

Analyzing and Utilizing the Collaboration Structure in Router-level Internet Topologies

ルータレベルトポロジーのコラボレーション構造の分析と応用

大阪大学 大学院情報科学研究科
 情報ネットワーク学専攻 博士前期課程2年
 村田研究室
 中田 侑

研究背景

- 情報ネットワークが社会インフラ化
 - 一般消費者や、企業・大学などの様々な組織が利用
 - 高い故障耐性が必要
 - リンクやルータの障害時に継続して利用可能
 - 故障に対する信頼性を維持するための制御手法
 - 障害発生時の迅速な経路の切り替え [1,2]
 - 多くの制御手法では物理トポロジーの構造を考慮していない
 - 故障発生時にネットワークが分断されると、代替経路が見つからない
- ↓
- 高い故障耐性を持つ物理トポロジーが必要

[1] L. Shen, X. Yang, and B. Ramamurthy, "Shared risk link group (SRLG)-diverse path provisioning under hybrid service level agreements in wavelength-routed optical mesh networks," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 13, no. 4, pp. 918-931, Aug. 2005.
 [2] A. Hansen, A. Kvalbein, T. Oicic, and S. Gjessing, "Resilient routing layers for network disaster planning," *Lecture notes in computer science*, vol. 3421, pp. 1097-1105, Apr. 2005.

研究目的とアプローチ

- 研究目的
 - 故障耐性に優れた情報ネットワークの構築に必要な構造的特徴の解明
- アプローチ
 - 生物の転写因子ネットワークに着目
 - 故障耐性が高いネットワーク[3][4]
 - ルータレベルトポロジーと類似点が多く存在
 - ルータレベルトポロジーと転写因子ネットワークの故障耐性を比較
 - 二つのネットワークの構造的特徴の違いを調査

[3] S. Balaji, L. M. Iyer, L. Aravind, and M. M. Babu, "Uncovering a hidden distributed architecture behind scale-free transcriptional regulatory networks," *J. Mol. Biol.*, vol. 360, pp. 204-212, April 2006.
 [4] A. Bass and B. D. Dynlacht, "Constructing transcriptional regulatory networks," *Genes & Dev.*, vol. 19, pp. 1499-1511, July 2005.

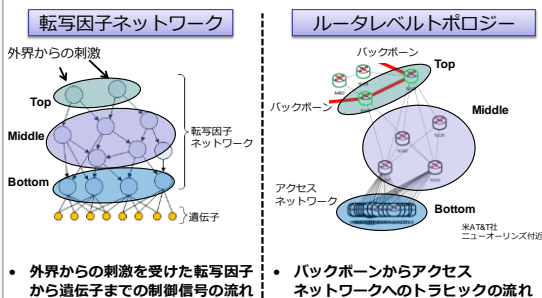
転写因子ネットワーク

- 細胞内に存在するネットワーク
- 遺伝子の発現を制御するための信号を伝達
 - 一部の転写因子が外界から刺激を検出
 - 刺激を受けた転写因子が制御信号を発信・中継
 - 適切な遺伝子に制御信号が伝達
- ルータレベルトポロジーとの類似点
 - 次数分布がべき則
 - 階層構造
 - 情報伝達の流れ



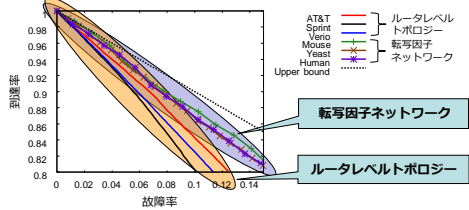
転写因子ネットワークのモデル図

転写因子ネットワークとルータレベルトポロジーの類似



故障耐性の評価

- 評価指標
 - 故障率：ランダムで故障したノードの割合
 - 到達率：Topのノードから送出された信号を受け取ることが可能なノードの割合
- 転写因子ネットワークの方が故障耐性が高い



コラボレーション構造 [6]

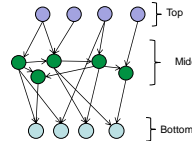
- 複数のノードが一つのノードに情報を伝達する構造
 - コラボレーション構造により複数のパスが発生
 - 故障耐性と関係
- どの階層が多くのコラボレーション構造を持つかを調査
 - $D_{collab-betw}^{L_1, L_2}$: L_1 階層のノードと L_2 階層のノードから信号を受け取るノードの割合
 $L_1, L_2 \in \{top, middle\}$

$$D_{collab-betw}^{L_1, L_2} = \frac{|S_{L_1} \cap S_{L_2}|}{|S_{L_1} \cup S_{L_2}|}$$

L_1 階層のノードと L_2 階層のノードから信号を受け取るノード

L_1 階層のノード、または L_2 階層のノードから信号を受け取るノード

S_{L_i} : 階層 L_i のノードから情報を受け取るノードの集合



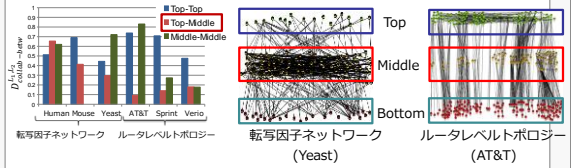
例: $D_{collab-betw}^{top, middle} = \frac{5}{9}$

[6] N. Bhardwaj, K.K. Yan, and M.B. Gerstein. "Analysis of diverse regulatory networks in a hierarchical context show consistent tendencies for collaboration in the middle levels." PNAS, vol. 107, pp.6841-6846, March 2010.

ルータレベルトポロジーの故障耐性が低い原因

- Top-Top のコラボレーション構造は多い
 - 異なる階層間を繋ぐリンクは冗長
- Top-Middle のコラボレーション構造が少ない
 - Middle のノード間に冗長なリンクが少なく、Top や Middle のノードから Bottom のノードまでの代替経路が少ない

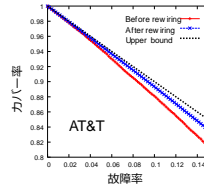
故障によって Bottom のノードが分断されやすい



コラボレーション構造と故障耐性の関係

- Top と middle のコラボレーション構造を増大
 - リンクのリワイヤリング
 - トポロジーのノード数とリンク数は一定
- 評価指標
 - カバー率: ネットワークから分断されず他のノードと通信できるノードの割合
 - 故障率: ランダムで故障したノードの割合
- 調査した全てのトポロジーで故障耐性が向上
 - AT&T, Ebone, Exodus, Level3, Sprint, Telstra, Tiscali, Verio

Top と Middle のコラボレーション構造の多いトポロジーは故障耐性が高いことを確認した



まとめと今後の課題

- まとめ
 - 転写因子ネットワークの知見から故障耐性に優れたルータレベルトポロジーに必要な構造を調査した
 - Top と Middle のコラボレーション構造を増やすことによって、高い故障耐性を持つトポロジーを構築できることを示した
- 今後の課題
 - ノードやリンクの追加により Top と Middle のコラボレーション構造を増大させた場合の故障耐性の分析
 - Top-Middle のコラボレーション構造の多いトポロジーにおけるリンクの物理距離の調査
 - Top と Middle のコラボレーション構造を多く持つようなトポロジーを生成するネットワーク構築手法の確立