
遺伝的アルゴリズムを用いた NDNのコンテンツ配置

立命館大学大学院 情報理工学研究科*

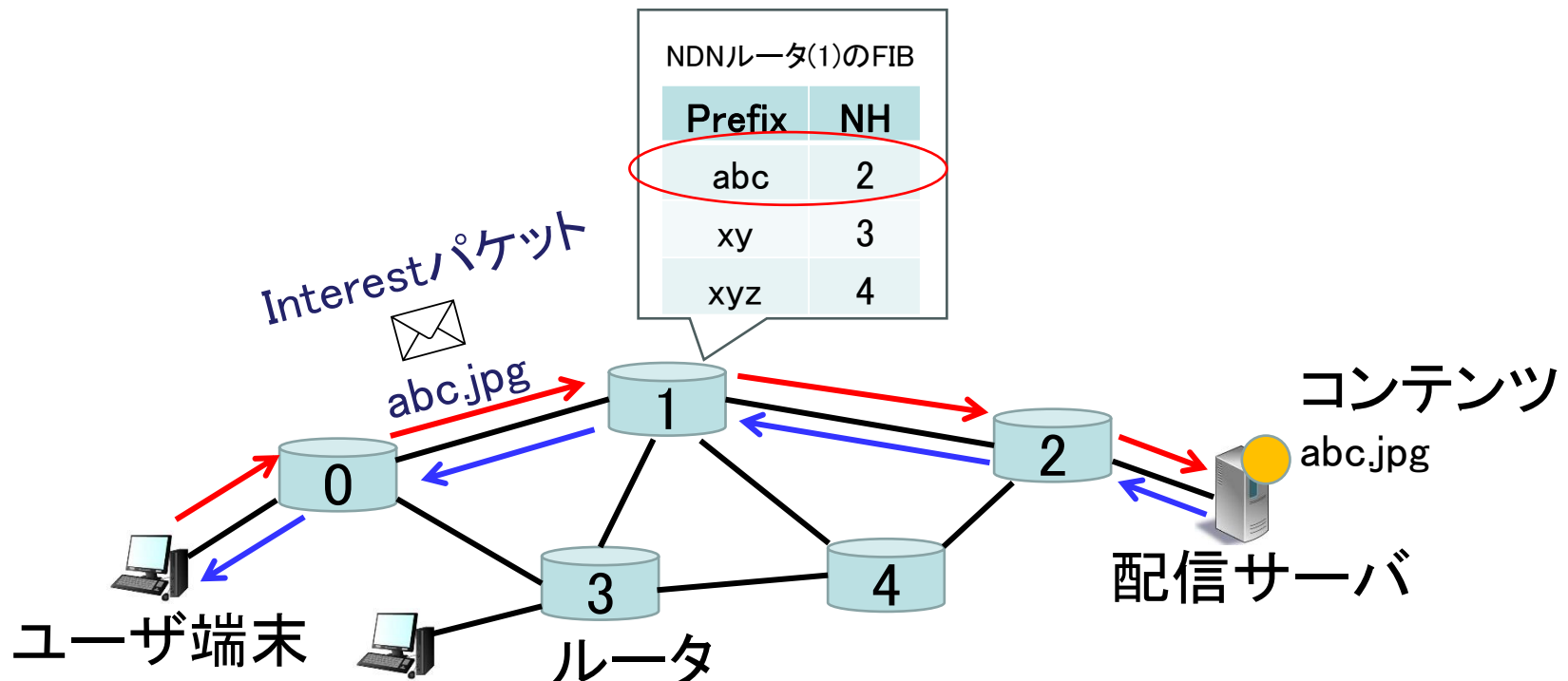
立命館大学 情報理工学部**

橋本紘輝* 上山憲昭**

2024/09/12

研究背景

- ICN (情報指向ネットワーク: information-centric networking)
 - コンテンツ名でデータを直接要求
 - Interestパケットはルータ上の転送テーブル(FIB :Forwarding Information Base)を参照して配信サーバに送信
 - 配信サーバからユーザにコンテンツが返送
 - NDN (named data networking)を想定



