

Staukontrolle durch Active Queue Management

Thomas Fischer, Dominik Billing

Masterseminar Kommunikationssysteme

Lehr- und Forschungseinheit für Kommunikationssysteme und Systemprogrammierung

Ludwig-Maximilians-Universität München

Zusammenfassung—Dieser Artikel beschreibt die Problematik im Internet, die durch den Einsatz von konventioneller Staukontrolle in Routern und die Struktur des Internets hervorgerufen wird. Die Problematik konventioneller Staukontrolle liegt darin, dass Pakete wahllos fallen gelassen werden und es auf diese Art zu großem Overhead kommt, der durch Flaschenhälse im Internet noch verstärkt wird.

Wir werden als Lösung für das Problem der Staukontrolle im Internet Active Queue Management herausarbeiten. Hierbei werden Pakete nicht wahllos fallen gelassen, sondern im Gegensatz alle Flüsse gleich behandelt und nachfolgende Router mittels markierter Pakete darüber informiert, dass es zu Staus kommen kann. Active Queue Management ist der Überbegriff von Methoden, um die mittlere Pufferauslastung der Router möglichst gering zu halten. Anschließend werden wir die Active Queue Management Methoden RED, BLUE, PI und ECN vorstellen und miteinander vergleichen.

I. EINFÜHRUNG UND MOTIVATION

Nach Floyd [1] sind Ende-zu-Ende (E2E) Staukontrollmechanismen von TCP mittlerweile ein kritischer Faktor in der Robustheit des Internets. Das Internet wächst unaufhaltsam weiter, es gibt keine eng verknüpfte Netzgemeinschaft mehr und nicht jeder Endknoten verwendet die E2E Staukontrolle für bestmöglichen Datenfluss. Entwickler kümmern sich nicht länger darum, E2E Staukontrolle in ihre Internet-Anwendungen zu integrieren. Die Konsequenz davon ist, dass das Netzwerk selbst seine Ressourcennutzung kontrolliert.

Graffi [2] beschreibt, dass Bandbreite aktuell die knappste Ressource in Netzwerken ist. Die eingehenden und ausgehenden Bandbreiten normaler ADSL Verbindungen sind unterschiedlich. Typischerweise ist die ausgehende Bandbreite deutlich kleiner als die eingehende. Das bedeutet, dass nicht alle eingehenden Daten verarbeitet und weitergesandt werden können. Staus sind also Probleme, die hier auftreten können, wenn keine angemessenen Mechanismen angewendet werden. Das TCP-Protokoll sieht vor, Pakete nach dem "First in First out"-Prinzip fallenzulassen, wenn die Puffer voll laufen.

Die Problemstellung hier ist es also Mechanismen zu finden, Staus in E2E Verbindungen zu kontrollieren. Nach Le [3] soll die durchschnittliche Pufferausnutzung klein gehalten werden, damit E2E Staukontrolle ermöglicht wird.

Das folgende Kapitel (Kapitel II) beschreibt die generellen Konzepte der Staukontrolle in Netzen. In Kapitel III wird Active Queue Management definiert und einige Anwendungsfälle davon präsentiert. Die Active Queue Management Algorithmen RED, BLUE, ECN und PI werden in Kapitel IV vorgestellt und in Kapitel V miteinander verglichen. Ein Ausblick zu zukünftigen Entwicklungen und Forschungen

sowie andere Ansätze zur Staukontrolle zusammen mit den zusammengefassten Ergebnissen erfolgt in Kapitel VI.

II. STAUKONTROLLE IN NETZEN

Die Internet Protokoll Architektur basiert auf einem verbindungslosen E2E Paketdienst, der das IP Protokoll benutzt [4]. Die vielen Vorteile dieses verbindungslosen Designs, der Flexibilität und Robustheit wurden schon oft beschrieben. Allerdings kommen diese Vorteile zu einem Preis. Sorgfältiges Design ist benötigt, um einen guten Dienst zu leisten bei hoher Last. Fehlende Aufmerksamkeit bei den Dynamiken des Paketweiterleitens kann in ernsthafter Dienstdegradation enden oder „Internet Zusammenbruch“. Dieses Phänomen wurde während der ersten Wachstumsphase des Internets in den 1980er Jahren festgestellt und wird „congestion collapse“ [5] genannt. Bereits 1986 wurden von Jacobson entwickelte Stauverhinderungsmechanismen für Hosts entwickelt, die auch aktuell einen „congestion collapse“ verhindern [4].

