

# インターネットにおけるASパス視覚化法

## Visualization Method of AS Paths on the Internet

木村 卓巳

Takumi Kimura

NTT サービスインテグレーション基盤研究所

NTT Service Integration Laboratories

**概要** WWWやストリーミングアプリケーションを利用したインターネット情報配信が盛んである。そのような情報配信における品質は、配信経路の性能あるいは経路上の各AS (Autonomous System) の管理ポリシーに大きく依存する。本稿では、情報配信者が実際の配信経路とその性能を把握することを目標として、情報発信者から複数の情報利用者までの配信経路をIPルータまたはASを単位として測定する方法、および、測定したIPルータ間またはAS間の接続関係をグラフとしてとらえて、その構造を視覚化する方法を検討する。特に、グラフ構造の視覚化においては、リンクの弾性力と近傍ノード間の斥力の局所的相互作用により、各ノードの配置を動的に最適化する力学系モデルを利用したノード配置アルゴリズムを提案し、その特性を評価する。

## 1 はじめに

WWWやストリーミングアプリケーションを利用したインターネット情報配信が盛んである。そのような情報配信における品質は、配信経路上の各AS (Autonomous System) の性能に大きく依存する。ここで、ASとはインターネットにおけるルーティングの管理単位であり、ほぼISP (Internet Service Provider) に相当する。そのような複数ASをまたがる環境においてもある程度の品質を満たすために、情報配信者は、情報利用者までの配信経路とその性能を把握して、情報配信サーバのミラーや中継サーバの配置、サーバの増設、アクセス回線の帯域変更等を実施することになる。

情報配信者が実際の配信経路とその性能を把握するための最初の段階として、複数の情報利用者までの情報配信経路を視覚化することが考えられる。情報配信経路は、tracerouteのようにIPルータ単位でとらえるか、または、管理ポリシーのおよぶ範囲であるAS単位でとらえる。

ASを単位とした経路の視覚化については、インターネットのバックボーンプロバイダがBGPルーティングテーブルをチェックをすることを目的とした検討がすでに存在する[1][2]。しかし、これらはバックボーンプロバイダの所有するBGPルータ上の情報を参照する必要があるため、あらゆる情報配信者が利

用できるわけではない。

また、視覚化における各ノードの配置方法については、各IPルータの実際の緯度経度を地図上に配置するもの[3]、ルートノードから順に幅優先で重ならないように同心円状に配置するもの[4]、格子状に配置するもの[5]、3次元双曲空間上に配置するもの[6]等、数多く存在するが、これらは全て、1ノードずつ順番に静的に配置してゆくの、有限の表示領域に収まらなかったり、配置する順序によっては、接続しているノード同士が離れてしまい、ノード間の接続関係が視覚的にとらえにくくなるという欠点がある。

一方、ノードの接続関係を有限の領域に見やすく表示するために、接続されたノード間を仮想的にバネとみわたた力学系モデルを利用して、そのエネルギーが最小になるような1ノードを選択して移動させることを繰り返すことにより、配置を動的に変化させながら最適化する方法も提案されている[7][8]。しかし、この方法は、全ノードの情報にもとづくエネルギーを計算して、移動すべき1ノードを選択するというものであり、1ノードずつ配置を修正するため、最適な配置に達するまでの計算量が膨大になる。

そこで、文献[9]では、情報配信者から複数の情報利用者までのインターネット情報配信経路を、BGPルータを参照することなく、IPルータ単位およびAS単位で測定する方法、および、その経路におけるノ

ド間の接続関係をグラフとしてとらえ、そのグラフを、局所的な動的最適化を利用することにより、既存方法よりも短時間で有限領域内に視覚的に分かりやすく配置することが可能なアルゴリズムを構成している。

本稿では、本アルゴリズムとその特性を評価した結果を示す。

## 2 ASパスの測定方法

情報配信者から複数の情報利用者までのASを単位とするインターネット情報配信経路の測定は、(1)情報配信先ホストまでの経路上に存在するルータのIPアドレスの測定、(2)Internet Routing Registry (IRR) データベース [10] を利用したIPアドレスとAS名 (AS番号) の変換、(3)AS間接続関係のグラフとしての構成、の手順でおこなうことが可能である (図1)。また、IPルータを単位とする接続関係のグラフは、上記の(1)から直接、IPルータ間の接続関係を見出すことにより構成できる。