課題: FIBのスケール性

- ネットワークの大規模化によりPrefixの数が増大
- FIBの必要メモリ量と検索時間が大幅に増大
- SLD (Second Level Domain)には地域性がなくFIBのエントリ集約が困難

■ コンテンツURL: www.ritsumei.ac.jp

- ### ■ 例: Webコンテンツのみを考慮した場合

NDN FIB: 約 10^9 のエントリが必要* vs **IP FIB: 約 10^5 のエントリ**

NDNルータのFIB

Prefix	NH
abc	0
xy	1
xyz	3

IPルータのFIB

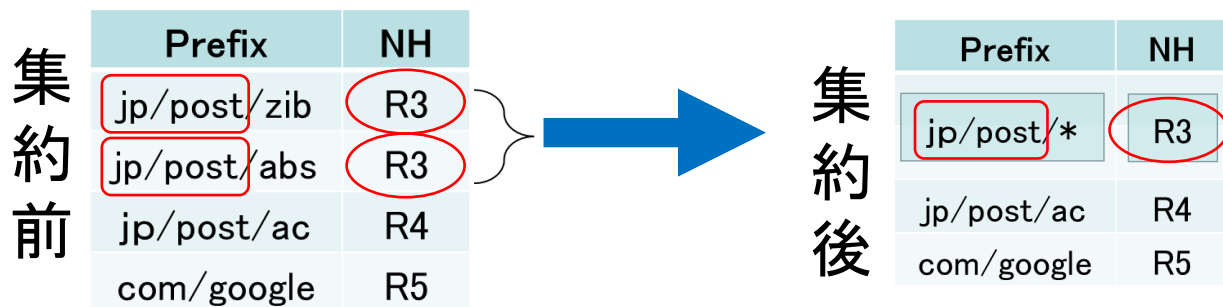
Prefix	NH
223.1.1.1	0
223.2.1.1	1
224.1.1.3	2

NH: next hop

研究方針*

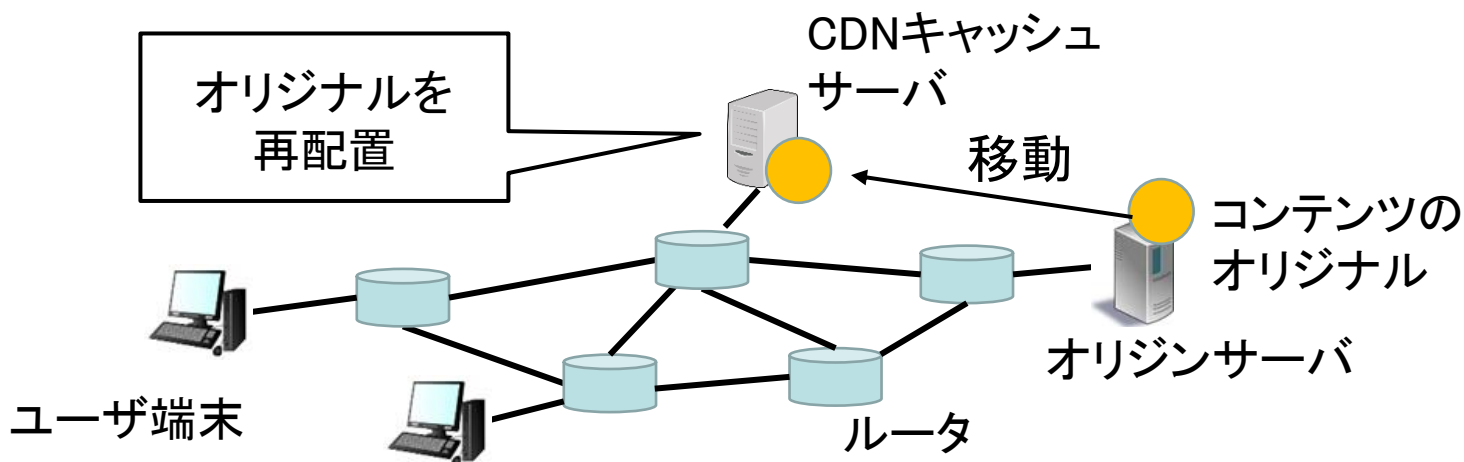
■ コンポーネント単位でFIBエントリを集約

- URLを逆順に並び替え
- コンテンツ名の上位部分とNHが一致



■ CDNを活用してコンテンツのオリジナルを再配置

⇒似た名前のコンテンツを同じ場所に配置することでFIB集約効果の向上



本研究の目的

■ 発見的手法によるコンテンツ再配置*

- ネットワークの中心から人気の高いコンテンツを配置
- FIBサイズとリンク負荷が**低減**
- 特定ノードの**可用性低下**や特定リンクへの**負荷集中発生**

