

ПРОБЛЕМЫ ОТОБРАЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ГРАФОВ

© 2014 К.А. Стуликова, Д.Ю. Полукаров

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара

Поступила в редакцию 17.12.2013

Достоверное представление об аспектах, процессах и особенностях структуры Интернет играет огромную роль при проведении исследований производительности, надежности, а также моделировании, построении систем анализа сети. В настоящее время опубликован ряд работ, описывающих различные стороны Интернет, собрано большое количество данных, что, безусловно, облегчает задачу последующих сетевых исследователей, однако нужно учитывать ряд важных моментов при проведении исследований Интернет и построении сетевых систем для получения достоверных выводов. Об этих особенностях, связанных с ними проблемах, и возможном способе представления с учетом этих особенностей идет речь в данной работе.

Ключевые слова: автономная система, граф, маршрутизация, BGP.

ВВЕДЕНИЕ

Технологии Интернет применяются во многих прикладных областях (например, в инновационной деятельности [1]). Система междоменной маршрутизации Интернет представляет собой совокупность сетей, их политик, пиринговых отношений, организационной принадлежности рекламируемого адреса, включая такие компоненты, как точки обмена трафиком. Каждый аспект этой системы повлиял на формирование протокола BGP – протокола де-факто междоменной маршрутизации. Элементом междоменной системы маршрутизации, который привлекает все большее внимание сообщества исследователей Интернет, является “междоменная топология” или “топология Интернет”. Сетевая наука популяризовала этот термин до такой степени, что понятие “топология Интернет” вошло в литературу официальной науки, хотя по существу оно не имеет смысла без точно указанных определений. С одной стороны, “топология Интернет” может относиться к структурам подключения, возникающих на любом из семи уровней модели OSI – от оптического волокна и кабельных соединений на физическом уровне до виртуальных или логических связей на уровне приложений. Кроме того, по самой природе многоуровневой архитектуры Интернета, эти различные структуры подключения формируются различными наборами внешних и внутренних технологических, экономических и социальных условий. Каж-

дое из них предлагает свое представление глобальной инфраструктуры, чья общая цель и функциональные свойства определяются набором слоев конкретных протоколов, работающих на миллионах устройств для обеспечения соединения пользователей.

При попытке установить точный смысл этого понятия обнаружено, что в существующей литературе преобладает понимание “топологии Интернет” как виртуального конструкта или графа, созданного междоменным протоколом маршрутизации BGP (Border Gateway Protocol). Такой конструкт также называют топологией на уровне автономных систем (АС) – логических блоков, которые используются в BGP для обозначения источника при объявлении пути маршрутизации. Однако при рассмотрении Интернет как критической инфраструктуры неуместно приравнивать его к АС-топологии, – необходимо учитывать детали физической инфраструктуры, информацию о том, как физические карты подключаются к различным типам дополнительной виртуальной связи, особенности конкретных протоколов, и аспекты, связанные с передачей трафика, которые проявляются при различных структурах подключения.

ПРОБЛЕМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТОПОЛОГИЙ АС-УРОВНЯ

Одним из ключевых элементов графа являются его узлы. В контексте топологии АС-уровня Интернет, можно приравнивать каждый узел графа к АС, но возникает вопрос, что представляем собой она на самом деле? Большинство работ свободно определяют АС как регион Интернет, который находится под единым административным управлением. Понятие “административное управ-

Кристина Александровна Стуликова, аспирант кафедры информационных систем и технологий.

E-mail: kr.stulikova@gmail.com

Данил Юрьевич Полукаров, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий.

E-mail: plkw@mail.ru

ление” подразумевает компанию с коммерческими интересами в сети Интернет, которая работает в этом пространстве, следуя определенным стратегиям и ориентируясь на конкретные рыночные ниши. С технической точки зрения АС часто рассматривается с точки зрения выделенного номера АС, который, однако, выдается для того, чтобы осуществлять маршрутизацию с использованием BGP. Расширенная точка зрения определяет АС с помощью префиксов назначения. Такая ассоциация поддается измерению с помощью трассировок или BGP-мониторов, однако имеются исключения – АС, имеющие внутренние соединения с необъявленным адресным пространством [2], anycast или multicast АС-источники [3].