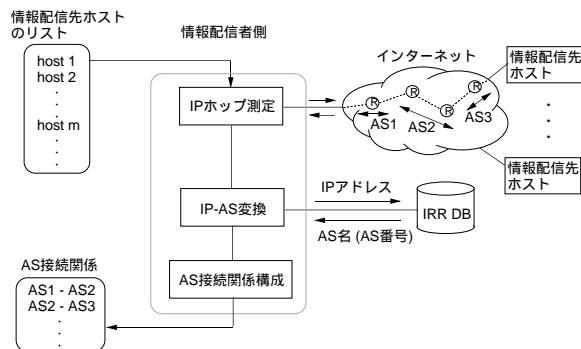


図1: ASパスの測定手順

(1)の経路上のルータのIPアドレスは、情報配信者側から traceroute の原理を利用して測定する。そのため、ルータにおいて特殊な優先制御をしない限りは、情報配信に利用される経路と同一である。(2)では、IRR データベースを whois プロトコルにより参照することにより、IPアドレスに対応するAS名 (AS番号) を取得する。ここで、IRRは、RIPE-181 [11] と呼ばれる言語によって記述されるルーティングポリシーをもとにしたデータを保有しており、その中の経路オブジェクトにAS番号とIPアドレスの対応関係が記述されている。(3)では、(2)の変換後、AS間の接続関係をメモリ上に書き込む際に、すでに同じ接続関係が書き込まれていれば重複して書き込ま

ないようにすることで、ノードの接続関係としてグラフを記述しておく。

## 3 ASパスの視覚化方法

### 3.1 視覚化対象のグラフの特徴

ここで、視覚化対象のグラフの特徴をみるために、対象ホスト数50の時のAS接続関係の例を図2に示す。ただし、一般的なインターネット情報配信サービスを想定し、国内の企業、大学、ISP 経由の個人からのアクセスがほぼ均等にあり、かつ、海外からのアクセスもわずかながら存在するものと考えて対象ホストを選択した。また、ここでは各ノードの配置は手動で行っている。対象ホスト数が50程度の場合、国内を見た限りでの特徴は、ループはほとんど見当たらずスター型である。また、バックボーンを構成する次数 (接続ノード数) の高いノードを基本にグラフが構成されている。海外 (図の左上の2ホスト) においても、高い次数をもつノードを基本に構成されているが、階層は深くなりやすい。このような特徴のグラフを配置するのに適したノード配置アルゴリズムを考える必要がある。

### 3.2 ノード配置アルゴリズム

次に、測定により見出したグラフを、局所的な動的最適化を利用することにより、視覚化するアルゴリズムを構成することを考える。

C. W. Reynolds は、鳥の群れの調和のとれた動作を説明するために、各個体が近くの個体との間に定義された単純な規則に従って動作する鳥に似たもの (boids) を考え出した [12]。それぞれの boid は、(1) 近くの boids との衝突を回避する力、(2) 近くの boids の速度ベクトルに調和する力、(3) 近くの boids のそばに留まりつづける力の3つの力の合成にもとづいて移動する。近傍の boids との局所的相互作用による自律分散的な行動にもかかわらず、結果的に、boids の群れとしては、障害物等にも頑強な調和のとれた動作をすることが示されている。

このような局所的相互作用をうまく与えれば集団としては適切な解となるというアイデアを、ノード配置の最適化の問題に応用する。ここでは、最適な状態を、ノード間には適度な間隔があり、接続されたノード同士は近くに配置された状態と考えて、相互作用する力として、単純な次の2つのものを考え