■ 負荷集中を防ぐコンテンツ配置法の検討が必要

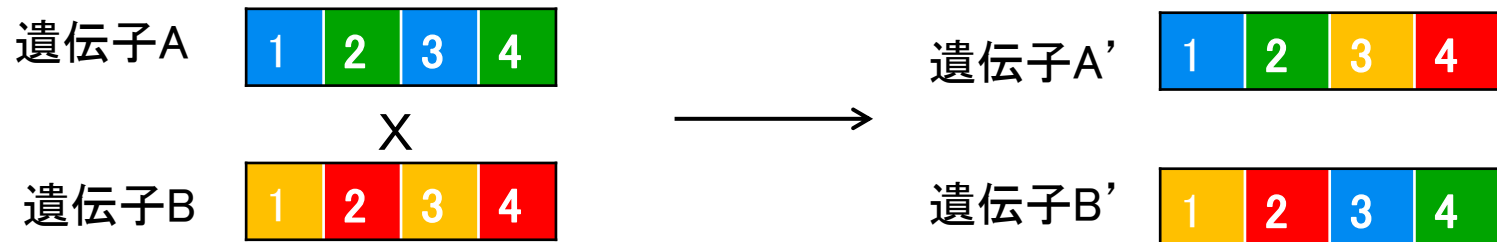
■ コンテンツ配置は組合せ最適化問題

⇒ **遺伝的アルゴリズム(GA: genetic algorithm)を用いたコンテンツ最適配置**の検討

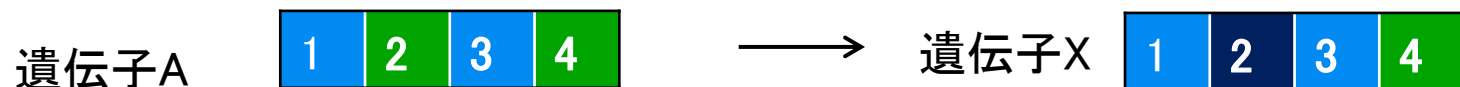
*橋本紘輝, 上山憲昭, “NDN のFIB 集約とネットワーク品質向上を目的としたコンテンツ配置法”, 信学会情報ネットワーク(IN) 研究会, IN2022-105, 沖縄, 2023 年3 月

遺伝的アルゴリズム (GA: genetic algorithm)

- 生物の進化の仕組みに着想を得て作られた近似解法
- 事前に定めた終了条件まで生成した母集団を反復的に洗練
 - 遺伝子(解)の生成と適応度関数で評価
 - 評価された適応度値に基づき選択
 - 交叉: 遺伝子をかけあわせて新世代の遺伝子を生成



