

最 終 審 査

リンク淘汰とショートカット付加による 自己組織的なネットワーク

北陸先端科学技術大学院大学

知識科学研究科 林研究室

0950049 目黒 有輝

研究の背景

次世代の災害ネットワークや広域無線通信網には…

- ネットワーク構築・管理コストが少ない
- 素早い情報通信が可能
- 不慮の故障や意図的な攻撃に強い
- 設計図や集中管理がなくとも構築可能

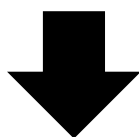
が求められている。

ユーザ視点のメリット ⇒ 高い信頼性, ストレスが少ない通信
管理者視点のメリット ⇒ 予算の節約, 必要最小限の管理

従来研究1 粘菌モデル

低コスト化へのアプローチ

- 粘菌の餌の輸送ネットワーク
- 設計図無で鉄道網に近い平面グラフが自己組織的に構築



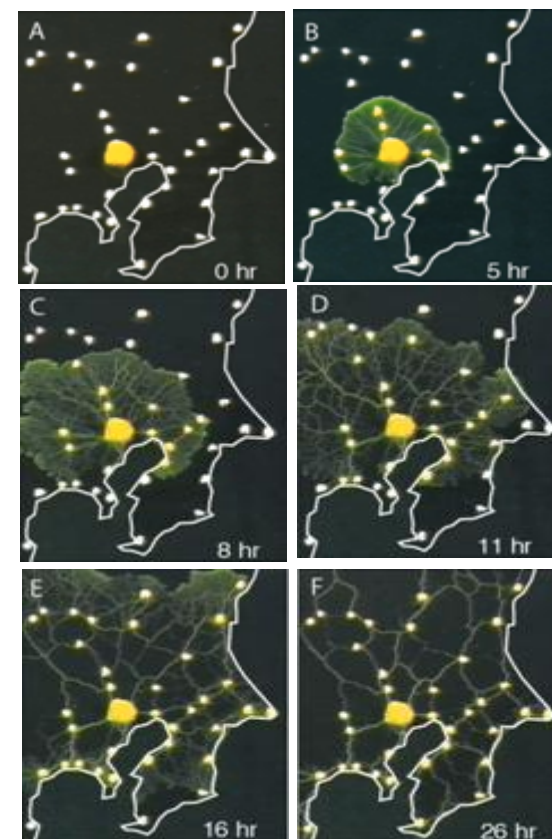
M1: リンク淘汰によるメリット

輸送に貢献していないリンクを淘汰

⇒ ネットワークの構築・管理コストが低

D1: リンク淘汰のみによるデメリット

離れたノードへアクセスするためには、
多くのノードを経由しなければならない

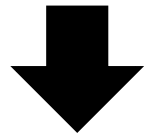


Atsushi Tero, et al., “Rules for Biologically Inspired Adaptive Network Design”, Science, Vol.327, 22. JAN.2010

従来研究2 2ホップ毎に追加するIkedaモデル

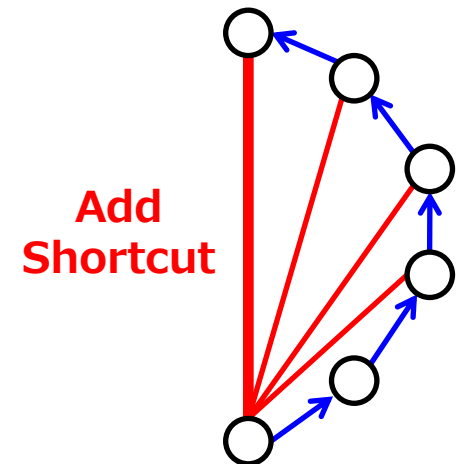
素早い情報通信へのアプローチ

- 1次元鎖, 2次元格子をベースにして
パケット転送時に現ノードと2ホップ前の
ノード間にショートカットを構築



M2 : 2ホップでショートカットを張るメリット
離れたノードへ少ない経由数で到達可能.

