

少ない再構成で予測困難な 環境変動に適応可能な 仮想ネットワーク構成に関する検討

大阪大学 大学院情報科学研究科
吉成 正泰 大下 裕一 村田 正幸

ネットワーク内のトラフィック変動

- 大容量通信を伴うネットワークサービス普及
 - クラウドストレージ、ビデオ配信等
- トラフィック量やその時間変化量が增大

- 流量・時間変化の大きなトラフィックを収容するアプローチ
- 光ネットワーク上の**仮想ネットワーク**の構築・制御

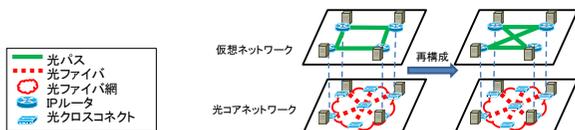
2013/3/14

IEICE PN研究会

2

仮想ネットワーク制御

- 仮想ネットワーク
 - 光クロスコネクと光ファイバからなる光ネットワーク上で構成
 - IP ルータ間を光パスと呼ばれるパスで接続
- 仮想ネットワークの再構成
 - 光パスを動的に追加・削除することによりネットワークを再構成
 - 各時刻のトラフィックに適した仮想ネットワークを構築可能



2013/3/14

IEICE PN研究会

3

大規模トラフィック変動時の仮想ネットワーク

- 大規模なトラフィック変動発生時
- 多数の光パスの追加・削除を要する再構成が**必需**
 - 仮想ネットワーク再構成にかかる処理が増大

- 大規模な再構成を必要としない構成を構築することが**必需**
- 環境変動への適応性の高い仮想ネットワークを**予め構築**
 - 環境変動の**高い仮想ネットワーク構成を明確化**することが**必需**

2013/3/14

IEICE PN研究会

4

ネットワークの性質に対する指標

- 媒介中心性・リンク重要度
 - 各リンクを経由する送信元・宛先間トラフィックの期待値
- ネットワークでの輻輳の発生しやすさを示す指標
- 発生した輻輳を解消するために必要な再構成の規模との関係はない

輻輳解消に必要な再構成の規模を定量的に示す指標が必要

本研究の目的

- トラフィック変動発生時にも大規模な再構成を必要としない仮想ネットワーク構成が望ましい
 - 再構成規模が大きくなれば、制御にかかる負荷も大きい
- 本研究の目的
 - 大規模な再構成を行うことなく、トラフィック変動に対応できる仮想ネットワーク構成を明確化
- アプローチ
 - 著しい環境変動下で生存・進化する生物の持つ特性に着想^[1]

[1] Lipson, H. and Pollack, J. B. and Suh, N. P., "On the Origin of Modular Variation", *Evolution* 56, 8 (2002), pp. 1549-1556.

2013/3/14

IEICE PN研究会

5

2013/3/14

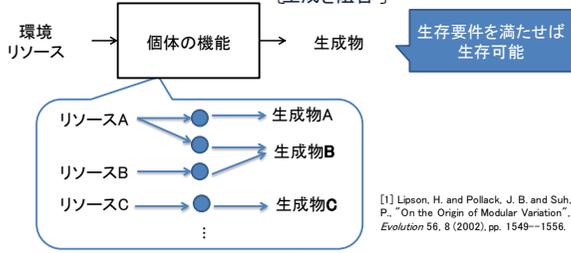
IEICE PN研究会

6

生物の生存・進化モデル^[1]

- 生物の機能をリソース→生成物の変換に着目して定義

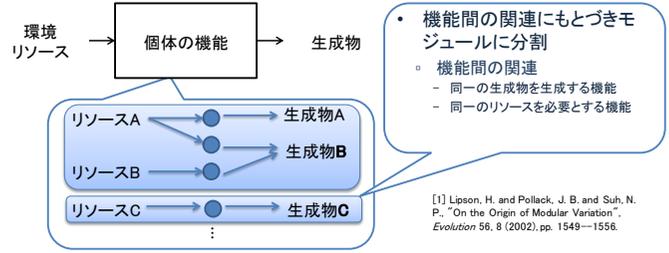
- 生物の機能=以下の機能の集合
 - 特定のリソースをもとに生成物を生成する機能
 - 生成を阻害する機能



[1] Lipson, H. and Pollack, J. B. and Suh, N. P. "On the Origin of Modular Variation", *Evolution* 56, 8 (2002), pp. 1549-1556.

