Rechner gelangen.

- ▶ Hauptsächlich Traceroute
- ▶ Für große Messungen mit Tools, z.B. Scamper (CAIDA)

Welche Probleme treten auf?

IP alias resolution Problem:



Motivation

Der Graf als Repräsentation

Was wird betrachtet?

Router Level Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Figure: Reference [12]

Techniken zur Auflösung von IP Aliasing:

- ▶ Mercator Probing
- ▶ Ally Probing
- ▶ RadarGun Probing
- ▶ prefix scan method

Scamper implementiert diese!

Welche Probleme treten auf?

Motivation

Der Graf als Repräsentation

Was wird betrachtet?

Router Level Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Undurchsichtigkeiten des Layer 2 - Switch Level

Network (3) Controls the operations of the subnet, deciding which physical path the data takes.	Packets ("letter", contains IP address) Routing • Subnet traffic control • Frame fragmentation • Logical-physical address mapping • Subnet usage accounting	K E R I N G	Routers IP/IPX/ICMP	Y Can be used on all layers	Internet
	Frames ("envelopes", contains MAC address) (end to end) [NIC card — Switch — NIC card] Establishes & terminates the logical link between nodes • Frame traffic control • Frame sequencing • Frame acknowledgment • Frame delimiting • Frame error checking • Media access control		Switch Bridge WAP PPP/SLIP Land Based		Network

Figure: Reference [1]

- ▶ Asynchronous Transfer Mode - ATM
- ▶ Multiprotocol Label Switching - MPLS
- ▶ ...

Welche Probleme treten auf?

Tatsächliche Router Topologie links und die Sicht einer Traceroute Messung eines Netzwerkes mit ATM oder MPLS rechts.

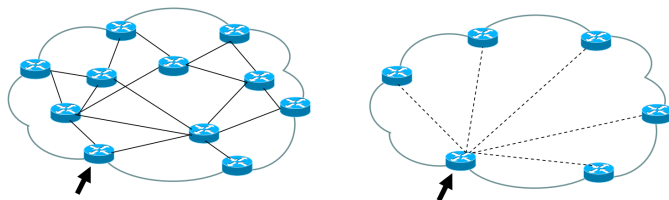


Figure: Reference [12]

Motivation

Der Graf als Repräsentation

Was wird betrachtet?

Router Level Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Welche Probleme treten auf?

Ausgangspunktsuche größerer *traceroute* Messungen

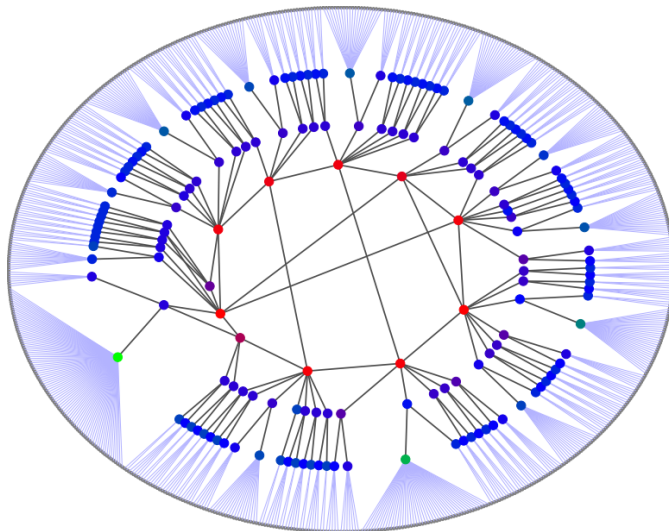


Figure: Reference [12]

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Model Fitting:

- ▶ power-law degree Ansatz:

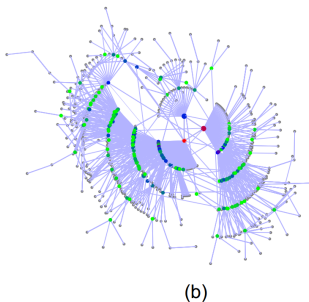
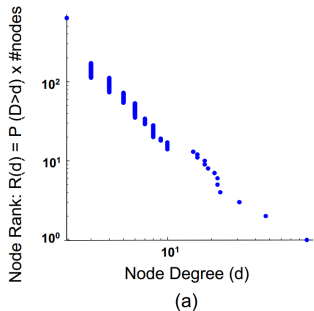


Figure: Reference [12]

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Reverse Engineering (Heuristically Optimal Topologies):

Versucht ein Modell zu erstellen, welches auf starken Annahmen beruht. Diese sind unterschiedlich gewichtet und fließen daher unterschiedlich stark in das Modell ein.

- ▶ **Ökonomische Faktoren.** Was kann sich ein ISP leisten? Die Routerqualität, der Aufwand diese zu verwalten und zu betreiben.
- ▶ **Technische Faktoren.** Was ist überhaupt technisch vorhanden und was ist physikalisch möglich?
- ▶ **Wie stark ist der Wandel** in der zu erwarteten Datenmenge welche gehandhabt werden muss?