D2 : 2ホップでショートカットを張るデメリット
離れたノード間にショートカットを張るためには,
多くのショートカットを張らなければならない.



準完全グラフの構築
⇒ コスト面で×

Ikeda Nobutoshi, "Network formed by
traces of random walks", Physica A, Vol.
379, pp.701-713, 2007.

本研究の目的

- リンクの淘汰 (**M1を活用**)

⇒ 使用頻度が低いリンクを淘汰することで低コスト化

- ショートカットの付加 (**D2を改善**)

Path Reinforcement (PR)

ランダム経路ノードへショートカット

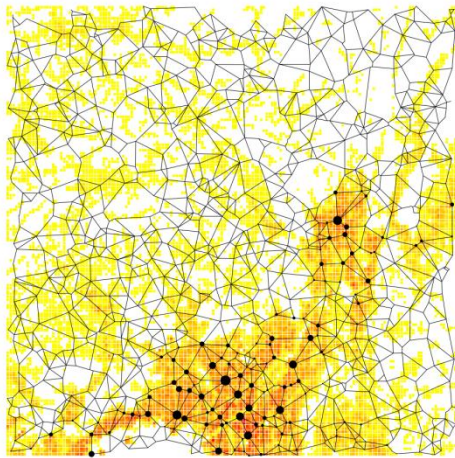
Random Shortcut (RS)

任意の2ノード間にショートカット

少ないリンク数で
離れたノード間を繋ぐ

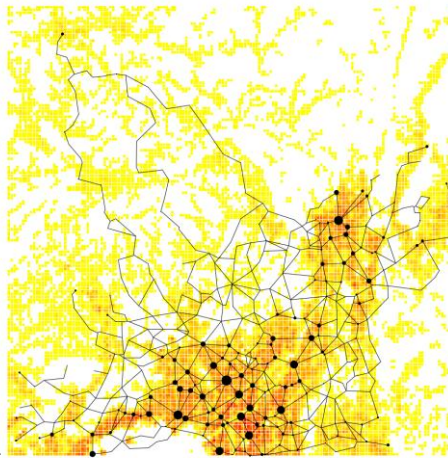
リンク淘汰とショートカット付加 による ネットワーク

平面グラフ



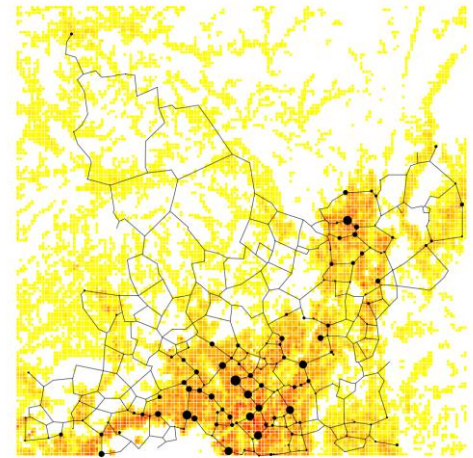
近接グラフ (GG)

淘汰
→



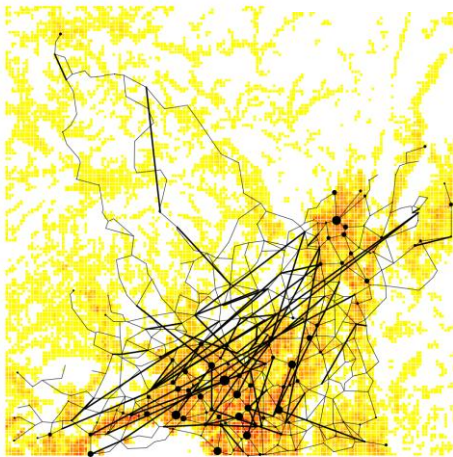
LS

リンクのみ
張り換え
→
(比較用)