Da das Internet seit dieser Zeit immer weiter wächst, wurde es offensichtlich, dass TCP Stauverhinderungsmechanismen [6], die absolut wichtig, nötig und mächtig sind, nicht unter allen Umständen ausreichend gute Dienste leisten. Das Hauptproblem liegt darin, dass von den Enden der Netzwerke nur bedingt Kontrolle ausgeübt werden kann. Deshalb müssen auch in Routern Mechanismen angewendet werden, die die Stauverhinderungsmechanismen der Endpunkte ergänzen. Hierbei muss man zwischen den beiden Klassen „Queue Management“ und „Scheduling“ von Router Algorithmen unterscheiden. Queue management Algorithmen verwalten die Länge von Paket-Puffern durch Fallenlassen von Paketen wenn nötig oder angemessen. Scheduling Algorithmen legen fest, welche Pakete als nächstes gesendet werden sollen und können primär dafür genutzt werden, die Zuweisung von Bandbreite zwischen den Datenströmen zu verwalten [4].

Nach Jain [7] gibt es zwei Gründe, warum das Problem der Staukontrolle in Netzwerken sehr schwierig ist. Erstens gibt es Voraussetzungen für Staukontroll Schemas, die es schwierig machen eine zufriedenstellende Lösung zu finden. Zweitens gibt es unzählige Netzwerkregeln, die das Design eines Stauschemas beeinflussen. Das sind die Gründe, warum ein Schema, das für ein Netzwerk entwickelt wurde, in einem anderen Netzwerk nicht funktioniert. Grundbedingung für Schemas zur Staukontrolle sind: Das Schema muss einen kleinen Overhead haben, alle Datenströme gleichbehandeln, schnell auf andere Situationen reagieren können, in schlechten Umgebungen funktionsfähig sein und für alle Benutzer optimal sein.

- Vorschläge zur Staukontrolle *wirklich sehr gute Quelle*
- Vorschläge zur Gewährleistung und Verbesserung der Internetperformance [4]
- Mechanismen zur Staukontrolle in ATM Netzwerken
- Auswahlkriterien zwischen den beiden Ansätzen rate-based und credit-based [8].
- Standard TCP Verhalten bei Staus
- Warum ist es keine gute Idee TCP die Staukontrolle selbst zu machen [9]? Gleichbehandlung aller Datenströme [10].
- Explicit Congestion Notification
- Vor- und Nachteile von ECN bei TCP [11]
- Router Mechanismen zur Staukontrolle
- Vor- und Nachteile von normaler Staukontrolle in Routern [1]
- Überleitung zu Active Queue Management
- Active Queue Management ist eine Lösungsansatz zur Staukontrolle [2]

III. DEFINITION UND ANWENDUNG VON ACTIVE QUEUE MANAGEMENT

- Wirklich gute Quelle hierfür ist [4] Kapitel 2
- Effizientes Active Queue Management in Internet Routern [12]
- Dimensionierung von Router Puffern [13]
- Stochastische Modellierung und die Theorie von Queues [14]
- Analyse und Simulation eines gleichbehandelnden Queue Algorithmus [15]

IV. DIE GÄNGIGSTEN ACTIVE QUEUE MANAGEMENT ALGORITHMEN

- RED (Random Early Detection) [16] [17]
- Adaptive RED[18]
- BLUE [19]
- ECN [20]
- PI Controller [21]

V. VERGLEICH DER VORGESTELLTEN ALGORITHMEN

- Vergleich RED, ARED, PI [3]
- Vergleich RED, PI [22]
- Vergleich RED, BLUE, ARED, ECN, PI [2]

VI. AUSBLICK UND ANDERE ANSÄTZE

- Ein wirklich optimaler Algorithmus muss noch gefunden werden [2]
- Statt Staukontrolle andere Wege suchen (CHOKe) [23]

