
NDNのFIBサイズ低減とリンク負荷抑制を 目的としたコンテンツの最適配置

立命館大学大学院 情報理工学研究科¹

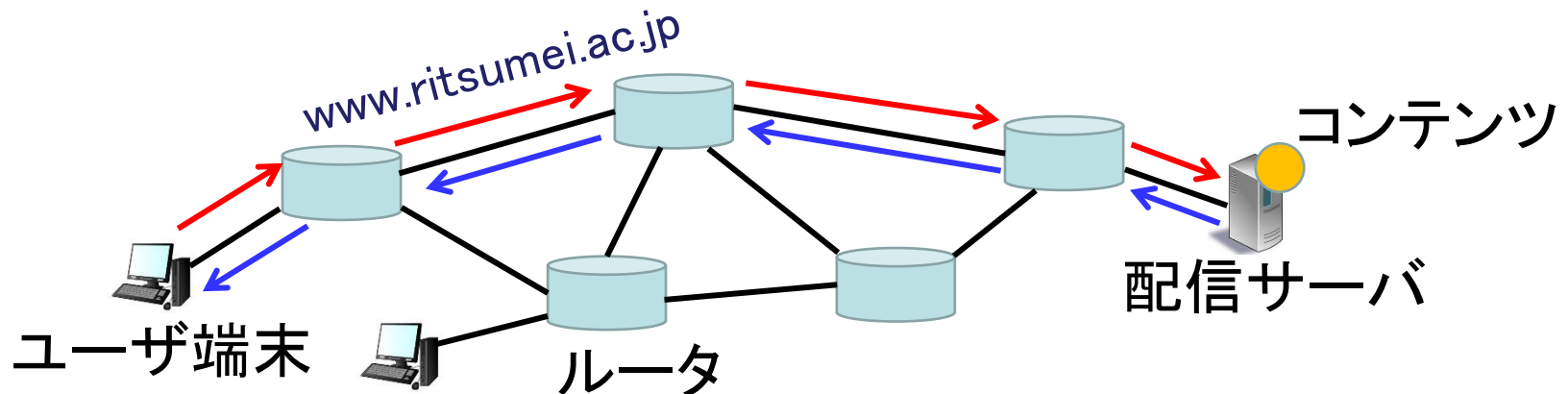
立命館大学 情報理工学部²

橋本紘輝¹ 上山憲昭²

2023/05/11

研究背景

- ICN (information-centric networking)
 - NDN (named data networking)を想定
 - コンテンツ名でデータを直接要求
 - 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Interestパケットを送信
 - 配信サーバからユーザにコンテンツが返送



着目課題

- ドメイン数はサブネットワーク数と比較して**膨大**
- ドメイン名には地域性がないため、FIBエントリの集約が**困難**
- 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

- FIBの必要メモリ量と検索時間が大幅に**増大**
⇒**スケーラビリティの点での課題**

*A. Detti, M. Pomposinim, N. Blefari-Melazzi, and S. Salsano, Supporting the Web with an information centric network that routes by name, Elsevier Computer Networks, Vol. 56, No. 17, pp. 3705–3722, Nov. 2012