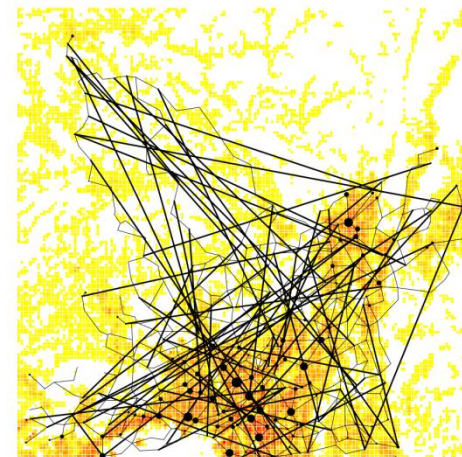
RNG

パスを強化



PR

一様に強化



RS

ネットワーク生成手順

Step 1. 初期構成の近接グラフを構築

各ノードに人口分布に応じたパケット送受信要求確率を設定

Step 2. 通信への貢献度が低いリンクを淘汰

パケット送受信要求確率に従ってパケットを生成

毎時刻 1ホップずつ転送し、転送に使用されたリンクの重み w_e に+1
確率 p_d でリンクの重み w_e を-1, $w_e=0$ になったリンクは除去

Step 4. Step 2を $t = 10000$ まで繰り返す

Step 5. ショートカット付加

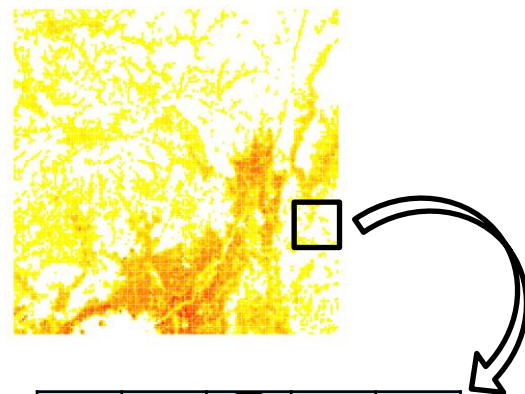
淘汰後のネットワークにショートカットを付加

人口分布に応じたパケット送受信要求

(財)統計情報研究開発センター
(<http://www.sinfonica.or.jp/index.html>)

テリトリの決め方

各ブロックの最近接アクセスノードを探索し、
対象ブロック内の人口数をノードに加算



送信元ノードと宛先ノードの決め方

各ノードに割り当てられた人口数に比例した
パケット送受信要求確率を設定

1	1	19	1	3
1	1	2	4	5
1	1	1	1	4
2	1	1	14	1
7	2	1	3	2

テリトリ内にあるブロックの
人口数を加算

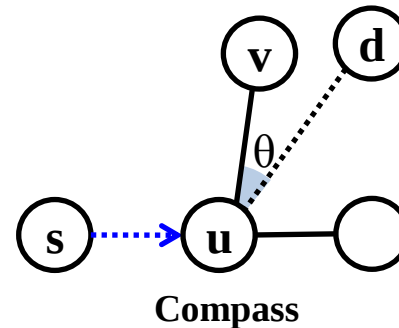
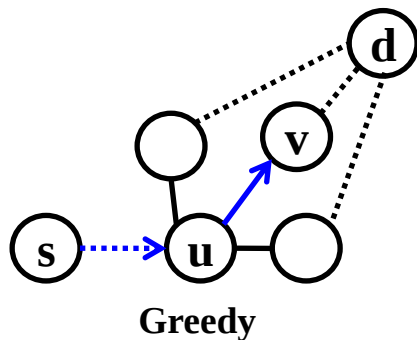
位置情報を利用したローカルなルーティング