環境変動時の生存・進化の特徴^[1]

- モジュール度が高い固体が生存・モジュール度が高くなるように進化
 - [1]におけるモジュール度: 関連がある機能同士をまとめたモジュールの個数

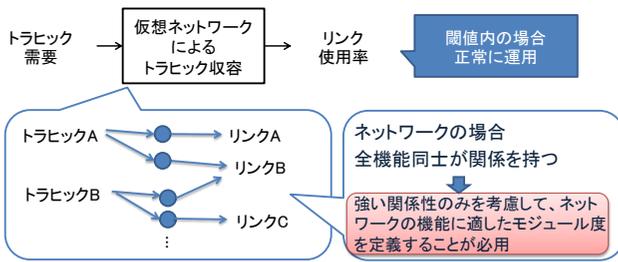


[1] Lipson, H. and Pollack, J. B. and Suh, N. P. "On the Origin of Modular Variation", *Evolution* 56, 8 (2002), pp. 1549-1556.

仮想ネットワークの機能と生物の機能の対応

- 生物のモデルと同様のモデル化が可能

モジュール度が高い仮想ネットワークは著しい変化に対応できる可能性が高い



仮想ネットワークの機能同士の関係

- 各フローを収容する機能の関係
 - 共通のリンクに収容されるか であらわすことが可能

フローAとフローBの関係

- フローAとフローBが一本のリンクを共用
- フローAとフローBが複数本のリンクを共用

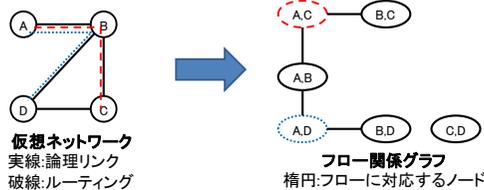
フローAが使用するリンクの全てのリンクをフローBでも使用

以降 フロー包含関係 と呼ぶ



フロー包含関係グラフ

- フロー包含関係を持つフロー同士を接続したグラフ



- グラフのモジュール度を得る既存手法^[2]を用いてモジュール度を計算可能

[2] Newman, M. E. J. "Modularity and community structure in networks", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103, 23 (2006), pp. 8577-8582.

グラフのモジュール度^[2]

- 定義

$$Q = \sum_{g \in G} \left[\frac{1}{2m} \sum_{i,j \in N_g} (A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m}) \right]$$

A_{ij} : ノード i とノード j の間の辺の数
 k_i : ノード i の次数
 $m = 1/2 \sum_i k_i$: 辺の数の合計
 G : モジュールの集合
 N_g : モジュール $g \in G$ に含まれるノード集合

- $\sum_{i,j \in N_g} (A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m})$: グループに含まれる辺の数から、同一ノード次数のランダムネットワークに含まれる辺の期待値を減算した値
- モジュール度 Q : 最大値が1となるよう辺の数の差を正規化

- 求め方

- モジュール度が最も高くなるようなネットワークの二分割を再帰的に実行

[2] Newman, M. E. J. "Modularity and community structure in networks", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103, 23 (2006), pp. 8577-8582.

フロー包含関係モジュール度

- フロー包含関係グラフに対して求めたモジュール度
 - 仮想ネットワークのフロー収容機能を、機能同士の関係が密なグループに分割することができるのかを示す指標
- フロー包含関係モジュール度が高い
 - モジュール内のフロー収容機能同士の関係が密
 - モジュール間のフロー収容機能同士の関係は疎
- フロー包含関係モジュール度が低い
 - 密接に関係しているフロー収容機能はない

2013/3/14

IEICE PN研究会

13

提案指標と再構成規模の関係の検証

- 検証内容
 - フロー包含関係モジュール度とトラヒック変動時に追加が必要な光パスの本数の関係
- 手順
 1. 様々なフロー包含関係モジュール度の初期仮想ネットワークを準備
 2. トラヒック変動を発生させ、再構成を行い、輻輳を解消するために必要な光パスの追加本数を取得
 3. フロー包含関係モジュール度と追加光パス数の関係を調査

2013/3/14

IEICE PN研究会

14

検証環境

- 初期仮想ネットワーク
 - 持続成長可能なトポロジー設計手法^[3]
 - ノード数: 49、グループ数: 5、 $\rho = 0.00 \sim 1.00$ (0.05刻み)
 - フロー包含関係モジュール度の異なるネットワークを生成
- 環境変動
 - 対数正規分布 ($\mu = 15.45, \sigma = 0.885$)^[4] に従う乱数を用いたトラヒック量を生成
- 仮想ネットワーク再構成
 - 全送信元・宛先間のうち、最もリンク使用率が削減することができる箇所に光パスを追加をリンク使用率が閾値以下になるまで繰り返す

