

## ネットワークトラフィックシミュレーションのためのグラフ描画ツールの設計

野本 真吾<sup>†</sup> 福田 健介<sup>‡</sup> 上原 稔<sup>†</sup> 森 秀樹<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 東洋大学大学院 工学研究科 情報システム専攻

<sup>‡</sup> 国立情報学研究所

本論文では、インターネットトポロジの AS (Autonomous System) レベルでの構造の理解を深めるための視覚化を目指す。既存の手法では、単にノードとリンクの表示に着目しているが、実際にトラフィックがその方向に流れることが許されているのかを理解することは困難である。そこで Gao が提案している Valley-free 規則に着目し provider-customer, peer-peer 関係を直感的に理解可能になる、各ノードのルーティングテーブルが容易に表示可能となる視覚化システムを提案する。

### Design of Graphic Drawing Tools for Network Traffic Simulation

Shingo Nomoto<sup>†</sup> Kensuke Fukuda<sup>†</sup> Minoru Uehara<sup>†</sup> Hideki Mori<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Department of Open Information Systems, Graduate School of Engineering,  
Toyo University

<sup>‡</sup>National Institute of Informatics

We propose a visualization tool for better understanding of the AS-level Internet Topology. The traditional graph drawing tools have not been focusing on the AS-level policy which restricts a direction of traffic flows. The tool provides information of AS relationship of a link as well as routing table of a node.

#### 1 はじめに

##### 1.1 背景

インターネットは AS (Autonomous System) と呼ばれる、自律分散したノードが結合したネットワークとして表現され、直観的には AS は現実世界の組織 (ISP, 企業, 大学等) に対応する。インターネットでは、中央制御を行うエンティティが存在しないため、そのネットワーク構造を正確に把握することは困難である。しかし近年、統計物理学的なアプローチにより、ネットワークの構造を把握するための研究が多く行われている。その代表的な知見として、AS レベルネットワーク構造はランダムグラフか

らほど遠く、直径が小さく、クラスタ化された (ノード間が密接に結合している) スモールワールドネットワークであること、また、ノードの次数に大きな偏りがあり、べき的な減衰を伴うスケールフリー構造であることが明らかとなっている [1]。

ネットワーク構造はその上を流れる情報流の効率に大きな影響を及ぼすことが知られており [2]、適切なモデルを構築することは、ルーティング、輻輳制御、負荷分散等、様々な研究分野に対して必要不可欠な作業である。しかしながら、単純なノード間の接続関係が明らかになっただけでは、ネットワークトポロジ上の情報流の制御アルゴ

リズムを評価することは難しい。なぜなら、2つのノード間に接続関係があったとしても、実際にそのリンクにトラフィックを流せるかどうかはAS間のルーティングポリシーに基づくからである。

GaoはAS間のポリシーを **provider-customer**, **peer-peer** の関係に分類し、その関係を推定するアルゴリズムを提案している [3]。 **customer** は **provider** にトラフィックの中継を依頼している関係にあるASである。各AS間は個別の契約を結んでおり、 **peer-peer** 関係は双方向でトラフィックを送り出すことが可能である関係であり、 **provider** と **customer** の関係は **customer** が **provider** に対してトラフィックを送るという関係である。これらのAS間のポリシーがルーティングに多大な影響を与えているため、ルーティングが複雑になっている。

### 1. 2 目的

本研究ではASレベルのネットワークトポロジ上で、AS間のポリシーがルーティングに対してどのように作用しているかということ、ユーザが直感的に理解することを目標とした描画ツールを提案する。特にGaoにより推定された **provider-customer**, **peer-peer** の関係を描画に用いることで、現実に近いルーティングテーブルを作成する。

## 2 ルーティング

インターネットのルーティングにはダイナミックルーティングという、静的ではなく動的に経路情報からルーティングテーブルを更新するものが使われることが多い。ネットワークトポロジの変化に強く管理がしやすいが、ルータに負荷がかかり、ルーティング情報を交換する分のトラフィック

がスタティックルーティングよりも多いという特徴がある。しかし、大規模ネットワークでは手動でルーティングテーブルを設定することが困難で管理が難しいため、ダイナミックルーティングが主に使われることとなり、AS内外で様々な方式のルーティングプロトコルが利用されている。

### 2. 1 AS内外のルーティング

ネットワークの集団であるASは内部と外部で異なるルーティングプロトコルを用いる。

- IGP

AS内で用いられるルーティングプロトコル。ディスタンスベクタ方式のRIP (Routing Information Protocol) や、リンクステート方式のOSPF (Open Shortest Path First) などのプロトコルが用いられる。