- **Greedyルーティング**

宛先ノードdとユークリッド距離が最小になる隣接ノードvを選択

- **Compassルーティング**

現ノードu, 隣接ノードv, 宛先ノードdのなす $\angle vud$ が最小となるvを選択



- ループ回避と到達率向上 $\Rightarrow$ **Self-Avoiding**の導入
一度通過したノードは再度通過できない

生成されたネットワークの評価

Q. ネットワークを構築・管理するためコスト

⇒ リンク長分布 $P(l_{ij})$

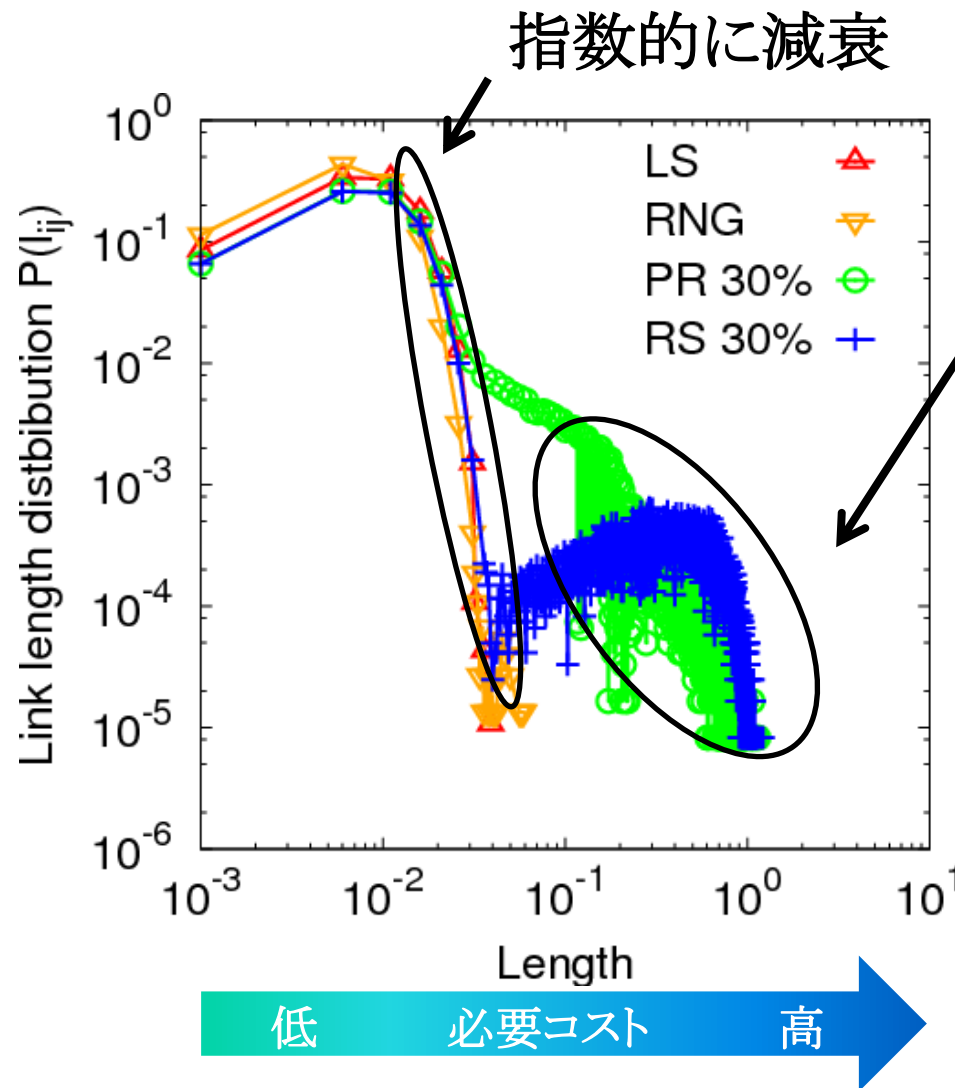
Q. ネットワークの通信効率

⇒ 平均最小ホップ数 $\langle L_{ij} \rangle$

Q. 不慮の故障や意図的な攻撃への結合耐性

⇒ ネットワークが大きく分断する臨界点に注目

ネットワーク構築・管理コスト リンク長分布 $P(l_{ij})$



長距離リンクが
全体に与える影響は少ない

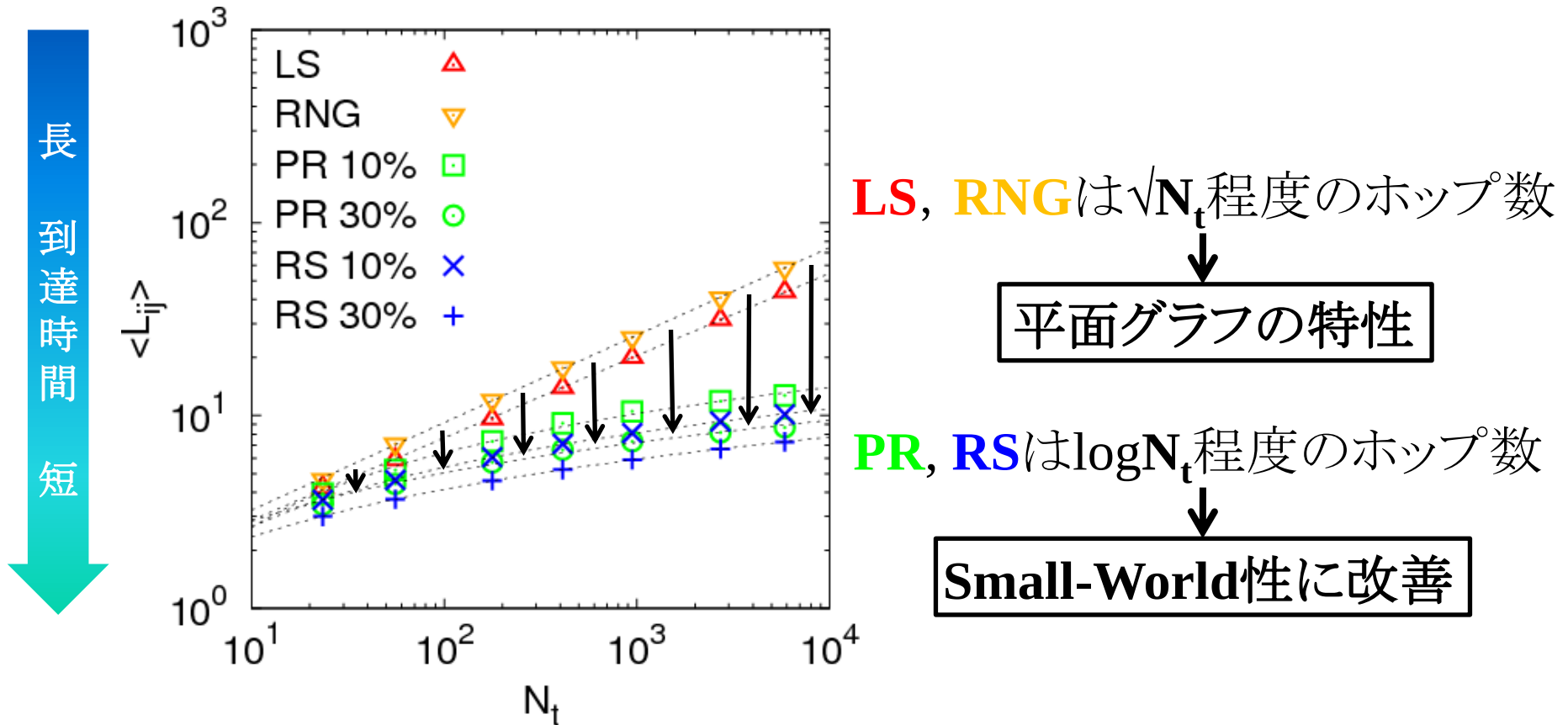
