

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.

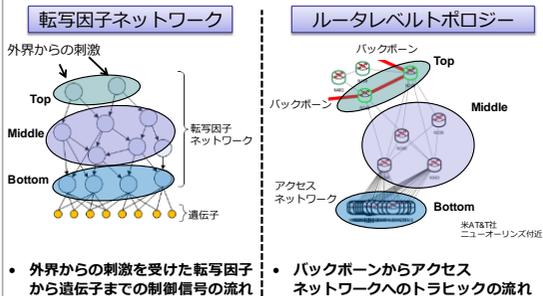
転写因子ネットワーク

- 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

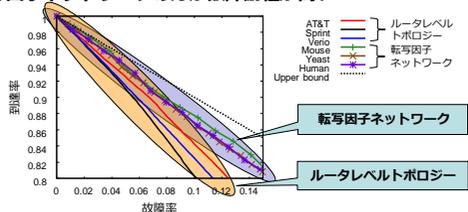
転写因子ネットワークとルータレベルトポロジーの類似



- 外界からの刺激を受けた転写因子から遺伝子までの制御信号の流れ
- バックボーンからアクセスネットワークへのトラフィックの流れ

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

どの階層が多層のコラボレーション構造を持つかを調査

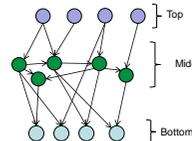
- $D_{collab-betw}^{L_1, L_2}$: L_1 階層のノードと L_2 階層のノードから信号を受け取るノードの割合
 $L_1, L_2 \in \{top, middle\}$

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

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

L_1 階層のノード、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.

ルーテラベルトポロジーの故障耐性が低い原因

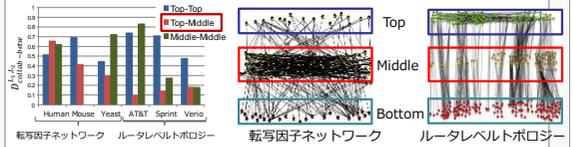
Top-Top のコラボレーション構造は多い

- 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



転写因子ネットワーク ルーテラベルトポロジー
転写因子ネットワーク (Yeast) ルーテラベルトポロジー (AT&T)
2種のトポロジーの構造比較

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

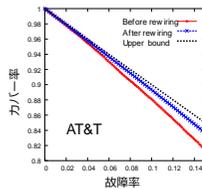
評価指標

- 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テラ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