



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Erweiterung des Routing-Atlas WiSe 2011/2012 - 31.08.2012 Andreas Krohn

Ausarbeitung: Related Work (AW2)

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	3
2 Routing-Atlas	3
3 Datenquellen	5
3.1 Collecting the Internet AS-level Topology	6
3.2 IXPs: Mapped?	8
4 Modellierung	10
4.1 On Inferring Autonomous System Relationships in the Internet	10
4.2 Modeling the Internet Routing Topology - in less than 24h	11
5 Ausblick	12
6 Zusammenfassung	12
Literatur	14

1 Einführung

Die Bedeutung der Internets für Wirtschaft, Bildung und Staat nimmt zu. Angesichts dieser Entwicklung hat sich das Internet von einer Spielwiese für Technikbegeisterte und Forschung zu einem Stück Infrastruktur gewandelt. Als solche ist ein Verständnis des Aufbaus und die Analyse der Topologie wichtig. Zum einen um Schwachstellen der Vernetzung zu entdecken. Zum anderen um ein Verständnis für Beteiligte an der Datenvermittlung und damit für potentielle Einflussnahmen zu erlangen. Das Routing-Atlas Projekt führt derartige Analysen am Beispiel Deutschland durch.

Der Bereich Topologieanalyse wird von weiteren Arbeitsgruppen bearbeitet. Teils werden die dabei entstehenden Resultate vom Routing-Atlas Projekt direkt genutzt, teils werden eigene Wege beschritten. In der vorliegenden Ausarbeitung wird in Abschnitt 2 zunächst das Routing-Atlas Projekt vorgestellt. Im Anschluss wird eine Auswahl vergleichbarer Arbeiten vorgestellt. Dabei wird grob zwischen den Bereichen Datensammlung und Modellierung unterschieden. Abschnitt 3 stellt Arbeiten im Bereich passiven und aktiven Datensammlung vor, Abschnitt 4 Arbeiten im Bereich Modellierung. Der Abschnitt 5 gibt einen Ausblick auf zukünftige Aufgaben und Entwicklungen im Kontext des Routing-Atlas, Abschnitt 6 fasst die vorliegende Ausarbeitung zusammen.

2 Routing-Atlas

Der Routing-Atlas ist ein Projekt der FU Berlin und der HAW Hamburg in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), vgl. [1]. Das Projekt will landesspezifische Bestandteile des Internets identifizieren, klassifizieren und visualisieren. Diese Daten sollen vielfältige Fragestellungen beantworten helfen. Zum Beispiel nach der Abhängigkeit der Länder untereinander, nach der Abgeschlossenheit der Infrastruktur innerhalb eines Landes und nach der Bedeutung einzelner Akteure.

Erster Schritt des Projektes ist es eine möglichst korrekte Zuordnung von Bestandteilen des Internets zu Ländern durchzuführen. Als Beispiel dient hierbei Deutschland. Gegenüber vorherigen Arbeiten zum Beispiel von Josh Karlin et al. [2] wird die Zuordnung nicht ausgehend von IP-Präfixen sondern feingranularer auf Ebene von IP-Adressblöcken vorgenommen. Die Zuordnung der IP-Adressblöcke zu einem Land geschieht basierend auf Daten der zuständigen RIR - für Deutschland die RIPE [3] - in einem mehrstufigen Verfahren. Als Kandidaten werden jene Adressblöcke betrachtet, deren `country` Attribut „DE“ oder „EU“ lautet. Zur Verifizierung der „DE“ und zur Identifizierung weiterer „EU“ als deutsch werden nun Kontaktinformationen zu

den Adressblöcken ausgewertet und gegen eine Liste von Synonymen, geographischen Namen und Schlagworten abgeglichen. Die so als deutsch identifizierten Adressblöcke werden nun zu IP-Präfixen und anschließend zu ASen aufgelöst.

Die einem Land zugehörigen ASen werden nach den Aspekten Hierarchie und Branche klassifiziert. Die Hierarchie gibt an, welche Bedeutung ein AS für das Routing hat und wird aus Daten von Beichuan Zhang et al. [4] übernommen. Die Branche ordnet ein AS einem der folgenden Sektoren zu:

Behörden, Verwaltung und Justiz	I&K: Software- und Systeme
Energie	Industrie (Produzierendes Gewerbe)
Finanz-, Geld- und Versicherungswesen	Medizinwesen
Gefahrenstoffe	Presse, Medien, Verlage
I&K: Internet Peering Points	Transport und Verkehr
I&K: ISPs (ohne Endkunden-Zugang),	
Internet Infrastruktur	Wissenschaft, Forschung & Kultur
I&K: Access Provider	Sonstiges

Die Branchenzuordnung geschieht basierend auf einer Liste von Schlagworten, die mit den in der RIPE DB vorhandenen Metainformationen (Name, Beschreibung und Adressfeldern) der ASen verglichen wird.