平均リンク長

LS	RNG	PR 30%	RS 30%
0.009	0.01	0.047	0.109

※ フィールドサイズ1.0×1.0

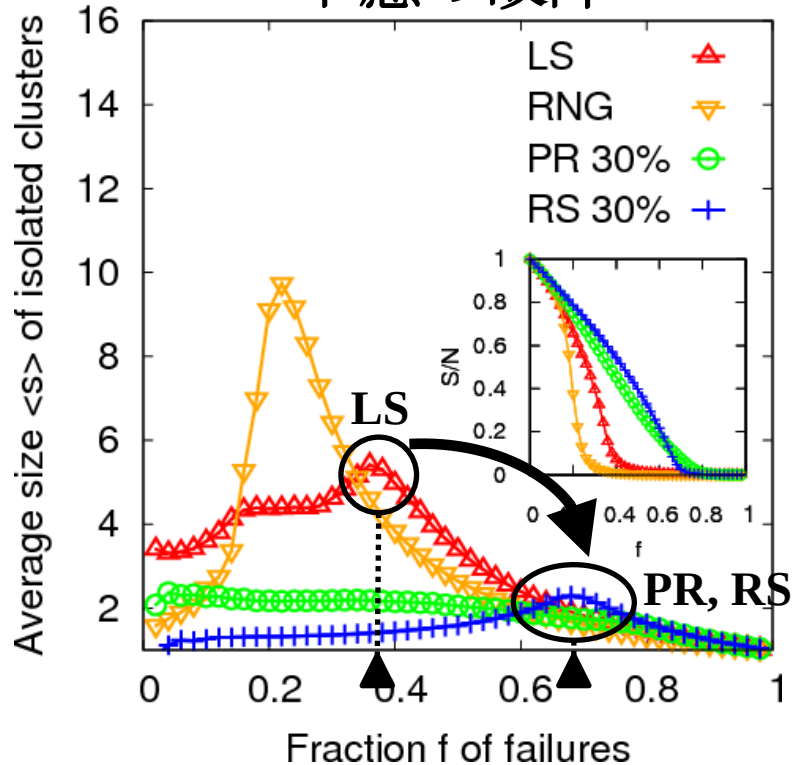
⇒ ネットワーク構築・管理のコスト低

ネットワークの通信効率 平均最小ホップ数 $\langle L_{ij} \rangle$



故障と攻撃への結合耐性

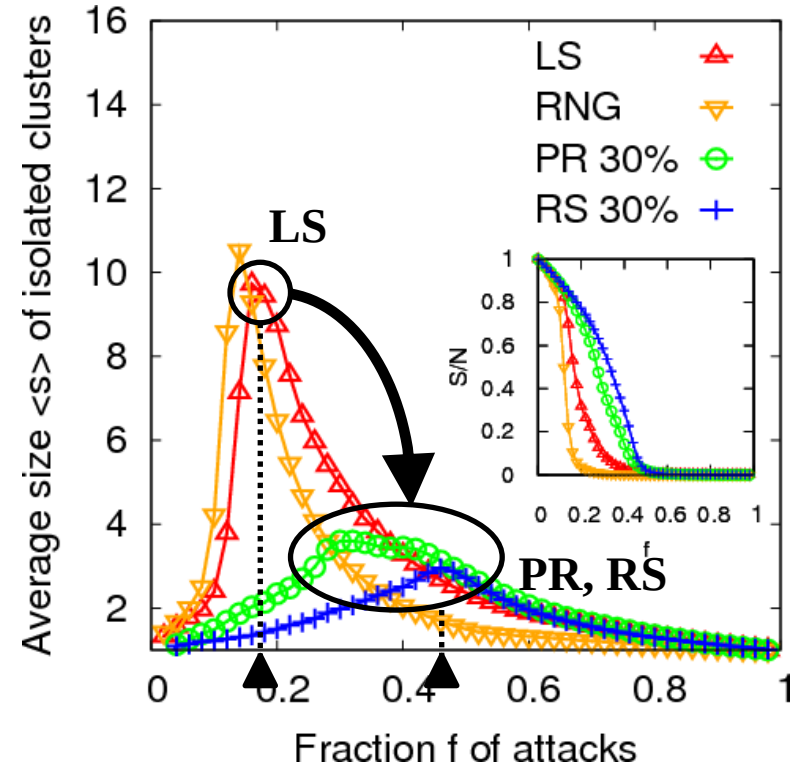
不慮の故障