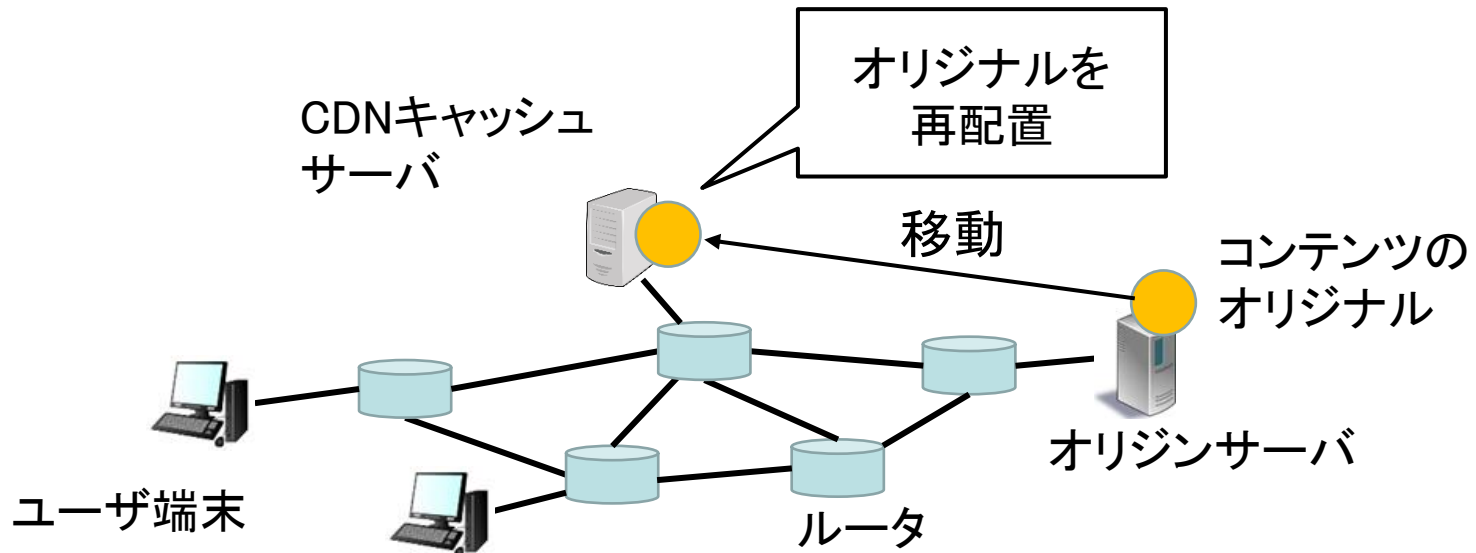
本研究の目的

- コンテンツ名(URL)の上位パートが同一のFIBエントリは**集約可能**
- コンテンツの位置を変え,似たような名称のコンテンツが同じ位置になるとFIBエントリ**集約効果が向上**



CDN(キャッシュサーバ)をNDNのオリジナルコンテンツを提供するプラットフォームと位置付け

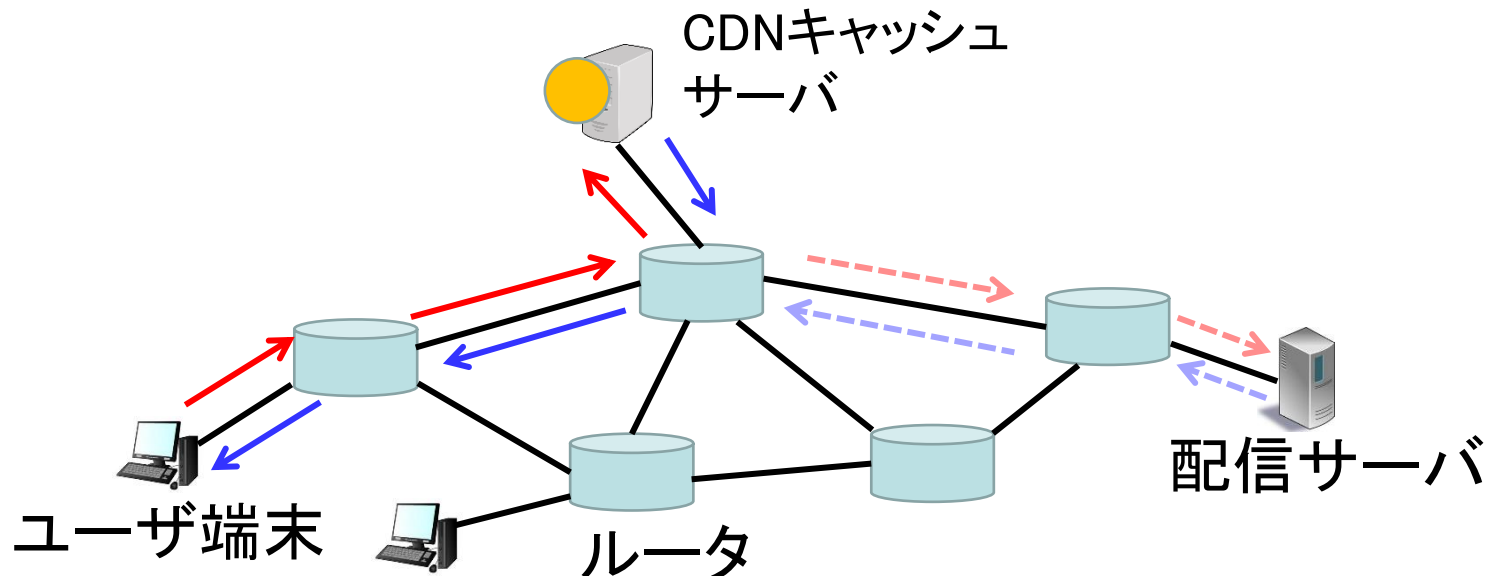
FIB集約効果が向上するようコンテンツを再配置



研究の着眼点

■ CDN(Content Delivery Network)