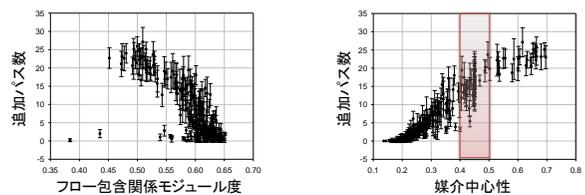
[3] Naoto Hidaka, "A topology design method for sustainable information networks" (2009).
 [4] I. Antoniou and V. V. Ivanov and Valery V. Zrelov, "On the log-normal distribution of network traffic", Physica D: Nonlinear Phenomena 167, 1-2 (2002), pp. 72 - 85.

2013/3/14

IEICE PN研究会

15

環境耐性指標と追加パス数の関係



- フロー包含関係モジュール度と追加パス数の間には負の相関
- 媒介中心性と追加パス数の間には正の相関
 - 今回生成したトラヒック量では、媒介中心性が低いネットワークでは、輻輳が発生した仮想リンクが少なくなったため
 - 輻輳が発生した場合に少ないパス数で対応できることを示しているわけではない。

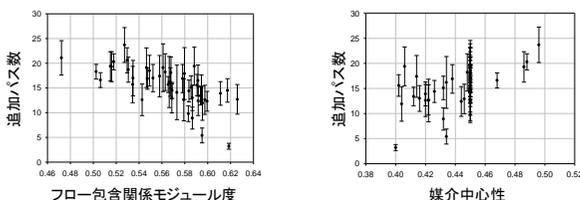
輻輳が多数発生する 媒介中心性が0.4~0.5のネットワークに注目して評価

2013/3/14

IEICE PN研究会

16

環境耐性指標と追加パス数の関係



- フロー包含関係モジュール度と追加パス数は負の相関
- 媒介中心性は0.45に集中
 - 媒介中心性だけでは、必要追加パス数を見積もることは困難

2013/3/14

IEICE PN研究会

17

False-Negative Rate と False-Positive Rate

各指標で追加パス数が少ないネットワークを判別した際の正確性を評価

- 再構成パス数が少ないネットワークの判別方法
 - モジュール度を用いた場合
 - モジュール度が閾値以上であれば、追加パス数が目標値以下であるとみなす
 - 媒介中心性を用いた場合
 - 媒介中心性が閾値以下であれば、追加パス数が目標値以下であるとみなす
- 評価指標
 - False-Negative Rate (FNR) = m_{fp} / m_p
 - m_p : 追加パス数が目標値以下の仮想ネットワーク
 - m_{fp} : 上記ネットワークの内、目標値以上の追加パスが必用だと誤判定されたネットワーク数
 - False-Positive Rate (FPR) = m_{fn} / m_n
 - m_n : 追加パス数が目標値以上の仮想ネットワーク
 - m_{fn} : 上記ネットワークの内、必要な追加パス数が目標値以下だと誤判定されたネットワーク数
- 評価方法
 - 閾値を変化させて、FNRとFPRの関係を評価
 - 追加パス数の目標値=10とする

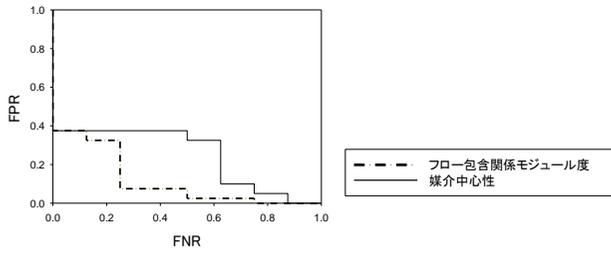
2013/3/14

IEICE PN研究会

18

FNR と FPR による評価

- フロー包含関係モジュール度は低いFNRとFNPを両立



2013/3/14

IEICE PN研究会

19

まとめと今後の課題

- まとめ
 - フロー包含関係モジュール度
 - 大規模な再構成を行うことなくトラフィック変動に対応可能であるような、仮想ネットワークを判別することが可能
- 今後の課題
 - より正確に環境変動への対応性を評価する指標の検討
 - 環境変動へ高い対応性を持つ仮想ネットワークを構築する手法の検討

2013/3/14

IEICE PN研究会

20