Ниже приведены основные проблемы, возникающие при представлении Интернет-топологии как связанного АС-графа.

Абстрагирование АС до уровня узла графа.

Распространенная практика абстрагирования АС до уровня узла графа без учета внутренней структуры является чрезмерным упрощением и серьезно ограничивает способность охватить важные особенности АС, такие как разнообразие маршрутов и политик, множественные подключения. Популяризировано мнение, связывающее АС с набором граничных маршрутизаторов, как единую целостную систему, однако организации могут владеть маршрутизатором, который имеет, по крайней мере, один интерфейс IP-адресов, принадлежащий другой организации или провайдер может управлять маршрутизатором одного из своих клиентов. Такое представление делает чрезвычайно трудным определение каждого ребра АС-графа.

Также считается, что АС соответствует домену под единым техническим управлением, то есть в ведении одной организации. Обычной практикой является управление одной организацией несколькими АС с разными номерами [4]. С точки зрения определения узлов АС-графа, эти сети следует рассматривать как единый узел. С другой стороны, номера этих АС отличаются, и сети должны рассматриваться как отдельные узлы графа. Похожая проблема возникает, когда одна АС администрируется несколькими различными корпорациями. Также АС вполне может объявить различные наборы префиксов для различных точек выхода или при помощи BGP сбалансировать трафик через перегруженные соединения и т.д. [5].

Моделирование топологии как абстрактного диграфа.

Традиционный подход к моделированию АС-уровня Интернет как простого абстрактного связанного диграфа не способен охватывать важные

аспекты богатых семантик реальных отношений между АС, часто являющихся конфиденциальными, в том числе различных политик и точек соединения. Последствия таких абстракций должны быть признаны прежде, чем приписывать Интернет конкретные смысловые выводы из полученных на их основе моделей.

Использование данных BGP-маршрутизации и трассировок.

Собранные проектами RouteViews [6], RIPE RIS [7] данные BGP-мониторов являются общедоступными, имеют практическое значение для администраторов сети и конкретно заявленную цель – сбор маршрутной информации BGP, но они никогда не предназначались для отображений соединений АС-уровня. Оба проекта первоначально мотивированы интересом со стороны администраторов для определения того, как глобальная система маршрутизации рассматривает свои префиксы и АС-пространство [6, 8]. Важно отметить, что оба проекта умалчивают об использовании своих данных для отображения междоменной топологии Интернет по некоторым причинам. В первую очередь, полученные от BGP-мониторов данные имеют множество ограничений и упущений, возникающих в основном из-за неравномерного размещения BGP-мониторов в Интернет и природы самого протокола BGP, так как он был разработан не для отображения топологии, а предоставления АС возможностей выражать и реализовывать свои политики маршрутизации, не раскрывая внутренних особенностей. Для достижения этой цели масштабируемым образом BGP может скрывать информацию, которая позволила бы исследовать открытые топологии.

Данные трассировок из таких проектов CAIDA [9], DIMES [10] были собраны и общедоступны для сетевых исследователей, но являются ограниченными для отображения подключений между АС. Хотя это принципиально другая технология измерения, она сталкивается с набором похожих и более серьезных ограничений, чем BGP-измерения. Как и BGP-мониторы трассировка всего лишь отладочный механизм [11], который никогда не был предназначен для измерения топологии, она является диагностическим инструментом отслеживания пути и измерения транзитных задержек пакета до некоторого хоста.

Учитывая эти и многие другие проблемы, становится очевидным, что моделирование АС в качестве единого универсального узла без знания внутренней (или внешней) структуры является слишком упрощенным для большинства практических задач. Отчасти это происходит из-за того, что с помощью BGP невозможно получить дос-

точно информации с целью моделирования глобальной топологии и сделать правильные выводы о внутренней структуре АС. Решение существующих недостатков будет двигать нас к переходу от АС-топологии в качестве абстрактного графа к подходу, рассматривающего АС как экономическую составляющую, которая сдерживается социально-технологическими факторами и приводит к экономическим стимулам и бизнес-решениям, принятию главных игроков в этой области. Хотя такое представление уже неоднократно выдвигалось [12-16], научное сообщество не спешит дистанцироваться от популярной точки зрения – графового подхода к междоменной топологии.

РАСШИРЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АС-ГРАФА

Представление абстрактной структуры BGP-маршрутизации в Интернет с использованием простого диграфа теряет большое количество информации и является слишком упрощенным способом представления АС-топологии. Такое представление отражает лишь структуру BGP маршрутизации в сети, и неправильно было предположить, что это есть топология сети Интернет. На самом деле такое графовое представление топологии не особенно полезно для любой практической цели, однако можно сделать его более целенаправленным, если более осторожно подходить к его определению.

Во-первых, АС-граф должен быть мультиграфом. Очень часто две автономные системы соединены многочисленными подключениями в разных географических точках [13, 17, 18]. Этот факт часто игнорируется при рассмотрении таких вопросов, как надежность соединений АС-графа или возможность отказа узлов [19], хотя это является необходимой составляющей для таких исследований. Помимо этого отпадает необходимость количественной оценки количества избыточных путей, отказ физической связи между двумя АС, может быть не виден для любого внешнего наблюдателя вообще, в то время как небольшое изменение стоимости может вызвать множественные изменения маршрутов значительной части сети Интернет [20 - 22]. Возможная причина этого состоит в том, что, как правило, игнорируется трудность измерений – монитор BGP-данных не дает информацию об этом аспекте топологии.

Во-вторых, АС-граф должен быть действительно гиперграфом. Одна “дуга” может соединять несколько АС. Это часто встречается в Internet Exchange Point (IXP) – физических инфраструктурах, когда сети могут выбрать пиринговые отношения друг с другом с целью обмена

трафиком напрямую и дешевле по сравнению с использованием некоторого провайдера. Множественные IXP-сети соединяются в одном месте [16, 23-25]. Можно утверждать, что они соединяются с коммутатором/маршрутизатором, каждый из которых использует связи point-to-point, а, по крайней мере, в некоторых случаях, коммутатор не представлен на АС-уровне графа, и поэтому должен рассматриваться как гиперссылка между более чем двумя автономными системами.

В-третьих, автономные системы не являются атомарными. Понятно, что АС – это территориально распределенные организации, состоящие из множества компонентов, расположенных в некоторой области пространства. В соответствии с RFC АС должна иметь единую политику маршрутизации. Однако, это не всегда соответствует действительности [5, 23, 26]. Компоненты АС могут даже не быть смежными. АС может полагаться на провайдера для транзита своего трафика между компонентами системы. Наконец, нет чистого соотношения между понятиями “организация” и “АС” [4, 23]. Одна организация может использовать несколько АС для реализации своей сети, или может приобрести ряд автономных систем в результате слияния и поглощения. Одна АС также может представлять множество сетей или компаний.

Чтобы АС-граф был полезным, например, для прогнозирования поведения сети при изменении политик или сбоях, необходимо также учитывать политики отношений в сочетании с анализом или контролем BGP-маршрутизации, маркировать ребра и узлы политиками. Хотя разные инженеры могут определить множество различных политик, эта политика должна быть реализована через BGP, и, следовательно, возможные реализации менее разнообразны, чем политики.

Общий подход к описанию спектра отношений между АС описывает существующие политики с помощью простого набора: отношения клиент-провайдер, пиринговые и одноранговые отношения. Такое упрощение было частично мотивировано [14, 15] и использовано в [16, 27-29]. Хотя большую часть отношений можно разделить на эти три категории, имеются частые исключения [23, 26], например, в виде частичного транзита в конкретном регионе [12, 30]. Один из способов реализации отношений частичного транзита реализовать как гибриды между отношениями клиент-поставщик и пиринговыми отношениями: абонент получает маршруты от клиентов и пиров провайдера, а не поставщиков провайдера. С целью повышения точности исследователь может использовать дополнительными топологиями и показать, что работа не особенно чувствительна к модельным предположениям. Забыв об упроще-

нии и предполагая, что все политики подходят к модели, и упрощается сам АС-граф, отношения могут быть представлены на графе простыми метками для каждой дуги. Другой подход заключается в выводе более общего набора политик в соответствии с наблюдениями маршрутов с использованием измерений маршрутизации [26, 31] и оценки производительности на основе сравнения предсказанных маршрутов с существующими.