脆弱

頑健

意図的な攻撃



脆弱

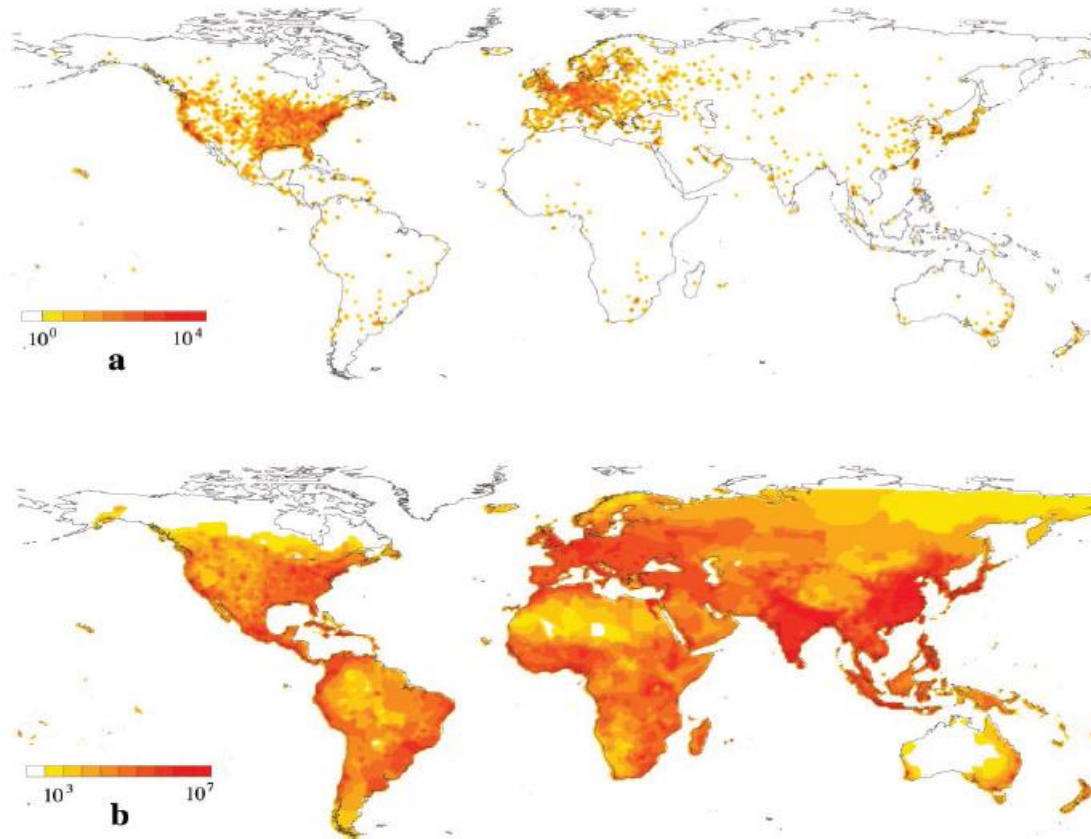
頑健

結論

提案手法により生成されたネットワークは以下の特性を持つ

- リンク長分布が指数的に減衰
⇒ ネットワーク構築・管理コストを抑えることが可能
- 任意の2ノード間を平均 $\log N$ 程度で繋ぐSW性
⇒ ユーザにとってストレスがない素早い通信が可能
- ショートカット付加で故障や攻撃に対して頑健性が強化
⇒ 安全で信頼性が高い通信が可能