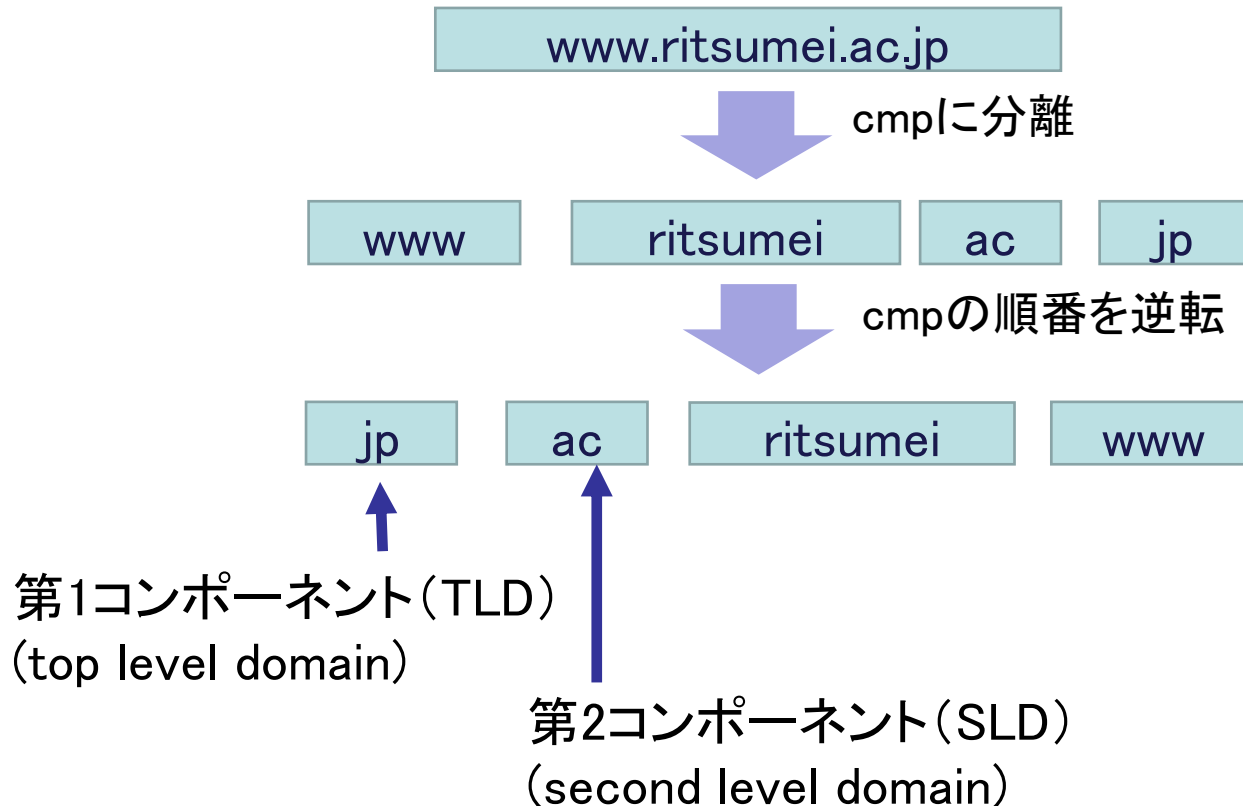
- ネットワーク上に配置したキャッシュサーバからコンテンツを効率的に配信可能とする技術
 - 配信遅延時間の低減
 - ネットワーク内のトラフィック量を削減可能
- ⇒CDNの目的はNDNによって実現