LITERATUR

- [1] S. Floyd und K. Fall, "Router mechanisms to support end-to-end congestion control," Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley CA, Tech. Rep., 1997.
- [2] K. Graffi, K. Pussep, N. Liebau, und R. Steinmetz, "Taxonomy of active queue management strategies in context of peer-to-peer scenarios," Technische Universität Darmstadt, Tech. Rep., 2007.
- [3] L. Le, J. Aikat, K. Jeffay, und F. Smith, "The effects of active queue management on web performance," in *Proceedings of the 2003 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications*, Ser. SIGCOMM '03. ACM, 2003.
- [4] B. Braden, D. Clark, J. Crowcroft, B. Davie, S. Deering, D. Estrin, S. Floyd, V. Jacobson, G. Minshall, C. Partridge, L. Peterson, K. Ramakrishnan, S. Shenker, J. Wroclawski, und L. Zhang, "Recommendations on queue management and congestion avoidance in the internet," United States, 1998.
- [5] J. Nagle, "Congestion control in ip/tcp internetworks," *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 14, Nr. 4, pp. 11–17, Okt. 1984. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1024908.1024910>
- [6] W. Stevens, "Tcp slow start, congestion avoidance, fast retransmit, and fast recovery algorithms," United States, 1997.
- [7] R. Jain, "Congestion control in computer networks: issues and trends," *Network, IEEE*, vol. 4, Nr. 3, pp. 24–30, Mai 1990.
- [8] —, "Congestion control and traffic management in atm networks: Recent advances and a survey," *Comput. Netw. ISDN Syst.*, vol. 28, Nr. 13, pp. 1723–1738, Okt. 1996. [Online]. Available: [http://dx.doi.org/10.1016/0169-7552\(96\)00012-8](http://dx.doi.org/10.1016/0169-7552(96)00012-8)
- [9] R. Morris, "Tcp behavior with many flows," in *Proceedings of the 1997 International Conference on Network Protocols (ICNP '97)*, Ser. ICNP '97. IEEE Computer Society, 1997.
- [10] B. Suter, T. Lakshman, D. Stiliadis, und A. Choudhury, "Design considerations for supporting tcp with per-flow queueing," in *INFOCOM '98. Seventeenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, vol. 1, Mär. 1998, pp. 299–306vol.1.
- [11] S. Floyd, "Tcp and explicit congestion notification," *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 24, Nr. 5, pp. 8–23, Okt. 1994.
- [12] B. Suter, T. Lakshman, D. Stiliadis, und A. Choudhury, "Efficient active queue management for internet routers," in *Proceedings of INTEROP, Engineering Conference*, 1998.
- [13] G. Appenzeller, I. Keslassy, und N. McKeown, "Sizing router buffers," *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 34, Nr. 4, pp. 281–292, Aug. 2004.
- [14] R. Wolff, *Stochastic modeling and the theory of queues*. Prentice Hall, 1998.
- [15] A. Demers, S. Keshav, und S. Shenker, "Analysis and simulation of a fair queueing algorithm," *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 19, Nr. 4, pp. 1–12, Aug. 1989.
- [16] S. Floyd und V. Jacobson, "Random early detection gateways for congestion avoidance," *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, vol. 1, Nr. 4, pp. 397–413, Aug. 1993.
- [17] V. Firoiu und M. Borden, "A study of active queue management for congestion control," in *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, vol. 3, Mär. 2000, pp. 1435–1444vol.3.
- [18] S. Floyd, R. Gummadi, und S. Shenker, "Adaptive red: An algorithm for increasing the robustness of red's active queue management," AT&T Center for Internet Research at ICSI, Tech. Rep., 2001.
- [19] W. Feng, K. Shin, D. Kandlur, und D. Saha, "The blue active queue management algorithms," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 10, Nr. 4, pp. 513–528, Aug. 2002.
- [20] K. Ramakrishnan, S. Floyd, und D. Black, "The addition of explicit congestion notification (ecn) to ip," United States, 2001.
- [21] C. Hollo, V. Misra, D. Towsley, und W.-B. Gong, "On designing improved controllers for aqm routers supporting tcp flows," in *INFOCOM 2001. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, vol. 3, 2001, pp. 1726–1734vol.3.
- [22] S. Kunniyur und R. Srikant, "Analysis and design of an adaptive virtual queue (avq) algorithm for active queue management," *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 31, Nr. 4, pp. 123–134, Aug. 2001.
- [23] R. Pan, B. Prabhakar, und K. Psounis, "Choke - a stateless active queue management scheme for approximating fair bandwidth allocation," in *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, vol. 2, 2000, pp. 942–951vol.2.
- [24] S. Athuraliya, S. Low, V. Li, und Q. Yin, "Rem: active queue management," *Network, IEEE*, vol. 15, Nr. 3, pp. 48–53, Mai 2001.