Für die identifizierten und klassifizierten ASen wird der umspannende Routing-Graph durch Traversieren der verbindenden Pfade zwischen allen Paaren der als deutsch identifizierten ASen ermittelt. Dazu wird die shortest path matrix von Winter (vgl. Abschnitt 4.2) genutzt. Erwartungsgemäß werden damit bisher nicht betrachtete verbindende ASen anderer Länder aufgenommen.

Der so entstandene, mit den Eigenschaften Land, Hierarchie und Sektor annotierte Graph wird anschließend visualisiert. Um dabei Aussagekraft und Übersichtlichkeit zu steigern, wird der Graph nach unterschiedlichen Aspekten vorgefiltert und auf verschiedene Arten visualisiert. So werden zum Beispiel die ASen zweier Sektoren gegenübergestellt und durch die verbindenden, nach Hierarchie angeordneten ASen ergänzt. Weitere Darstellungen zeigen ASen eines Sektors inklusive verbindender ASen wahlweise hierarchisch in Schichten oder Ringen angeordnet oder unsortiert. Die Farbe der Knoten steht dabei für den Sektor des zugehörigen AS. Abbildung 1 auf Seite 5 zeigt die Autonomen Systeme des Sektors „Wissenschaft, Forschung & Kultur (F&E)“ in einem hierarchischen Kreisdiagramm. Die Position eines AS in diesem Diagramm bedeutet, dass es in seiner topologischen Bedeutung (von innen nach außen) Tier 1, Large ISP, Small ISP und Stub zuzuordnen ist.

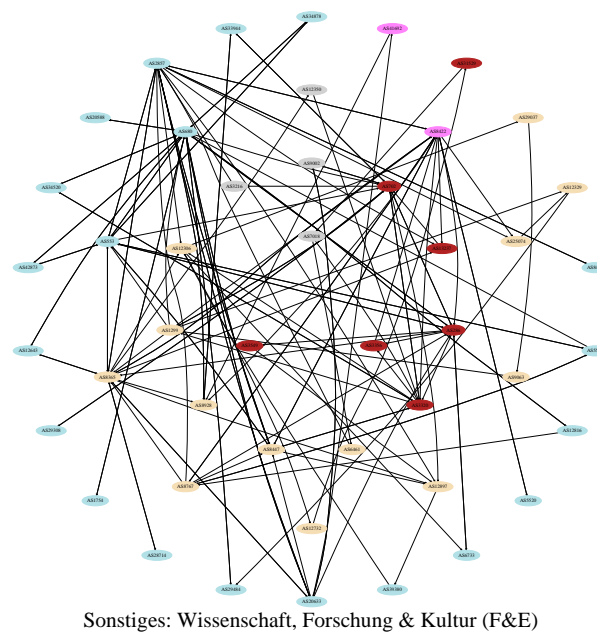


Abbildung 1: Hierarchisches Kreismodell - Entnommen aus [5]

3 Datenquellen

Das Internet ist eine Menge untereinander verbundener Netze, den autonomen Systemen (ASe). Die Verwaltung dieser Netze obliegt jeweils dem Besitzer. Es gibt nicht eine zentrale Verwaltung, die über sämtliche Informationen verfügt. Diese Aufgabe erfüllen lokale Registries (RIRs), bei denen beispielsweise eine ASN beantragt werden kann. Die Existenz eines AS und einige Informationen zu einem AS lassen sich bei den RIRs prüfen. Die Existenz und Konditionen der Verbindung zweier ASe wird nicht verpflichtend und vollständig erfasst, sondern lässt sich aus aktiven Messungen und der Auswertung von Routingtabellen mehr oder weniger präzise herleiten. Die Information, ob ASe miteinander verbunden sind und welcher Art diese Verbindung ist ermöglicht die Berechnung der Topologie des Internets auf AS Ebene.

Als Beispiel für das passive Methoden der Datensammlung dient hier die Arbeit von Beichuan Zhang et al., für aktive Methoden der Beitrag von Brice Augusting et al..