- EGP

AS間のルーティングプロトコル。現在のインターネットでは主にパスベクタ方式のBGP (Border Gateway Protocol) が利用されている。

### 2. 2 ルーティングアルゴリズム

ルーティングアルゴリズムは大きく3つに分類される。

- i. ディスタンスベクタ方式

隣接するルータの情報を基に目的地まで届くルートをBellman-Fordのアルゴリズムを用いて計算し、ルーティングテーブルを作る。経路のコスト値は、経由するルータのホップ値となる。

- ii. リンクステート方式

隣接するルータ同士で各ルータのリンク情報を交換し、全てのルータはそのリンク情報をデータベースとしてネットワーク地図を作成し、個々に目的地までのルートを

Dijkstra アルゴリズムを使い計算し、それを基にルーティングテーブルを作る。コスト値は、帯域等のリンクの重みとして表現される。

### iii. パスベクトル方式

ディスタンスベクタ方式では経由するルータの数を最適経路の基準にするが、パスベクタ方式では経由するノードのリストを基準にしている。例えば BGP では AS パスという AS 番号を記したリストの AS 番号の数が少ないルートを選択する。これはディスタンスベクタ方式での「ルータ数」とリンクステート方式の「AS 間のリンク情報」よりも確実で、より各ルータの処理を軽減するものである[4]。AS は渡された AS パスに自分の AS 番号を付加して、またそれを隣接する AS に対して渡すという作業を繰り返し、ルーティングテーブルを作る。コスト値は目的地までに経由する AS の数であるが、AS パスの他に、AS としてのルートの優先度を知らせる「LOCAL\_PREF」属性などがあり、パスベクタ方式は AS が持つポリシーを反映させることが出来る方式であると言える。

### 2. 3 BGP ルーティング

BGP での隣接 AS とのやり取りを図 1 として示す。右側の AS 番号 80 から上下隣接 AS に情報が流れ、通過時にその通過した AS 番号を追加していく。最終的に終点の AS にたどり着いたときの情報の内の、より経由 AS が少ない方でルートが決まるが、ルート情報には AS 番号を保持するものなどのパス属性と呼ばれるルートの優先度などを示した情報を付加しているために、各 AS のポリシーに基づいたルーティングが行われる。

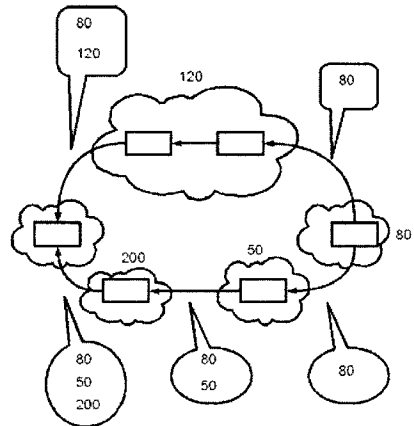


図 1. BGP ルーティング

Gao はルーティングポリシーを分類するために Valley-free 規則を使う方法を提案した[3]。Valley-free はルーティング情報の流れる方向によって provider-customer, peer-peer 関係を推測するもので、文字通り谷の無いルート以外は越えることができず、谷を含めた以下の 4 つの条件があるルートを通ることが出来ないというものである。それぞれ AS パス内に

- ① 2 個以上の peer-peer 関係のリンクがある。
- ② provider-customer 関係の後に customer-provider 関係が存在する。
- ③ provider-customer 関係の後に peer-peer 関係が存在する。
- ④ peer-peer 関係の後に customer-provider 関係が存在する

という条件に当てはまるルーティングが無いものとする、provider-customer, peer-peer の関係が推測できる。図 2 においては、AS パス {10, 20, 50}, {40, 10, 20, 30} は Valley-free であるが、AS パス {10, 40, 50} は②の条件、AS パス {40, 60, 30} は④の条件により Valley-free でない。このような手法による、

それぞれの AS 間の関係が provider か customer かということ推定したデータが CAIDA[5]によって研究者用に提供されている。

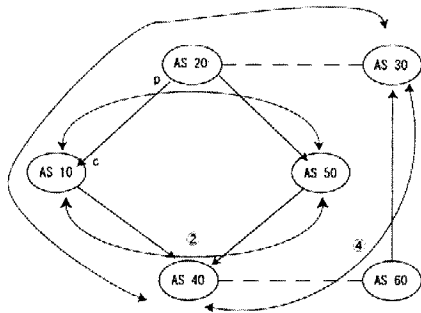


図 2. Valley-free

点線が peer-peer, 直線が provider-customer.