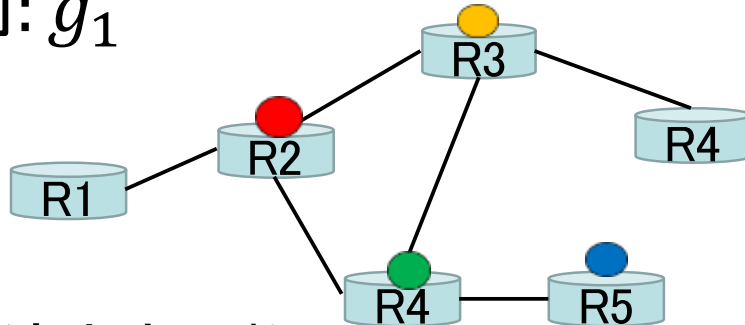
- 突然変異: 遺伝子の一部を変更



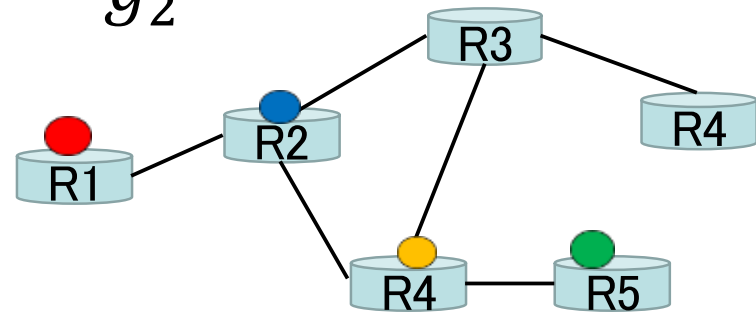
GAの設計方針

- 遺伝子 g_k : 全てのコンテンツのノードへの配置結果
- コンテンツ配置単位:
 - TLDごとに分けたコンテンツ集合
 - TLDが“com”と“net”はSLDごとに分けたコンテンツ集合

例: g_1



g_2



■ 適応度関数

$$A(g) = w_1(1 - E'_a) + w_2(1 - L'_a) + w_3(1 - C'_L) + w_4(1 - R'_c)$$

- E_a : 平均FIBサイズ L_a : 平均リンク負荷
 C_L : リンク負荷の変動係数 R_c : コンテンツ可用性喪失値
 - 世代ごとに正規化 $\Rightarrow E'_a, L'_a, C'_L, R'_c$
- 重み: w_1, w_2, w_3, w_4

評価条件

- $A(g) = w_1(1 - E'_a) + w_2(1 - L'_a) + w_3(1 - C'_L) + w_4(1 - R'_c)$
 - 重み w_1, w_2, w_3, w_4 は均等に設定
- 世代数 $G = 10$
- 遺伝子数 $I = 250$ 個
- トポロジ: Allegiance Telecom
 - 単一ASを想定
 - コンテンツを静的に配置
- 6つの評価指標で評価
 - 平均FIBサイズ
 - 最大FIBサイズ
 - コンテンツ可用性喪失値
 - 平均リンク負荷
 - リンク負荷の変動係数
 - 最大リンク負荷