3.1 Collecting the Internet AS-level Topology

Beichuan Zhang, Raymond Liu, Lixia Zhang (alle UCLA) und Daniel Massey (Colorado State University) veröffentlichten im Januar 2005 den Artikel „Collecting the Internet AS-level Topology“ [4]. Darin beschreiben sie die Schaffung einer gegenüber vorher existierenden Ansätzen vollständigeren Datenbasis für Topologieanalysen auf AS-Ebene.

Übersicht

Die Gruppe um die Professorin Lixia Zhang ergänzt die üblicherweise verwendeten Topologiedaten des Route Views Projekts¹ und des RIPE RIS² und stellt diese täglich aktualisiert unter <http://irl.cs.ucla.edu/topology/> zur Verfügung. Weiterhin basierten Topologieanalysen bisher meist auf statischen Schnappschüssen zu einem bestimmten Zeitpunkt. Zwischen ASen existieren jedoch meist mehrere verbindende Pfade, wovon der sekundäre erst bei Ausfall des primären sichtbar werden kann. Um derartige Konstellationen zu erfassen, werden die Routinginformationen kontinuierlich gesammelt und auf Linkebene mit weiteren Informationen (Zeitpunkt & Quelle der Beobachtung) versehen. So werden Analysen über die Stabilität der Topologie und Änderungsraten von Pfaden möglich. Weiterhin wurde untersucht nach welcher Zeitspanne ohne erneute Beobachtung ein Link als nicht mehr existent betrachtet werden kann. Diese Information dient der sinnvollen Auswahl zu verwendender Links um eine einerseits möglichst komplette Topologie zu erhalten, andererseits aber die Verwendung nicht existenter Links zu vermeiden.

Verwendete Datenquellen

Route Views und RIPE RIS sammeln ihre Topologiedaten mittels *BGP trace collector*. Ein BGP trace collector ist ein PC oder Router, der von ISPs BGP Nachrichten erhält und speichert, jedoch selber keine Routen bekannt gibt. Routingtabellen und -updates werden in regelmäßigen Abständen abgeholt und veröffentlicht. Die Berücksichtigung der Routingupdates führt hierbei dazu, dass auch nicht aktuell für das Routing verwendete Pfade erfasst werden. Gleichzeitig bergen Aggregation der Links über die Zeit und Verarbeitung der Routingupdates die Gefahr, dass Fehlkonfigurationen, „abgeschaltete“ Links oder temporäre Störungen in eine finale Topologie aufgenommen werden und so Analyseergebnisse verfälschen. Mittels der den Links angefügten Zeitstempel der letzten Beobachtung lassen sich derartige Links aus dem Datenbestand herausfiltern. Die Autoren haben hier eine Zeitspanne von 60 Tagen ohne erneute Beobachtung des Links als gutes Indiz für das dauerhafte Verschwinden eines Links

¹<http://www.routeviews.org/>

²<http://ripe.net/ris>

ermittelt.

Ergänzt werden diese Daten um Routingtabellen öffentlich zugänglicher *Routingserver* einiger ISPs. Die Routingtabellen enthalten weitere verwendete Pfade. Alternativrouten können aufgrund dieser Datenquelle nur durch die Beobachtung über einen längeren Zeitraum gefunden werden. Weiterhin speichert ein Routingserver keine Historie der Routingtabellen. Es muss also in regelmäßigen Intervallen von außen der Dump der Routingtabelle angefordert und dort gespeichert werden.

Looking glasses sind Server, die über eine Weboberfläche die Ausführung bestimmter Befehle auf einem Router ermöglichen. Vollständige Routingtabellen lassen sich hier meist nicht abfragen aber immerhin direkte Nachbarn und Zugehörigkeit zu einem AS. So liefert ein Looking glass Server jeweils einige Links (zu Nachbarn), aber keine längeren Pfade (wie sie in einer Routingtabelle stehen würden). Der Beitrag zur Topologie ist dennoch verhältnismäßig groß, da sich Pfade oft nur in den „unteren“ Regionen der Routinghierarchie unterscheiden. Gerade in diesem Bereich liefern looking glasses Informationen, die in anderen Routingtabellen oft nicht auftauchen.