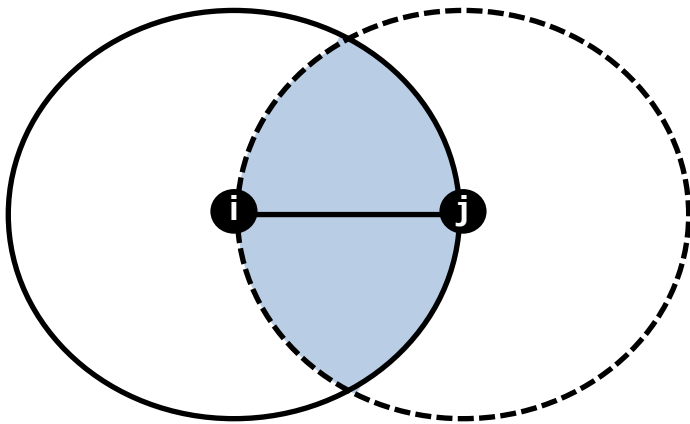
補足1: ルータ分布と人口分布の関係



ルータ分布(上)と人口分布(下)の関係
出展: “Modeling the Internet's large-scale topology”

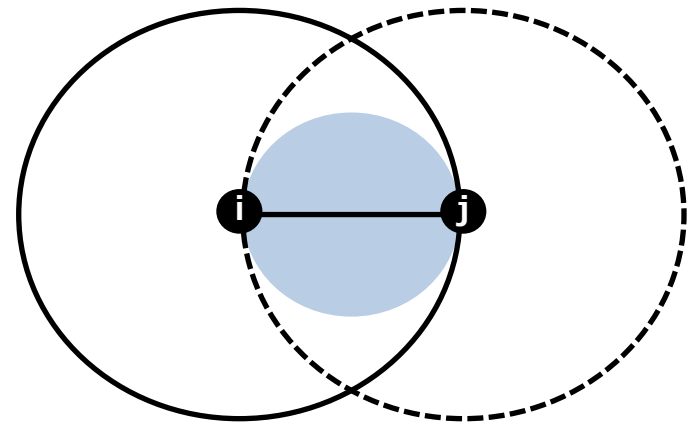
補足2: ガブリエルグラフと相対近傍グラフ

相対近傍グラフ (RNG) $\subseteq$ ガブリエルグラフ (GG)



if ($d(i,k) < d(i,j)$ かつ $d(j,k) < d(i,j)$ となるノード k が存在しない)
then ノード $i-j$ 間にリンクを構築する
else
then ノード $i-j$ 間にリンクを構築しない

※ $d(i,j)$ はノード $i-j$ 間のユークリッド距離



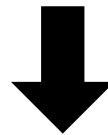
if ($disk(i,j)$ の中に i, j 以外のノード k が存在しない)
then ノード $i-j$ 間にリンクを構築する
else
then ノード $i-j$ 間にリンクを構築しない

※ $disk(i,j)$ はノード $i-j$ を直径とした円

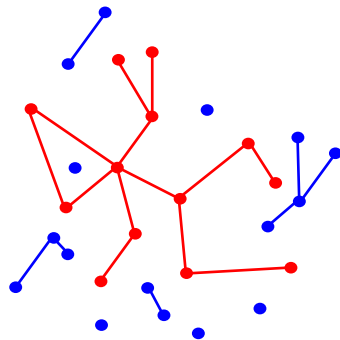
補足3: ネットワークが大きく分断する臨界値

Step 1. 最大連結成分が大きく分断

Step 2. 平均孤立クラスタサイズ $\langle s \rangle$ が極大



$\langle s \rangle$ がピーク時のノード除去率 f が臨界値 (f_c)



● 最大連結成分
● 孤立クラスタ

意図的な攻撃への耐性

意図的な攻撃への耐性

インターネット $\Rightarrow$ 3%が臨界値

WWW $\Rightarrow$ 7%が臨界値

R.Albert, and A.-L.Barabási, “Error and attack tolerance of complex networks,” Nature, Vol, 406, 2000.