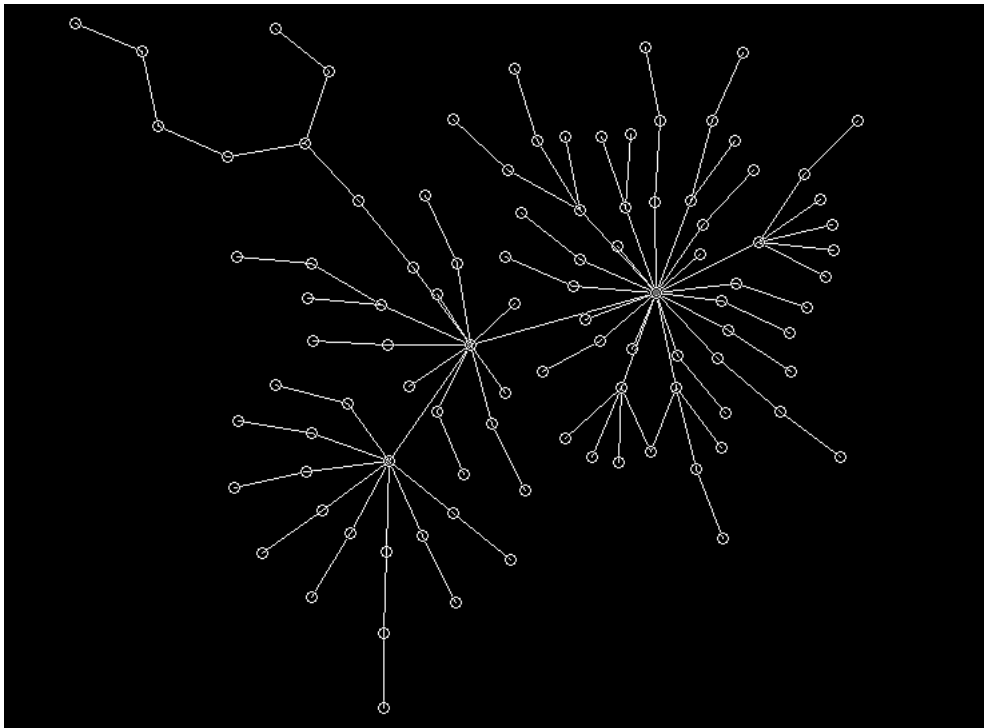


図 2: 50 ホストを対象とした時の AS 間接続関係の例

る。(1) リンクによって接続されているノード間は離れ過ぎないようにある一定の距離を保ちたいので、仮想的なバネで接続された弾性力がはたらくとする。(2) ノード同士を重ねることなく領域内に適度に分散させたいので、近傍ノード間には斥力がはたらくとする。つまり、図 3 に示すように、各ノードを最初にランダムに配置し、その後、接続ノード間の弾性力と近傍ノードとの間の斥力との局所的相互作用の存在する力学系モデルにしたがう補正を各ノード毎に並列に繰り返し、ノード配置を最適化するノード配置アルゴリズムを採用する。

### 3.3 弾性力による補正

接続関係にあるノード間にはたらく弾性力は、リンク毎に理想距離(最小限離しておいた方が見やすいと考えられるリンクの距離)を定義して、それからのずれを解消する方向にはたらくものとする(図 4)。現配置から次配置へ移行する際のノード  $i$  の補正(2次元ベクトル)のうち、弾性力によるものを  $\Delta L_i$  とする。これは、ノード  $i$  に接続する全ノードの集合を  $J_i$ 、ノード  $i$  と  $j(j \in J_i)$  の間の距離を表すベクトルを  $L_{ij}$  とすると、 $L_{ideal}(i, j)$  をリンク  $ij$  の理想距離、 $\alpha$  をあらかじめ設定しておくパラメータ(一定値)と

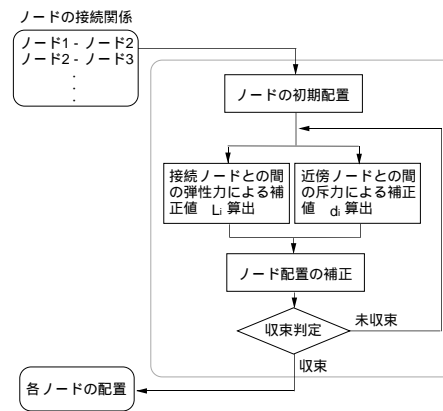


図 3: ノード配置アルゴリズムの基本手順

して、下式により算出する。ただし、 $|X|$  は、ベクトル  $X$  の長さを表す。

$$\Delta L_i = \alpha \sum_{j \in J_i} (|L_{ij}| - L_{ideal}(i, j)) L_{ij} / |L_{ij}| \quad (1)$$

ここで、対象とするグラフの特徴として、極端に次数の高いノードが存在し、それによってほとんどの骨格が構成される傾向があることから、この構造を考慮した理想距離の定義が必要になる。佐野は、隣接ノードを同心円上に配置する場合に、ノード間の距