Internet Routing Registries (IRR) bieten den Betreibern von ASen die Möglichkeit, Informationen über Links zu anderen ASen zu hinterlegen. Diese Informationen sind optional und müssen manuell gepflegt werden. Sie sind daher in vielen IRRs nicht aktuell, falsch oder schlicht nicht vorhanden. Da IXPs in Europa von ihren Mitgliedern vermehrt die Pflege dieser Routing policy Angaben fordern, sind die Daten der RIPE von vergleichsweise guter Qualität. Das Team um Lixia Zhang verwendet diese Daten zur Ergänzung der gesammelten Topologiedaten. Über Konsistenzchecks (z.B. gibt es bei anderen ASen widersprüchliche Angaben?) soll sichergestellt werden, mit den IRR-Daten sinnvolle Informationen zur Topologie hinzuzufügen und fehlerhafte Daten auszuschließen.

Beitrag

Das Team um Lixia Zhang hebt drei Aspekte der Ergebnisse hervor.

- Erstellung einer gegenüber den Routingtabellen von Route Views in RIPE RIS vollständigeren Topologie durch die Berücksichtigung der Routingupdates
- Akkumulierung der Topologiedaten über einen längeren Zeitraum sowie das Finden der Zeitspanne nach der ein Link als tot betrachtet werden kann.
- Das kontinuierliche Verfügbarmachen der Daten als Basis für weitere Analysen anderer Interessenten.

3.2 IXPs: Mapped?

Brice Augustin (Université Pierre et Marie Curie), Balachander Krishnamurthy und Walter Willinger (beide AT&T Labs-Research) beschreiben in ihrem Artikel „IXPs: Mapped?“ [6] einen Ansatz, Peeringlinks zwischen Autonomen Systemen zu finden. Sie tragen damit eine signifikante Menge bisher nicht erfasster Inter-AS-Links zur Menge der Topologiedaten bei und verbessern so die Datenbasis für Topologieanalysen. Die Resultate dieser Arbeit wurden unter <http://www-rp.lip6.fr/~augustin/ixp/> veröffentlicht.

Übersicht

Der klassische Ansatz eine Topologie der ASe zu erstellen nutzt - wie z.B. im Paper von Lixia Zhang beschrieben - BGP dumps oder updates. Die Analyse der BGP dumps und updates ist ein passives Verfahren - es wird also nur vorhandener Datenverkehr gemessen und aktiv keine Pakete erzeugt. Hierbei wird ein Großteil der ASe und deren Links entdeckt. In der Natur von peer-to-peer Links liegt es jedoch, dass diese in per BGP kommunizierten Routen nicht zwingend auftauchen. Peeringvereinbarungen werden zwischen Paaren von ASen geschlossen und beinhalten den kostenlosen Austausch von Traffic, jedoch in der Regel nicht das Routing in weitere ASe. Somit ist der peer-to-peer Link den beteiligten ASen bekannt, den umliegenden ASen (mangels Bekanntgabe der Route) jedoch nicht. Die Autoren präsentieren einen Ansatz, eben diese Links dennoch zu finden. Sie verwenden hierbei ein aktives Messverfahren, bei dem gezielt traceroute ausgeführt wird.

Vorgehensweise

Zunächst erstellen die Autoren eine Liste der IXPs und deren jeweiligen Mitgliedern. Zur Ermittlung der IXPs werden Datenbanken von Packet Clearing House³ und von PeeringDB⁴ genutzt. Die Internetauftritte der IXPs werden mittels Parser analysiert, um die jeweiligen Mitglieder zu ermitteln. Im nächsten Schritt in den ASen der Mitglieder ein öffentlich zugänglicher traceroute Server gesucht. Insgesamt haben die Autoren 278 IXPs mit 393 Präfixen und ca. 2300 traceroute Server gefunden. Die Liste der IXPs, der Mitglieder und der traceroute Server wird verwendet, um für jedes Mitgliederpaar jedes IXPs traceroute durchzuführen. Tauchen dabei Pfade der Form @AS1 - @IXP4 - @AS4 auf (wobei das „@“ eine Adresse in einem Präfix des ASes bzw. IXPs meint), ist dies ein starkes Indiz dafür, dass am untersuchten IXP ein Peering zwischen den Mitgliedern AS1 und AS4 existiert (vgl. Abb. 2). Kritisch ist hier-

