

Estado del arte

(revisar si poner definiciones de conceptos)

Hace más de dos décadas que se discuten maneras de mejorar la calidad de servicio de Internet [1], y las arquitecturas más utilizadas hoy en día, los Servicios Integrados [2] y Servicios Diferenciados [3], [4], fueron definidos en 1994 y 1998 respectivamente. A pesar de lo anterior, en la actualidad Mejor Esfuerzo sigue siendo la política por defecto para todo el tráfico que va por la capa de transporte [5].

Arquitecturas QoS

Mejor Esfuerzo

Es el modelo predeterminado utilizado en Internet y no implementa ningún mecanismo de QoS en absoluto. Este no permite la reserva de recursos ni ningún otro mecanismo relacionado con solicitar algún tipo de tratamiento especial a la red. Por esta razón, el modelo Mejor Esfuerzo no funciona muy bien con aplicaciones que tienen demandas de tráfico en tiempo real. En estos casos, con aplicaciones compitiendo por recursos, la calidad de la experiencia del usuario final podría ser muy deficiente si no existe otro mecanismo para gestionar la falta de equidad [6].

Servicios Integrados

Servicios Integrados se basa en flujos, utilizando direcciones IP de origen y destino, así como puertos. Con este modelo, las aplicaciones solicitan una reserva explícita de recursos por flujo. Los dispositivos de red llevan un seguimiento de todos los flujos que atraviesan los nodos, verificando si los nuevos paquetes pertenecen a un flujo existente y si hay suficientes recursos de red disponibles para aceptar el paquete. La escalabilidad de este modelo está limitada por el alto consumo de recursos en los nodos de red causado por el procesamiento por flujo y el estado asociado [6].

Servicios Diferenciados

Servicios Diferenciados se basa en clases de servicio y comportamientos por salto asociados a cada clase. En este caso, no es necesario que las aplicaciones soliciten explícitamente una reserva de recursos a la red. Se basa en preferencias estadísticas por clase de tráfico. En este modelo, el encabezado IPv4 contiene un byte conocido como “Tipo de Servicio”. Los Servicios Diferenciados definen cómo se utiliza este byte y cómo se debe manejar el reenvío de paquetes [6].

Análisis de robustez de Internet

Un ataque o fallo corresponde al daño experimentado por una red. Este daño puede dirigirse a nodos o enlaces específicos, o ser aleatorio [7], [8]. Los elementos dañados generalmente se consideran eliminados de la red. Si un nodo es eliminado por un ataque, se asume que todos sus enlaces e interconexiones asociados también se eliminan.

Teniendo en cuenta lo anterior, se llevó a cabo una investigación que se fundamenta en modelos inspirados en la actual estructura de Internet, permitiendo analizar las implicaciones que distintos tipos de ataques o fallos en la red física pueden tener sobre el sistema. En paralelo, se diseñaron herramientas específicas que posibilitan representar de manera precisa el impacto que catástrofes naturales, como terremotos o tsunamis, ejercen sobre las redes. El objetivo principal de este trabajo fue comprender la interacción entre el efecto de percolación y los procesos de enrutamiento de Internet. Esta fase profundiza en los detalles del proceso de percolación experimentado por la red de Internet cuando se modela como una red interdependiente físico-lógica, comparándola con resultados previos obtenidos al analizar el comportamiento promedio del sistema [9].

En el contexto de las redes complejas (una red que presenta una topología no trivial [10]), la teoría de la percolación se utiliza como un marco teórico para estudiar la propagación de fallos o fallos en cascada [11]. En el contexto de estudios de percolación, $(1 - p)$ es la probabilidad de que un nodo se

desconecte de su red (es decir, falle). El **umbral de percolación**, generalmente denotado por p_c , representa el valor crítico en el cual, si $p < p_c$, no es posible identificar un componente gigante conectado en el sistema. Aquí, cuanto menor sea el valor de p_c , se considera que el sistema es más robusto, ya que esto implica un valor más alto de $(1 - p_c)$. La interpretación de la robustez de esta métrica es que un p_c más bajo significa que es posible desconectar una mayor cantidad de nodos antes de llegar al punto de colapso del sistema. Al estudiar la percolación de un sistema interdependiente, pueden ocurrir transiciones de fase de primer y segundo orden. Las transiciones de fase de primer orden representan un colapso abrupto del sistema a medida que $(1 - p)$ aumenta. Las transiciones de fase de segundo orden representan un decaimiento continuo del sistema donde no se puede detectar un colapso abrupto.

Simuladores de redes

Para llevar a cabo las simulaciones, se investigó sobre los programas utilizados en la literatura. En su mayoría, no se proporciona información detallada sobre cómo se ejecutaron las simulaciones ni sobre los datos utilizados. A continuación, se presenta la información recopilada por el autor, excluyendo aquellos que carecían de detalles al respecto:

- **Brite:** Este programa se utilizó para generar topologías, pero lamentablemente está obsoleto y sin soporte por parte de sus desarrolladores [12]–[14].
- **OPNET Modeler:** Aunque es un simulador bastante completo con diversas funcionalidades útiles, su acceso requiere pago, lo que lo excluye para su uso por parte del autor [15], [5].
- **ns-2:** Este simulador de eventos discretos, de código abierto, ha sido utilizado para estudiar redes. Aunque actualmente está obsoleto, existe una versión actualizada llamada ns-3, también de código abierto, que se puede considerar como alternativa [13], [16].
- **BGP++:** Es una implementación de BGP que se basa en ns-2 y resulta bastante útil para los objetivos de este trabajo, pero lamentablemente no se pudo encontrar información detallada al respecto [17].

Después de la investigación, se tomó la decisión de utilizar el simulador ns-3 [18], el cual se adapta de manera significativa a las necesidades que puedan surgir a lo largo de la investigación.