На рис. 1 представлен пример мультиграфа для участка объединенной сети, выполненный на основе графа из [32].

Формально граф из [32] можно представить как:

$$G_1 = \{ AS, L \}, \quad (1)$$

где AS множество узлов графа – автономные системы, а L множество ребер графа – связи между автономными системами.

Каждое ребро такого графа можно представить как:

$$l_k = \langle as_i, as_j \rangle, \quad (2)$$

где $l_k - k$ -е ребро графа, as_i, as_j – автономные системы, связанные данным ребром и представленные своими номерами.

Ребра графа в таком представлении характеризует пропускную способность линии связи, узлы графа содержит номера автономных систем.

Расширенное представление АС-связности:

$$G_2 = \{ AS, R \}, \quad (3)$$

где R – множество ребер мультиграфа, причем $L \subset R$.

Каждое ребро такого мультиграфа можно представить как:

$$r_k = \langle \overline{as_i}, \overline{as_j} \rangle, \quad (4)$$

где $r_k - k$ -е ребро графа, $\overline{as_i}, \overline{as_j}$ – автономные системы, связанные данным ребром.

Автономные системы в данном случае представлены не только своими номерами, но и другими параметрами, поэтому являются не скалярными, а векторными величинами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследовании области маршрутизации Интернет недостатки исследований, связанные с неполнотой представления АС-топологии на основе собранных данных особой роли не играют, так как граничному маршрутизатору не обязательно знать всю топологию АС-уровня. Достаточно знать топологию области определенного диаметра, чтобы распределять потоки пакетов оптимальным образом. Несмотря на это все выше описанное, что касается представления АС-уровня топологии в графовом виде (возможности наилучшего описания, приближенного к текущей ситуации в локальной области Интернет), подходит для описания локальной области с позиции АС.

В данной работе была предпринята попытка создания мультиграфовой модели связности автономных систем, учитывающих особенности отношений между автономными системами. Семантическое наполнение данной модели является предметом дальнейших исследований.

БЛАГОДАРНОСТИ

Статья публикуется при поддержке гранта РФФИ “Разработка моделей информационных процессов в компьютерных сетях” (13-07-00381).