³<http://www.pch.net/>

⁴<http://www.peeringdb.com/>

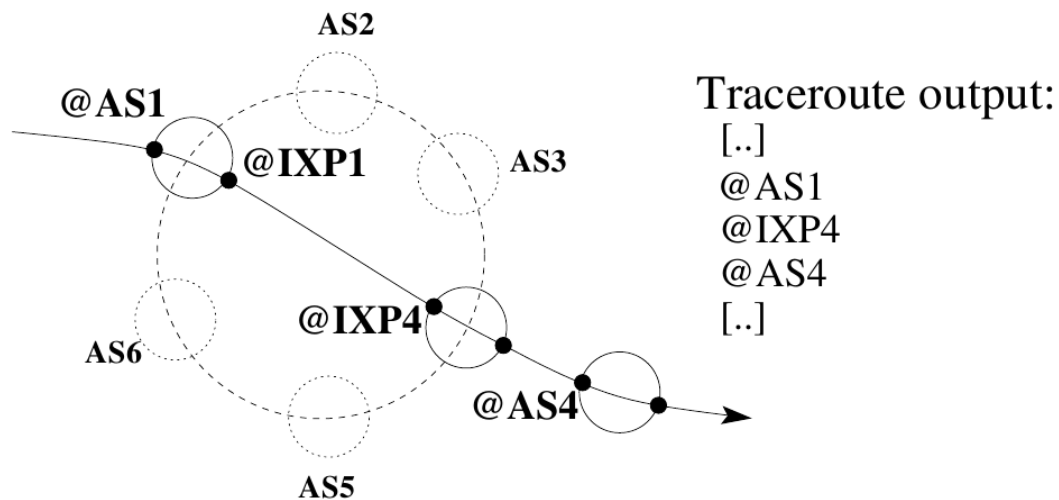


Abbildung 2: Typische IXP Konfiguration mit 6 Mitgliedern - Entnommen aus [6]

bei die Wahl des passenden traceroute Servers aber auch eine gewisse Vorsicht bei der Interpretation der Ergebnisse. Die Tatsache, dass der Server im Netz des untersuchten ASes bedeutet nicht, dass aus Auftauchen oder Abwesenheit des oben beschriebenen Pfades mit Sicherheit auf die (Nicht-)Existenz des Peerings geschlossen werden kann. Vor allem die Abwesenheit des Pfades ist trotz eines existierenden Peerings möglich. IXPs vergeben an die teilnehmenden Router beispielsweise private IP-Adressen, auf die von außen nicht zugegriffen werden kann.

Weiterhin ist der Aufwand verglichen mit der Analyse vorhandener BGP dumps und updates verhältnismäßig hoch. Es müssen aktiv Pakete gesendet und dabei timeouts abgewartet werden. Außerdem ist die Gefahr, verfälschte Daten zu erhalten beim traceroute höher als bei der Analyse von BGP Daten, die zum Routing verwendet werden.

Beitrag

Augustin et al. haben gezeigt, dass ein signifikanter Anteil der peer-to-peer Links alleine durch die Analyse von BGP dumps und updates nicht erfasst wird. Weiterhin haben sie eine Liste von IXPs, deren Präfixen und Mitgliedern aufgebaut und traceroute Server in den ASen der Mitglieder identifiziert. Diese Informationen wurden genutzt, um per gezieltem traceroute bisher nicht entdeckte Links an IXPs zu finden.

4 Modellierung

Alleine aus der Existenz eines Links zwischen ASen lässt sich nicht abschätzen, ob und für welchen Datenverkehr der Link benutzt wird. Es erfordert vielmehr die Bildung eines Modells, das das policy based routing von BGP nachbildet. Ein solches Modell klassifiziert die Art der Beziehung zwischen zwei ASen. Basierend auf dieser Klassifizierung kann hergeleitet werden, welche Pfade möglich sind und verwendet werden. Dabei wird von einem weitestgehend hierarchischem Aufbau AS Topologie ausgegangen. Die zentraleren Transit oder Tier-1 ASe leiten hierbei Daten für die kleineren ASe weiter. Kleinere ASe bieten dagegen keinen Transit für größere ASe an. Dieses Konzept bezeichnet man als das Valley-free Routing. Über ein Modell sollen rohe Daten wie BGP Tabellen um Klassifizierungen erweitert werden um auf Basis des so entstehenden attribuierten AS-Graphen Analysen ausführen zu können.