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Drei Topologien welche mit dem HOT Ansatz erstellt wurden. Alle haben dieselbe Knotengradverteilung:

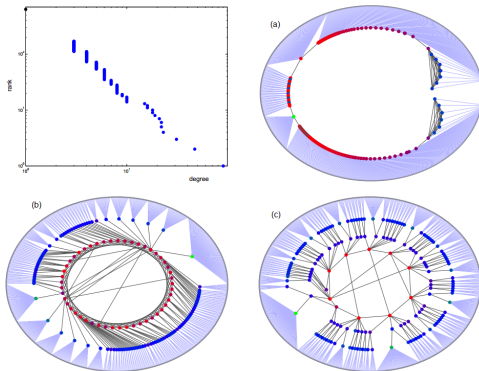


Figure: Reference [12]

- (a) Schlecht gewählte Parameter (b) Idealisierte Parameter
(c) Parameter nach Abilene-Netzwerk

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Ein autonomes System (AS) ist eine Ansammlung von IP-Netzen, welche als Einheit verwaltet werden und über ein gemeinsames internes Routing-Protokoll (IGP) (oder auch mehrere) verbunden sind. Dieses Netz wiederum kann sich aus Teilnetzen zusammensetzen. Ein AS steht unter einer gemeinsamen Verwaltung, typischerweise von einem Internet Service Provider (ISP), einer internationalen Firma oder einer Universität. Autonome Systeme sind untereinander verbunden und bilden so das Internet.

Jedem autonomen System wird eine eindeutige AS-Nummer (Autonomous System Number, ASN) zugewiesen.

Die Verwaltung der ASN bernimmt die Internet Assigned Numbers Authority (IANA).

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Wir unterscheiden:

- ▶ *control-plane* Messungen

Autonome Systeme kommunizieren über das BGP Protokoll. Dieses Protokoll spannt den hier untersuchten Graf auf.

Das Border Gateway Protocol (BGP) ist das im Internet eingesetzte Routingprotokoll und verbindet AS miteinander. Diese AS werden i.d.R. von ISPs gebildet.

- ▶ *data-plane* Messungen

Es müssen auch Daten ähnlich der Router Level Topologie erhoben werden.

- ▶ Traceroute/IP muss zu einem AS gemapped werden.

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Das BGP ist ein Protokoll welches nicht für Messungen ausgelegt ist, es verwaltet "Sessions zwischen AS-Routern" und bildet "Business-Relationships" zwischen den Betreibern dieser ab.

- ▶ customer - provider - Relationship
- ▶ peer - peer - Relationship
- ▶ silblings - Relationship

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Das BGP ist ein Protokoll welches nicht für Messungen ausgelegt ist, es verwaltet "Sessions zwischen AS-Routern" und bildet "Business-Relationships" zwischen den Betreibern dieser ab.

- ▶ customer - provider - Relationship
- ▶ peer - peer - Relationship
- ▶ silblings - Relationship

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Keine zwangsläufige Transitivität:

Sei ISP A (Provider) und ISP B (Provider) zu demselben Kunden ISP C (Customer) verbunden. So heißt dies nicht, dass A und B durch die jeweiligen Verbindungen zu C auch Daten austauschen können. Ein Customer bietet keinerlei transit Service für seine Provider an!

Information hiding:

ISPs haben keinerlei Interesse ihre "Business Relationships" offenzulegen. Gerade diese sind häufig eine Information welche den ISP im Wettbewerb aufstellt. Somit ist klar das aus dem BGP diese Beziehungen so einfach nicht zu extrahieren sind.

- ▶ Diesem Problem kann mit guter Kenntniss der BGP-Tables begegnet werden, auf dieser Grundlage können Algorithmen entwickelt werden, welche die "Business Relationships" mit guter Wahrscheinlichkeit auslesen können.

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

backup-Routes:

Bei Messungen, werden viele Verbindungen, da sie z.B. nur als Backup angelegt sind, garnicht erschlossen.

- ▶ Mit lang angelegten Messungen kann diesem Problem begegnet werden, in der Hoffnung das der Backup-Path zum Zuge kommt.

missing-link:

Studien haben gezeigt, dass Topologien des AS-Layer, typischerweise zwar eine recht vollständige Knotenrepräsentation der AS haben, dass allerdings viele Querverbindungen zu fehlen scheinen. Generell scheint in vielen Erhebungen von AS-Daten auf Grundlage des BGP ein Verhältniss von 2:1 in Bezug auf customer-provider zu peer-peer Beziehungen vorhanden zu sein. Allerdings zeigt sich, dass es was das gesamte Internet betrifft, eher eine Verteilung von 1:3 wahrscheinlich ist.