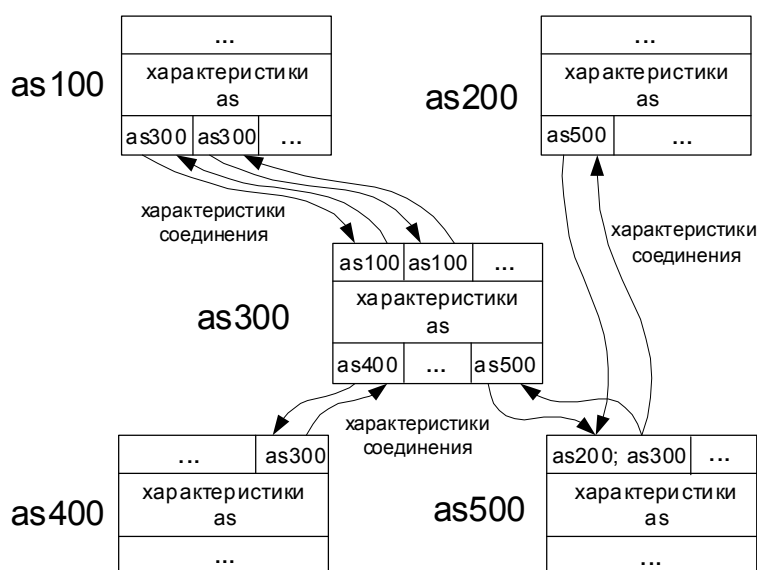


Рис. 1. Пример АС-мультиграфа

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Плявский С.А.* Телекоммуникационная среда поддержки инновационной деятельности // Проблемы управления. 2005. №1. СС 45-50
2. Address Allocation for Private Internets / *Y. Rekhter, B. Moskowitz, D. Karrenberg, G.J.d. Groot, E. Lear*. URL: <http://tools.ietf.org/html/rfc1597> / (дата обращения 21.11.2013)
3. An analysis of BGP multiple origin AS (MOAS) con?icts / *X. Zhao, D. Pei, L. Wang, D. Massey, A. Mankin, S. F. Wu, and L. Zhang* // 1st ACM SIGCOMM Workshop on Internet Measurement, IMW '01, ACM. 2001. P. 31-35.
4. Towards an AS-to-Organization Map / *X. Cai, J. Heidemann, B. Krishnamurthy, W. Willinger* // ACM Sigcomm IMC, Melbourne, Australia. 2010. URL: <http://www.isi.edu/~johnh/PAPERS/Cai10c.pdf> / (дата обращения 21.11.2013)
5. Internet optometry: assessing the broken glasses in Internet reachability / *R. Bush, O. Maennel, M. Roughan, S. Uhlig* // in ACM SIGCOMM Internet Measurement Conference, New York, USA ACM. 2009. P. 242-253.
6. University of Oregon RouteViews project. URL: <http://www.routeviews.org/> (дата обращения 21.11.2013).
7. RIPE's Routing Information Service. URL: <http://ris.ripe.net/> / (дата обращения 21.11.2013).
8. Antony A. Uijterwaal H. Routing Information Service – R.I.S. Design Note. URL: <ftp://ftp.ripe.net/ripe/docs/ripe-200.pdf> / (дата обращения 21.11.2013).
9. The Cooperative Association for Internet Data Analysis. URL: <http://www.caida.org/> (дата обращения 21.11.2013)
10. The DIMES project. URL: http://www.netdimes.org / (дата обращения 21.11.2013).
11. *Jacobson V.* Traceroute. URL: <ftp://ftp.ee.lbl.gov/traceroute.tar.gz> / (дата обращения).
12. *Norton W.B.* Internet Service Providers and Peering. URL: <http://drpeering.net/white-papers/Internet-Service-Providers-And-Peering.html> / (дата обращения 21.11.2013)
13. *Norton W.B.* A Study of 28 Peering Policies. URL: <http://drpeering.net/white-papers/Peering-Policies/A-Study-of-28-Peering-Policies.html> / (дата обращения 21.11.2013).
14. *Huston G.* Peering and Settlements - Part I // The Internet Protocol Journal. 1999. Vol. 2 (1). P. 2-16.
15. *Huston G.* Peering and Settlements - Part II//The Internet Protocol Journal. 1999. Vol. 2 (2). P. 5-23.
16. *Peha J.* Retransmission Mechanisms and Self-Similar Traffic Models//in IEEE/ACM/SCS Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference, 1997. URL: <http://users.ece.cmu.edu/~peha/self.pdf> / (дата обращения 21.11.2013).
17. Development of an Internet Backbone Topology for Large-Scale Network Simulations / *M. Liljenstam, J. Liu, D. Nicol* // in Proc. 2003 Winter Simulation Conference, New Orleans, USA. 2003. P. 694-702.
18. Quantifying the causes of path inflation / *N. Spring, R. Mahajan, T. Anderson* // in ACM SIGCOMM, Karlsruhe, Germany. 2003. URL: <http://128.8.127.3/~nspring/papers/pathpolicy.pdf> / (дата обращения 21.11.2013).
19. Error and attack tolerance of complex networks / *R. Albert, H. Jeong, A.-L. Barabasi* // Nature. 2000. Vol. 406. P. 378-382.
20. Dynamics of Hot-Potato Routing in IP Networks / *R. Teixeira, A. Shaikh, T. G. Griffin, J. Rexford* // ACM SIGMETRICS '04, New York, USA. 2004. P. 307–319.
21. Network sensitivity to hot-potato disruptions / *R. Teixeira, A. Shaikh, T. G. Griffin, G. M. Voelker* // in ACM SIGCOMM '04, New York. 2004. P. 231–244.