性能評価（1/2）

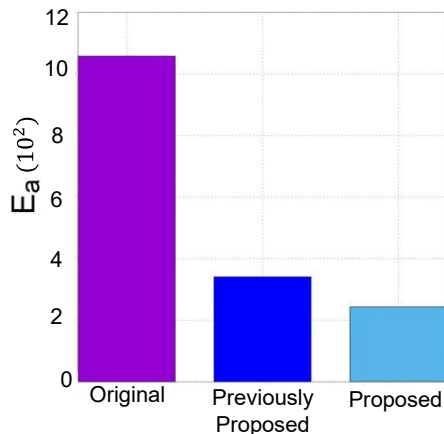
■ 比較手法

- Original: 再配置なし
- Previously Proposed: 発見的手法による配置
- Proposed: 提案方式

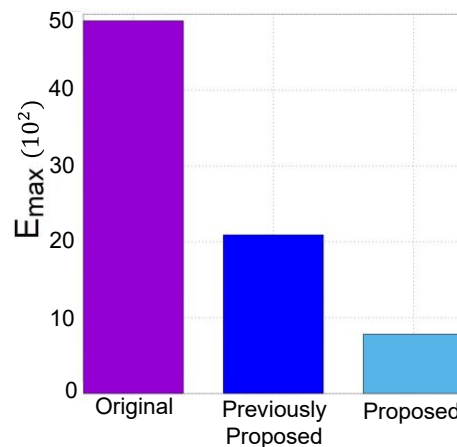
■ 結果

- FIBサイズ、コンテンツ可用性喪失値を**低減**

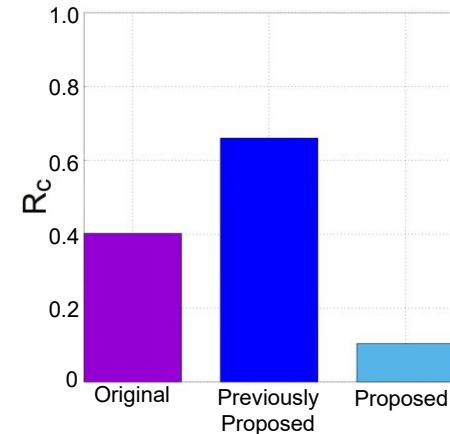
※ R_c : 単一ノード障害発生時に喪失するコンテンツ要求比率の最大値



平均FIBサイズ



最大FIBサイズ



可用性喪失値

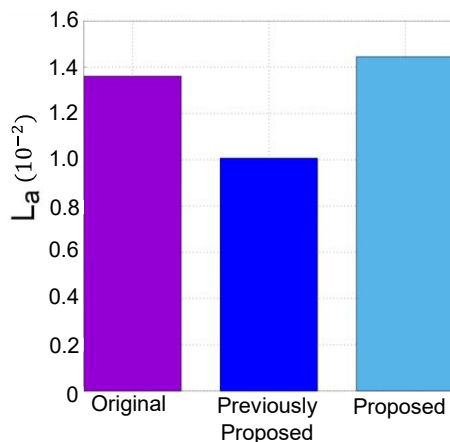
性能評価（2/2）

■ 比較手法

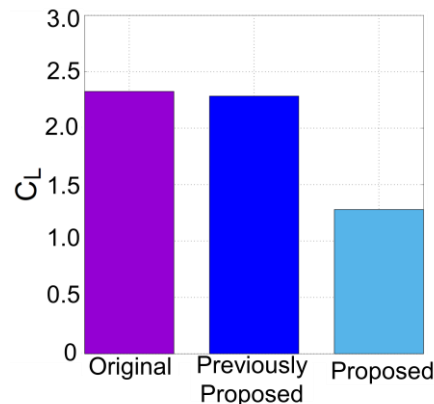
- Original: 再配置なし
- Previously Proposed: 発見的手法による配置
- Proposed: 提案方式

■ 結果

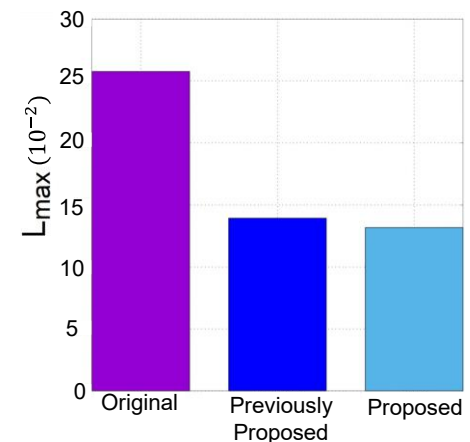
- リンク負荷の変動係数、最大リンク負荷を**低減**
- 平均リンク負荷は**増加**
- ➡適応度関数でリンク負荷の重みを重視すると**低減可能**



平均リンク負荷



リンク負荷の変動係数



最大リンク負荷

まとめ

- NDNのFIBサイズ低減のために遺伝的アルゴリズムを適用したコンテンツ配置を提案
- コンテンツの分散配置とFIBサイズの低減を実現
- 重みを均等に設定した場合には平均リンク負荷は増加
 - 重みを大きく設定することで低減可能
- 今後の予定
 - ノード負荷やノードキャッシュを踏まえたリンク負荷について評価

ご静聴ありがとうございました

補足: 配置アルゴリズム

1. コンテンツ数 N に対して, ランダムに I 個の初期遺伝子を作成
2. 適応度 A_i である i 位の遺伝子の選択確率 p_i を, I 個の遺伝子の適応度の和 S に占める A_i の割合で計算
3. 選択確率に基づいて, **ルーレット選択法**で次世代に残す遺伝子を x 個選択
4. 選択された遺伝子に基づいて**二点交叉処理**を実行し, y 個の子孫遺伝子を生成
5. 一定の確率で突然変異を発生させ, 遺伝子をランダムに再構成
6. 上記の手順を G 世代繰り返し, 最後の世代で最も適応度が高い遺伝子を最適配置として選択