Estado actual

A lo largo de los años se han planteado diversas técnicas para medir, monitorear y mejorar la calidad de servicio en redes [6], [19], [13], sin embargo, estas soluciones tienden a enfocarse en situaciones de operación normal de la red. Asimismo, las simulaciones realizadas suelen ser bastante simplistas, sin considerar la complejidad de las redes reales, como son los casos de estudio de evaluación de rendimiento en redes de siguiente generación [5] y comparación de arquitecturas QoS para IPv4 e IPv6 [15].

No obstante, hasta donde sabe el autor de este documento, no se han efectuado trabajos hasta el momento acerca de la degradación de la calidad de servicio de Internet en relación con el efecto de percolación que experimenta la red. A pesar de los numerosos estudios y técnicas desarrolladas para mejorar la QoS en condiciones normales de operación de la red [5], [15], [20], no se ha dedicado suficiente atención a comprender cómo las desconexiones y transiciones de fase que sufre la topología afectan la experiencia del usuario.

Un trabajo novedoso en esta área permitirá una mejor comprensión de cómo estos eventos afectan la calidad de servicio y proporcionará a administradores de red y proveedores de servicios herramientas y recomendaciones prácticas para optimizar la experiencia del usuario en situaciones de desconexión.

Bibliografía

- [1] P. Ferguson and G. Huston, "Quality of service in the internet: Fact, fiction, or compromise?," *AUUGN 1998*, pp. 231–256, 1998.
- [2] R. T. Braden, D. D. D. Clark, and S. Shenker, "Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview." [Online]. Available: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc1633>
- [3] F. Baker, D. L. Black, K. Nichols, and S. L. Blake, "Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers." [Online]. Available: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc2474>
- [4] D. L. Black, Z. Wang, M. A. Carlson, W. Weiss, E. B. Davies, and S. L. Blake, "An Architecture for Differentiated Services." [Online]. Available: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc2475>
- [5] F. Bensalah, A. Bahnasse, and M. El Hamzaoui, "Quality of Service Performance Evaluation of Next-Generation Network," in *2019 2nd International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS)*, 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/CAIS.2019.8769576.
- [6] X. Xiao and L. Ni, "Internet QoS: a big picture," *IEEE Network*, vol. 13, no. 2, pp. 8–18, 1999, doi: 10.1109/65.768484.
- [7] S. Watanabe and Y. Kabashima, "Cavity-based robustness analysis of interdependent networks: Influences of intranetwork and internetwork degree-degree correlations," *Phys. Rev. E*, vol. 89, no. 1, p. 12808–12809, Jan. 2014, doi: 10.1103/PhysRevE.89.012808.
- [8] W. K. Chai, V. Kyritsis, K. V. Katsaros, and G. Pavlou, "Resilience of interdependent communication and power distribution networks against cascading failures," in *2016 IFIP Networking Conference (IFIP Networking) and Workshops*, 2016, pp. 37–45. doi: 10.1109/IFIPNetworking.2016.7497224.
- [9] I. F. Bachmann Espinoza, "Methods based on interdependent networks to analyze the robustness of the internet," 2022, [Online]. Available: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/189099>
- [10] G. Caldarelli, "Complex Networks: Principles, Methods and Applications by Vito Latora, Vincenzo Nicosia and Giovanni Russo," *Journal of Complex Networks*, vol. 6, no. 5, p. 830–831, 2018, doi: 10.1093/comnet/cnx062.
- [11] D. Stauffer and A. Aharony, *Introduction to percolation theory*. CRC press, 2018.
- [12] L. Xiao, K.-S. Lui, J. Wang, and K. Nahrstedt, "QoS extension to BGP," in *10th IEEE International Conference on Network Protocols, 2002. Proceedings.*, 2002, pp. 100–109. doi: 10.1109/ICNP.2002.1181390.
- [13] D. Griffin *et al.*, "Interdomain routing through QoS-class planes [Quality-of-Service-Based Routing Algorithms for Heterogeneous Networks]," *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, no. 2, pp. 88–95, 2007, doi: 10.1109/MCOM.2007.313401.
- [14] T. Zhang, Y. Cui, Y. Zhao, L. Fu, and T. Korkmaz, "Scalable BGP QoS Extension with Multiple Metrics," in *International conference on Networking and Services (ICNS'06)*, 2006, p. 80–81. doi: 10.1109/ICNS.2006.96.
- [15] H. Al-Fayyadh and M. Koyuncu, "Comparison of QoS architectures for VoIP traffics in IPv4 and IPv6," in *2016 IEEE 10th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*, 2016, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICAICT.2016.7991734.

- [16] M. Yuksel, K. K. Ramakrishnan, S. Kalyanaraman, J. D. Houle, and R. Sathvani, "Value of Supporting Class-of-Service in IP Backbones," in *2007 Fifteenth IEEE International Workshop on Quality of Service*, 2007, pp. 109–112. doi: 10.1109/IWQOS.2007.376555.
- [17] L. Benmohamed, B. Doshi, T. DeSimone, and R. Cole, "Inter-domain routing with multi-dimensional QoS requirements," in *MILCOM 2005 - 2005 IEEE Military Communications Conference*, 2005, pp. 265–271. doi: 10.1109/MILCOM.2005.1605696.
- [18] "ns-3 Network Simulator." Accessed: Jan. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.nsnam.org/>
- [19] P. Levis, M. Boucadair, P. Morand, and P. Trimintzios, "The Meta-QoS-Class concept: a step towards global QoS interdomain services," in *Proc. IEEE, SoftCOM*, 2004.
- [20] G. Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, no. 3, pp. 535–547, 2000, doi: 10.1109/49.840210.