



図8 ホップ長の小さなトポロジーと比べたときの増設量の差

5. まとめと今後の課題

本稿では、トポロジーが有する構造の多様性を測る指標として相互情報量に着目した。相互情報量を用いてルーターレベルトポロジーを評価しており、確率的に生成されたトポロジーの相互情報量が小さく、多くのルーターレベルトポロジーの相互情報量が大きいたことが分かった。また多様性が低いルーターレベルトポロジーと、多様性を高めたトポロジーを用いて、トラフィック需要の変動が生じたときに必要となる回線設備量の増設量を評価した。結果から、多様性を高めたトポロジーの増設量が多様性の低いトポロジーの増設量に比べて少ないことを示した。そして、これはホップ長の違いのみによるものではなく、多様性の違いが一因にあると考えられることを述べた。

今後の課題として、長期のトラフィック需要の変動を与え、積み重なっていく設備量の評価を行うなどして、トラフィック需要の変動に対する耐性をさらに評価することが挙げられる。また構造の多様性を表す相互情報量を適応性や拡張性の高いネットワーク設計に適用することも挙げられる。

謝 辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費基盤研究(A)24240010によって行われている。ここに記して謝意を表す。また、本研究の遂行にあたり、有意義な議論をしていただいたKDDI研究所の阿野茂浩氏、荻野長生氏、小頭秀行氏に感謝いたします。

文 献

- [1] M. Faloutsos, P. Faloutsos, and C. Faloutsos, "On power-law relationships of the Internet topology," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 29, pp. 251–262, Oct. 1999.
- [2] A.-L. Barabási and R. Albert, "Emergence of scaling in random networks," *Science*, vol. 286, pp. 509–512, Oct. 1999.
- [3] R. Albert, H. Jeong, and A. Barabasi, "Error and attack tolerance of complex networks," *Nature*, vol. 406, pp. 378–382, July 2000.
- [4] K. L. Goh, B. Kahng, and D. Kim, "Universal behavior of load distribution in scale-free networks," *Physical Review Letters*, vol. 87, Dec. 2001.
- [5] L. Li, D. Alderson, W. Willinger, and J. Doyle, "A first-principles approach to understanding the Internet's router-level topology," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 34, pp. 3–14,

Oct. 2004.

- [6] 荒川伸一, 滝根哲哉, 村田正幸, "通信ネットワークのトポロジー構成のモデル化と性能評価への応用," 電子情報通信学会技術研究報告(NS2011-110), vol. 111, pp. 37–42, Nov. 2011.
- [7] 松井佑記, "ISPトポロジーにおける局所連結性が回線容量制約下のフロー量分布に与える影響," 大阪大学基礎工学部情報科学科特別研究報告, pp. 1–33, Feb. 2012.
- [8] T. Hirayama, S. Arakawa, S. Hosoki, and M. Murata, "Models of link capacity distribution in ISP's router-level topology," *International Journal*, vol. 3, pp. 205–216, Sept. 2011.
- [9] R. Milo, S. Shen-Orr, S. Itzkovitz, N. Kashtan, D. Chklovskii, and U. Alon, "Network motifs: Simple building blocks of complex networks," *Science*, vol. 298, pp. 824–827, Oct. 2002.
- [10] S. Arakawa, T. Takine, and M. Murata, "Analyzing and modeling router-level Internet topology and application to routing control," *Computer Communications*, vol. 35, pp. 980–992, May 2012.
- [11] R. Solé and S. Valverde, "Information theory of complex networks: On evolution and architectural constraints," *Complex networks*, vol. 650, pp. 189–207, Aug. 2004.
- [12] N. Spring, R. Mahajan, D. Wetherall, and T. Anderson, "Measuring ISP topologies with rocketfuel," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 12, pp. 2–16, Feb. 2004.
- [13] P. Erdős and A. Rényi, "On random graphs," *Publicationes Mathematicae Debrecen*, vol. 6, pp. 290–297, 1959.
- [14] M. Pentz, "Verio grows big with small clients," *Business Journals*, Feb. 1999.
- [15] P. Mahadevan, D. Krioukov, K. Fall, and A. Vahdat, "Systematic topology analysis and generation using degree correlations," in *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 36, pp. 135–146, Oct. 2006.