22. Traffic Matrix Reloaded: Impact of Routing Changes / *R. Teixeira, N. G. Duffield, J. Rexford, M. Roughan* // in Proc. Passive and Active Measurement Workshop (PAM). 2005. URL: <https://www.cs.princeton.edu/~jrex/papers/pam05.pdf> / (дата обращения 21.11.2013).
23. Traceroute and BGP AS path incongruities / *Y. Hyun, A. Broido, K.C. Claffy* // technical report, UCSD CAIDA. 2003. <http://www.caida.org/publications/papers/2003/ASP/> / (дата обращения 21.11.2013).
24. On Properties of Internet Exchange Points and Their Impact on AS Topology and Relationship / *K. Xu, Z. Duan, Z.-L. Zhang, and J. Chandrashekar* // Networking, Springer-Verlag, LNCS. 2004. Vol. 3042. P. 284-295.
25. Augustin B. IXPs: Mapped? / *B. Augustin, B. Krishnamurthy W. Willinger* // in SIGCOMM IMC'09. 2009. P. 336-349.
26. Building an AS-topology model that captures route diversity / *W. Muehlbauer, A. Feldmann, O. Maennel, M. Roughan, S. Uhlig* // in ACM SIGCOMM, Pisa, Italy. 2006. P. 195-206.
27. Characterizing the Internet hierarchy from multiple vantage points / *L. Subramanian, S. Agarwal, J. Rexford, R. Katz* // in Infocom, 2002. URL: <http://www.cs.nyu.edu/~lakshmi/infocom02.pdf> / (дата обращения 21.11.2013).
28. *Wang F., Gao L.* On Inferring and Characterizing Internet Routing Policies // in ACM SIGCOMM/USENIX Internet Measurement Conference, Miami, Florida, USA. 2003. URL: http://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1089&context=cs_faculty_pubs / (дата обращения 21.11.2013).
29. *Xia J., Gao L.* On the evaluation of AS relationship inferences // in Globecom. 2004. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.60.9720&rep=rep1&type=pdf> / (дата обращения 21.11.2013).
30. *Yoshinobu M.* What makes our policy messy. 2010. URL: <http://www.attn.jp/maz/p/c/bgpworkshop200904/bgpworkshop-policy.pdf> / (дата обращения 21.11.2013).
31. On AS-level path inference / *Z. Mao, L. Qiu, J. Wang, Y. Zhang* // in ACM SIGMETRICS. 2005. URL: <https://www.cs.utexas.edu/users/yzhang/papers/routescope-sigm05.pdf> / (дата обращения 21.11.2013).
32. *Стуликова К.А., Полукаров Д.Ю.* Правила формирования онтологии области маршрутизации для системы анализа потоков данных междоменной маршрутизации // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XV Международ-

ной конференции. Самара, 2013. С.429-432.
33. *Willinger W., Roughan M.* Internet Topology Research Redux // ACM SIGCOMM eBook: Recent Advances

in Networking. 2013. URL: <https://www.cl.cam.ac.uk/teaching/1314/R02/sigcomm/sigcomm-ebook-2013paper7.pdf> / (дата обращения 21.11.2013).

PROBLEM OF AUTONOMOUS SYSTEM'S INTERPRETATION BY A GRAPH

© 2014 К.А. Стуликова, Д.Ю. Полухаров

Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara

The accuracy of aspects, processes and structural features of the Internet is important for research performance, reliability, also for modeling and building systems analysis network. At present a number of papers published that describe various aspects of the Internet. Large amount of data collected. It makes easier next research. However, a number of important issues in the research must be considered. This article describes these features and problems associated with them.

Keywords: autonomous system, graph, routing, BGP.

Kristina Stulikova, Post Graduate Student at the Information Systems and Technologies Department.

E-mail: kr.stulikova@gmail.com

Danil Polukarov, Candidate of Technics, Associate Professor at the Information Systems and Technologies Department.

E-mail: plkw@mail.ru