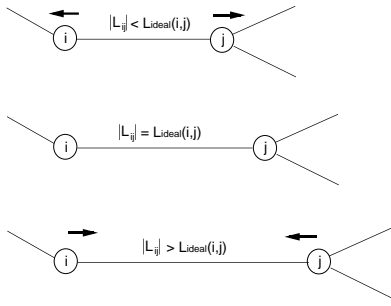


図 4: 力学系モデルの弾性力による補正

離を考慮した隣接ノード間の理想距離の定義(下式)を提案している [8] .

$$L_{ideal}(i, j) = \frac{L_{ideal}}{\sqrt{2 - 2 \cos(2\pi/(n_i + n_j))}} \quad (2)$$

ここで,  $n_i, n_j$  は, リンク  $ij$  の両端のノードの次数であり,  $L_{ideal}$  は一定値とする. 本検討においてもこの理想距離を採用する .

### 3.4 斥力による補正

現配置から次配置へ移行する際のノード  $i$  の補正 (2次元ベクトル) のうち, 斥力によるものを  $\Delta d_i$  とする. これは, ノード  $i$  から一定の距離  $r$  内にあるノードの集合を  $R_i$ , ノード  $i$  と別のノード  $k$  の間の距離を表すベクトルを  $d_{ik}$  とすると,  $\beta$  をあらかじめ設定しておくパラメータ (一定値) として下式により算出する (図 5) .

$$\Delta d_i = \beta \frac{\sum_{k \in R_i} (-d_{ik} / |d_{ik}|)}{\sum_{k \in R_i} (-d_{ik} / |d_{ik}|)} \quad (3)$$

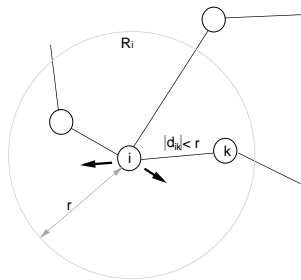


図 5: 力学系モデルの斥力による補正

### 3.5 収束条件

ここで, 現配置から次配置へ移行する際のノード  $i$  の補正 (2次元ベクトル) は, 弾性力による補正と斥

力による補正の和  $\Delta d_i + \Delta L_i$  となる. また, 収束判定には, 全ノードに対する現配置から次配置への補正の和の値がある一定値  $\varepsilon$  よりも小さい場合を収束条件とする .

$$\sum_i |\Delta d_i + \Delta L_i| < \varepsilon \quad (4)$$

### 3.6 理想距離の段階的变化

対象とするグラフにおいて, 骨格を形成する次数の高いノードの存在と, 比較的深い階層の枝の存在が特徴であった. 前節までのアルゴリズムを使用してもそれなりに見やすい配置は可能であるが, さらに複雑なグラフではリンクが交差しやすい欠点があることが予想される. この問題を理想距離を段階的に変化させることで解決する. これまでのアルゴリズムでは, 隣接ノード間の理想距離は, すべてのリンクについて初めから与えられていた. ここでは, 図 6 に示しているように, 次数の大きな隣接ノード間から理想距離を与えてゆき, 次数の小さな隣接ノード間には非常に小さい理想距離を与えておく. そうすることにより, 次数の大きなノードを基本としたグラフの骨格が形成される. 十分に骨格が形成されると, 次に次数の小さいノードの隣接ノード間に理想距離をあたえ, グラフは最終的な形に収束していく.

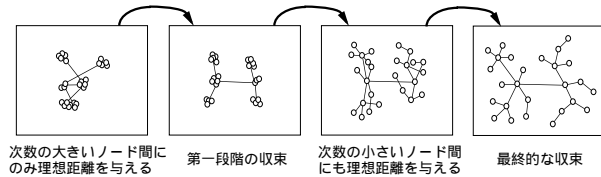


図 6: 理想距離の段階的变化を含むアルゴリズムの動作イメージ

## 4 提案するノード配置アルゴリズムの評価

以上説明したノード配置アルゴリズムを Java 言語により実装し, 動作の検証を行った. 図 7 は, 次数を考慮した理想距離を導入し, かつ, 理想距離を段階的に変化させた場合に,  $960 \times 600$  の領域に, 50 ホストに対する AS 経路を描画したものである (各パラメータは,  $L_{ideal} = 30, r = 120, \alpha = 1/8, \beta = 1/4$ ). 第一段階は, 2 ノードの次数の合計が 15 以上で, 各