4.1 On Inferring Autonomous System Relationships in the Internet

Grundlegende und viel beachtete Arbeit im Bereich der Klassifizierung von AS Beziehungen hat Lixin Gao (University of Massachusetts, damals AT&T Research Labs) mit der im folgenden Abschnitt vorgestellten Arbeit geleistet [7]. Das Prinzip des valley-free Routings führt zu der Erkenntnis, dass Verbindung im Internet nicht Erreichbarkeit bedeuten muss. Der Transport von Daten folgt policies, die über das BGP Protokoll implementiert werden. Ziel der Arbeit von Lixin Gao ist es die Kanten eines AS Graphen zu annotieren, also die Links zu klassifizieren. Die Klassen sind dabei:

- customer-provider
- peering
- sibling

Da die Geschäftsbeziehung mehrerer ASe Ursache für die Gestaltung von BGP tables, nicht aber deren Bestandteil sind, wird diese Information über eine Heuristik hergeleitet.

Vorgehensweise

Für eine Menge von BGP Tabellen wird der Verzweigungsgrad der ASe bestimmt, der später als Indiz für die Größe des ASes verwendet wird. In jedem AS Pfad in den BGP Tabellen wird nun das größte AS gesucht. Die Links im Pfad bis zum größten AS (uphill) werden als Nutzer von Transit, die Links ab dem größten AS (downhill) als Anbieter von Transit markiert. In einer weiteren Phase geschieht nun die eigentliche Klassifizierung. Ist ein Paar aus ASen in beide Richtungen als Transit markiert, so gehört dieser Link in die Klasse „sibling“. Ist ein Paar aus

ASen Nutzer von Transit aber selten oder nie Anbieter, ist der Link ein „customer-provider“-Link, überwiegt die Anbieterrolle „provider-customer“. Die so hergeleiteten Klassifizierungen der AS Beziehungen wurden mit intern vorhandenen Informationen von AT&T abgeglichen wobei eine Übereinstimmung von 99,1% festgestellt wurde.

Beitrag

Lixin Gao hat mit ihrer Arbeit grundlegende Ideen zur Herleitung einer Klassifizierung von AS Beziehungen geprägt.

4.2 Modeling the Internet Routing Topology - in less than 24h

Der attributierte AS-Graph liefert Informationen über Existenz und Art der Verbindung der ASen. Der Weg, den der Datenpakete zwischen zwei ASen traversiert, lässt sich hieraus jedoch nicht ablesen. Rolf Winter (damals NEC Labs Europe, jetzt Hochschule Augsburg) beschreibt in seinem Artikel „Modeling the Internet Routing Topology - in less than 24h“ [8] einen Ansatz, die kürzesten Wege zwischen allen AS-Paaren unter Berücksichtigung eines Modells von BGP zu berechnen. Die Ergebnisse der Arbeit sind unter <http://topology.neclab.eu/> veröffentlicht.

Vorgehensweise

Winter nutzt die Daten des in Abschnitt 3.1 vorgestellten Projekts der UCLA als Basisdaten seiner Analyse. Aus diesen Daten sollen innerhalb der schon im Titel erwähnten maximal 24 Stunden die kürzesten Pfade für alle AS Paare errechnet werden. Die Betrachtung der Internettopologie auf Ebene der ASen stellt eine Vereinfachung dar. Das Routing findet tatsächlich auf Ebene der Präfixe statt. Laut Winter ist diese Vereinfachung aber zulässig, da der überwiegende Teil der Pfade zwischen zwei ASen unabhängig vom Quell- oder Zielpräfix identisch sind und somit kein signifikanter Verlust an Information zu erwarten ist. Als weitere Rechtfertigung für die Beschränkung auf die AS Ebene dient die Zeitvorgabe. Die Berechnung der kürzesten Pfade auf Ebene der Präfixe wäre komplexer und würde so die zeitnahe Bereitstellung aktueller Pfadmatrizen verhindern. Das all-pair shortest path Problem - also die Berechnung der kürzesten Wege - löst Winter mit dem Floyd-Warshall Algorithmus. Die Kantengewichte für die Modellierung der BGP policies basieren hierbei auf der relativen Häufigkeit, mit der die vorhandenen ausgehenden Links eines AS in beobachteten Routingtabellen verwendet werden.