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Mögliche Aufteilung der Grafenrepräsentation einer AS Topologie:

- ▶ Business relationship graph
- ▶ Physikal link-level graph
- ▶ Connectivity graph
- ▶ BGP routing graph
- ▶ Policy graph
- ▶ Traffic graph
- ▶ ...

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

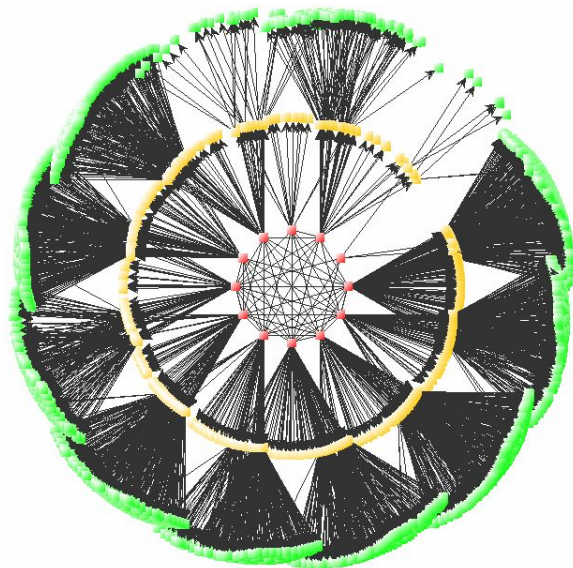


Figure: Reference [2]

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

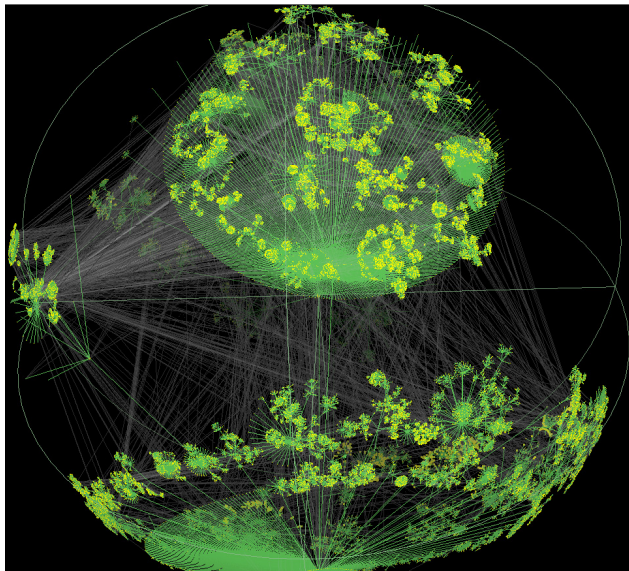


Figure: Reference [3]

Granularität

Topologien, gerade die des Internets, sind im Grunde immer eine Abstraktion. Was abstrahiert werden soll muss von vornherein klar definiert werden.

Messmethoden

Alle gezeigten Messmethoden bringen Probleme mit sich. Es ist sehr auf die Hygiene der erhobenen Daten zu achten. Artefakte herausfiltern usw....

Aussagekraft der Daten

Es sehr wichtig genau darauf zu schauen was die Messungen Aussagen und noch wichtiger was diese NICHT Aussagen.

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References



Web

- [1] <http://blog.buildingautomationmonthly.com/what-is-the-osi-model/>
- [2] http://ipv6.nlsde.buaa.edu.cn/images/as_level.jpg
- [3] <http://www.extremetech.com/wp-content/uploads/2014/03/internet-topology-jellyfish.jpg>



Wikipedia

- [4] https://de.wikipedia.org/wiki/Asynchronous_Transfer_Mode
- [5] https://de.wikipedia.org/wiki/Multiprotocol_Label_Switching
- [6] <https://de.wikipedia.org/wiki/Multihoming>
- [7] https://de.wikipedia.org/wiki/Border_Gateway_Protocol
- [8] https://de.wikipedia.org/wiki/Internet_Group_Management_Protocol

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References



Papers

[9] Scamper: a Scalable and Extensible Packet Prober for Active Measurement of the Internet - Matthew Luckie, Department of Computer Science, University of Waikato ,Hamilton, New Zealand, mjl@wand.net.nz

[10] Internet-Scale IP Alias Resolution Techniques - Ken Keys, Cooperative Association for Internet Data Analysis(CAIDA) University of California, San Diego, kkeys@caida.org

[11] On Inferring Autonomous System Relationships in the Internet - Lixin Gao, Member, IEEE



Bücher

[12] "Recent Advances in Networking", Volume 1, ACM SIGCOMM eBook, August 2013 Hamed Haddadi and Olivier Bonaventure (editors) Licensed under a CC-BY-SA Creative Commons license, Chapters: 1. Internet Topology Research Redux (Walter Willinger, Matthew Roughan)

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Motivation

Der Graf als
Repräsentation

Was wird
betrachtet?

Router Level
Topologie

AS Level Topologie

Fazit

References

Ende