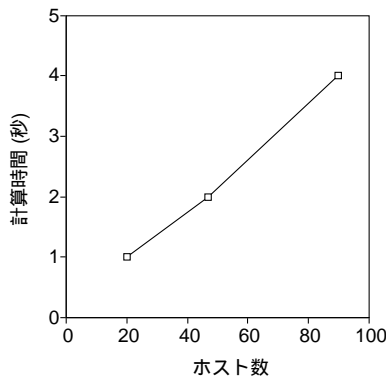


図 9: アルゴリズムによる対地数に対する計算時間

## 5 まとめ

本稿では、情報配信者が利用することを考慮したインターネット情報配信経路の視覚化法を示し、その特性を評価した。特に、有限領域の表示媒体への各ノード(AS等)の配置については、局所的相互作用の存在する力学系モデルを利用した最適化を含むアルゴリズムを考え、さらに、インターネットにおけるAS接続関係の特徴を考慮した工夫を加えた。また、本アルゴリズムをJava言語により実装し、動作を検証すると同時に、比較的短時間で、満足できる配置を出力できることを確認した。今後、アルゴリズムの各パラメータの値による収束時間への影響を評価する予定である。

また、文献[13]の方法により測定したAS状態を本稿の方法により視覚化したASパス上に表示することにより、情報配信の性能を空間的に把握することができる。これにより、情報配信者による配信サーバのミラーや中継サーバの配置の際に、性能向上に効果的なASへの配置選定が可能になる。

さらに、定常的な情報配信を考えると、APパスを定常的にモニタするという利用が想定される。この場合、同一ASは常に同じ位置に配置されることが望ましい。しかし、本稿ではランダムにノードの初期配置を決めるので、結果的に、同一ASであっても配置計算の度に異なる位置に配置されることになる。定常モニタに適用する場合、直前の配置計算時の各ASの位置を初期配置にできるようにノード配置アルゴリズムを修正することと、その検証も今後の課題である。

現在、情報の視覚化の分野が活発になってきており、膨大なデータの分類、構造把握などのニーズが

高まっており、本アルゴリズムは、そのような目的にも応用可能である。

## 参考文献

- [1] D. Meyer, University of Oregon Route Views Project, <http://www.antc.uoregon.edu/route-views/>, 1997.
- [2] 瀬林克啓, 平田真次, AS間経路可視化システムプロトタイプの開発, 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, B-7-122, 1998.
- [3] K. Claffy and B. Huffaker, Macroscopic Internet visualization and measurement, <http://www.caida.org/Tools/Mapnet/summary.html>, 1997.
- [4] B. Huffaker, E. Nemeth, and K. Claffy, Otter: A general-purpose network visualization tool, <http://www.caida.org/Tools/Otter/Paper/>, 1998.
- [5] 岡田康義, 安澤徹, サーバアクセス経路情報の表示技術, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会, 98-DPS-89, pp.43-48, 1998.
- [6] T. Munzner, H3: Laying out Large Directed Graphs in 3D Hyperbolic Space, *proceedings of IEEE Information Visualization Symposium*, pp.2-10, 1997.
- [7] T. Kamada and S. Kawai, An Algorithm for Drawing General Unidirected Graphs, *Information Processing Letters*, Vol.31, pp.7-15, 1989.
- [8] 佐野達郎, グラフ構造を考慮した無向グラフ自動描画法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-D-II, No.3, pp.772-782, 1997.
- [9] 木村卓巳, インターネット情報配信経路の視覚化法, 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会, CQ98-64, 1998.
- [10] Internet Routing Registry (IRR), <http://www.merit.edu/radb/docs/irr.html>, 1998.
- [11] T. Bates, E. Gerich, L. Joncheray, J. Jouanigot, D. Karrenberg, M. Terpstra, and J. Yu, RIPE-181: Representation of IP Routing Policies in a Routing Registry, <ftp://ftp.ripe.net/ripe/docs/ripe-181.txt>, 1994.
- [12] C. W. Reynolds, Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model, *proceedings of ACM SIGGRAPH'87*, Vol.21, No.4, pp.25-34, 1987.
- [13] 古屋貴行, 木村卓巳, インターネットのホップ状態監視のための測定量の検討, 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, B-11-15, 1998.