In einem weiteren Schritt werden BGP Tabellen von RouteViews und RIPE RIS in unverarbeiteter Form zur Validierung der errechneten Pfade genutzt. Bei erfolgreicher Nachbildung des policy based routings in BGP müssten die errechneten Pfade in den BGP Tabellen auftauchen. Winter ermittelt die Übereinstimmungen zwischen Realität und Modell für Pfadlänge und Pfadüberlappung. Mit knapp 75% Wahrscheinlichkeit unterscheiden sich die reale und errechnete Länge der Pfade nicht (sind also exakte Übereinstimmungen), mit knapp 95% Wahrscheinlichkeit beträgt der Längenunterschied maximal eins, mit nahezu 100% Wahrscheinlichkeit maximal zwei. Die Überlappung von errechnetem und realem Pfad ist in knapp 45% der Fälle komplett gegeben, mehr als 80% der errechneten Pfade stimmen zu mehr als 50% mit realen Pfaden überein. Es bleiben aber über 15% der errechneten Pfade, die mit keinem in den Validierungsdaten existierendem Pfad übereinstimmen.

Beitrag

Winter hat einen Ansatz präsentiert, basierend auf existierenden Daten zu vorhandenen AS Links kürzeste Pfade unter Berücksichtigung des policy based routings zu modellieren. Die dabei errechneten Pfade wurden öffentlich zur Verfügung gestellt und für die Dauer der Förderung des Projektes regelmäßig aktualisiert. Leider ist das Projekt mittlerweile mangels finanzieller Unterstützung eingestellt, sodass für das Routing Atlas Projekt ein Ersatz geschaffen werden muss.

5 Ausblick

Die laufende Schaffung eines Ersatz für die nicht mehr aktualisierte shortest path matrix von Rolf Winter und die Automatisierung der vorhandenen Toolchain des Routing Atlas wird die regelmäßige öffentliche Bereitstellung der länderspezifischen Auswertungen ermöglichen. Weiterhin bietet der Bereich der in Abschnitt 3.2 vorgestellten aktiven Messungen interessante Möglichkeiten. Es besteht Kontakt zu den Betreibern eines IXPs, sodass Messungen durchgeführt werden können mit denen zum Beispiel verwendete Topologiedaten nachvollzogen und verifiziert werden können. Weiterhin ist die Ergänzung der verwendeten Topologiedaten um eigene mittels traceroute erhobene Daten oder um die von Augustin et al. zu prüfen.

6 Zusammenfassung

In dieser Ausarbeitung wurde der Routing-Atlas in seiner derzeitigen Form vorgestellt. Weiterhin wurden Arbeiten im Bereich der Topologieanalyse im Internet vorgestellt. Dabei jeweils

eine zur passiven und aktiven Sammlung von Topologiedaten. Weiterhin wurden Ansätze zur Modellierung des policy based Routings von BGP vorgestellt.

Der Ausblick zeigt Ansatzpunkte auf, an denen in Zukunft gearbeitet werden soll.

Literatur

- [1] M. Wählisch, T. C. Schmidt, M. de Brün, and T. Häberlen, "Exposing a Nation-Centric View on the German Internet – A Change in Perspective on the AS Level," in *Proc. of the 13th Passive and Active Measurement Conference (PAM)*, ser. LNCS, vol. 7192. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012, p. 200–210. [Online]. Available: <http://inet.cpt.haw-hamburg.de/publications/wsbh-envgi-12.html>
- [2] J. Karlin, S. Forrest, and J. Rexford, "Nation-State Routing: Censorship, Wiretapping, and BGP," Mar. 2009. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/0903.3218v1>
- [3] (2012) Ripe network coordination centre. [Online]. Available: <http://www.ripe.net/>
- [4] B. Zhang, R. Liu, D. Massey, and L. Zhang, "Collecting the internet AS-level topology," *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 35, p. 53–61, January 2005. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1052812.1052825>
- [5] T. C. Schmidt, M. Wählisch, M. de Brühn, and T. Häberlen, "Ein Routing-Atlas für die strukturelle und visuelle Exposition des deutschen Internets," *Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation (PIK)*, vol. 34, no. 2, p. 60–72, June 2011. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1515/piko.2011.012>
- [6] B. Augustin, B. Krishnamurthy, and W. Willinger, "IXPs: mapped?" in *Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement conference*, ser. IMC '09. New York, NY, USA: ACM, 2009, p. 336–349. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1644893.1644934>
- [7] L. Gao, "On inferring autonomous system relationships in the internet," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 9, p. 733–745, December 2001. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/90.974527>
- [8] R. Winter, "Modeling the internet routing topology - in less than 24h." in *PADS*. IEEE Computer Society, 2009, pp. 72–79. [Online]. Available: <http://topology.neclab.eu/>