### 3 グラフ描画

#### 3. 1 グラフレイアウト

情報を抽象化し視覚化することの効果はグラフのレイアウトの工夫に因るものが多い。良いレイアウトの評価基準には、ノードの配置やエッジの配線等についての描画規約と、ノード間の距離やエッジの交差数などの表現についての描画規則があり、そのふたつをまとめて美的基準と呼ぶ[6]。描画アルゴリズムのタイプにはアルゴリズムによる理論志向なものや力学モデルなどを用いたシミュレーションによるものなどがある。

##### 3. 1. 1 ばねモデル

力学モデルに基づいた発見的手法として Eades によって提案されたバネ埋め込みと呼ばれるアルゴリズムがある[7]。力学的なシステムを真似るモデル的アプローチで、エッジをバネに置き換えてその配置を求めらるものであり、バネはノード間の距離が開くとノードを引きつけ、ノード間が近すぎ

ると斥ける。シミュレーションではノードに働く力を計算しそれにしたがってノードを移動させる処理の繰り返しによってレイアウトを変形させる。

#### 3. 2 有向グラフの描画法

一般有向グラフの描画法としては

Sugiyama のアルゴリズムがある[8]。階層的描画法と呼ばれるもので、用いられる美的基準には縦方向のエッジを少なくし交差を減らすこと、エッジの長さを小さめにする事、ノードを一様に分布させること等が挙げられている。

## 4 設計

ツールの機能として

- ① ルーティングテーブルの表示
- ② 最短経路・次善経路の表示
- ③ リンクのポリシーの視覚化
- ④ 描画範囲内の次数の値が大きい AS を識別できるように視覚化

という機能を実現する。

#### 4. 1 入力データ

ツールの入力データは、CAIDA が提供している AS トポロジデータのフォーマットに従うものとする。CAIDA のデータは"AS 番号 AS 番号 関係", で表されており、前者の AS 側から見て後者の AS が customer, peer, provider, sibling であるということを用いて各 AS がノード、各 Link がエッジであるとしてグラフを作成し、ルーティングテーブルを作成する。

#### 4. 2 入力インターフェース

ツールに搭載すべき入力インターフェースは、ノード 2 点を選ぶための操作と、扱

う描画範囲の決定の操作である。まず AS 番号を 1 つ選択し、その AS からのホップ数を数値で入力し描画を行い、グラフを描画する。2 つ目のノードを選択すると、機能である視覚化すべき 4 つの情報を表示させるようにする。また描画範囲はそのままに 2 つ目のノードを再選択可能にする。その結果、同トポロジ上でルーティングポリシーがどれほどルーティングに干渉しているかが確認可能となる。

#### 4. 3 出力インターフェース

最初の操作はデータに登録されている AS 番号とその AS を中心とした AS のホップ数の数値の入力である。そのための入力画面を表示させておき、入力完了後にグラフ描画を開始する。その際のグラフ描画については、ばねモデルを用いてレイアウトを行う。

描画内のノード間のエッジをポリシー別に色分けして機能③を実現し、また次数の値が大きいノードを識別できるように着色して機能④を実現する。2 つ目のノードが選択されたときには、1 つ目の被選択ノードから 2 つ目の被選択ノードまでのルーティングテーブルを表示させ機能①を実現し、その際の最短経路と次善経路を着色して機能②を実現し、識別可能にする。

## 5 結論

本論文では AS レベルのネットワークトポロジにおける、AS 間のルーティングポリシーに基づくルーティングを明らかにするためのグラフ描画ツールの提案を行った。今後の予定としては、このツールを実装し、エッジの新規作成・削除などの機能の追加を行う。

## 参考文献

- [1] R.Pastor-Satorras and A.Vespignani, "Evolution and Structure of the Internet", Cambridge University Press, 2004.
- [2] R.Albert, H.Jeong and A. László Barabási, "Error and attack tolerance of complex networks", Nature, vol.406, pp.378-382, 2000.
- [3] Lixin Gao, "On Inferring Autonomous System Relationships in the Internet", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.9, No.6, pp.733-745, 2001.
- [4] 秋本芳伸,岡田泰子, "基本から理解したい人のためのルーティング入門", ディーアート社, 2003.
- [5] Cooperative Association for Internet Data Analysis (<http://www.caida.org/>)
- [6] 杉山公造, "グラフ自動描画法とその実態", コロナ社, 1993.
- [7] P. Eades, "A Heuristic for Graph Drawing", Congressus Numerantium, 42, 149-160, 1984.
- [8] K. Sugiyama, "Drawing and Understanding Systems Structures an Introduction to the SKETCH System", Working Paper, 52-97, Int.Inst.for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 1982.