FIB集約法

コンポーネント

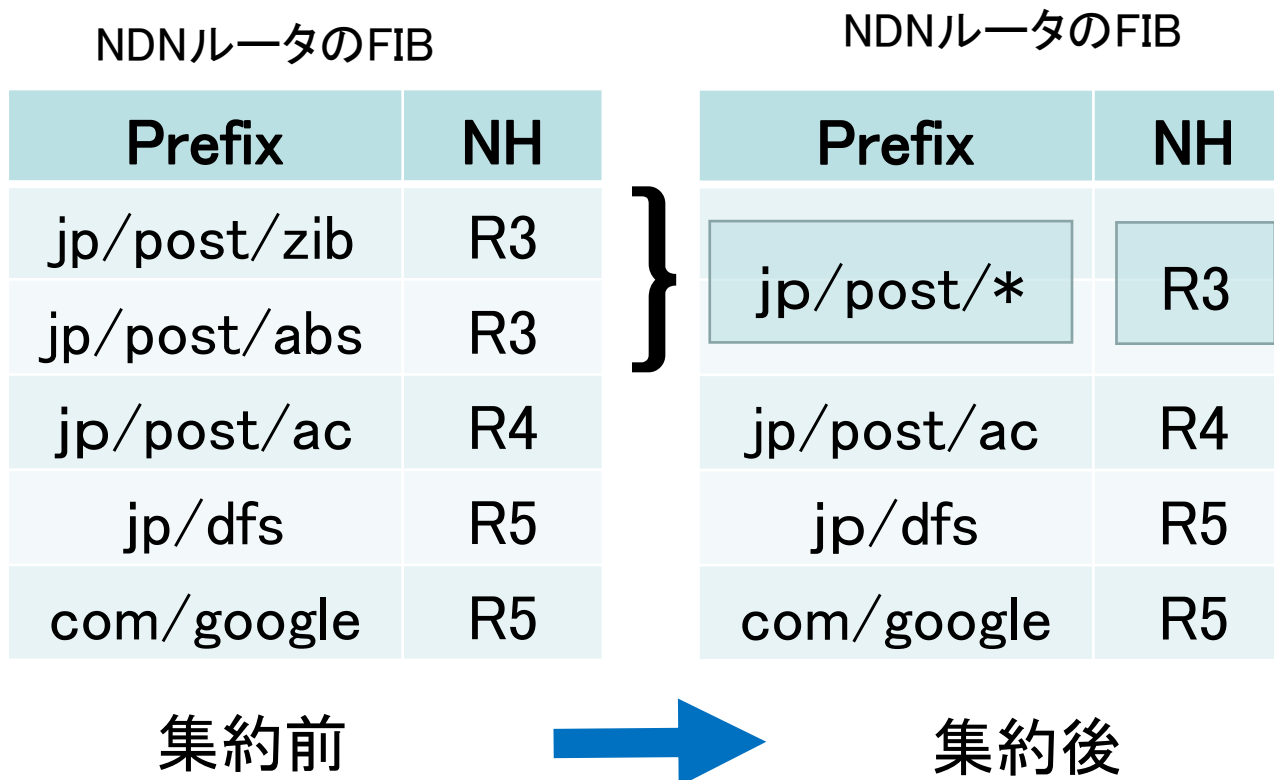
- コンポーネント(cmp): コンテンツの名前(URL)の「.」で区切られた各パート
- 例: 「www.ritsumei.ac.jp」の場合



FIB集約法

■ FIBエントリ集約可能条件

- ✓ コンテンツ名(URL)の上位部分が同一
- ✓ 出力ポートのNH(next hop)が同一



コンテンツ配置方式

先行研究

■ コンテンツの再配置方針

■ TLDとSLDのWebオブジェクトの個数に着目

■ TLDやSLDが同じオブジェクトをできるだけ同一ノードに配置

■ FIB集約法(cmp単位で集約)

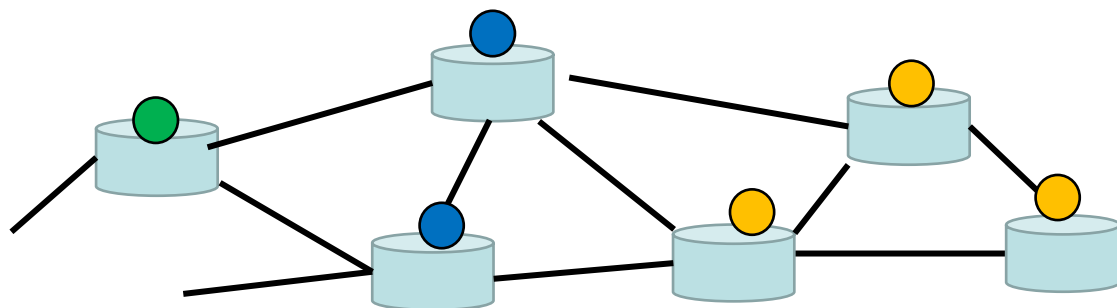
⇒FIBのエントリ集約効果が向上

ノード

● 最も個数が多いTLDを含むコンテンツ

● 2番目に個数が多いTLDを含むコンテンツ

● 3番目に個数が多いTLDを含むコンテンツ



■ ネットワーク全体に配置することで負荷軽減

■ コンテンツを配置するノードの位置は非考慮

⇒リンク負荷については未考慮

提案方式(コンテンツ配置方式)

ネットワーク全体に配置するよりも**配置ノード数を限定**することでFIBサイズの低減が期待

⇒ **コンテンツ配置ノード数 N を指定**

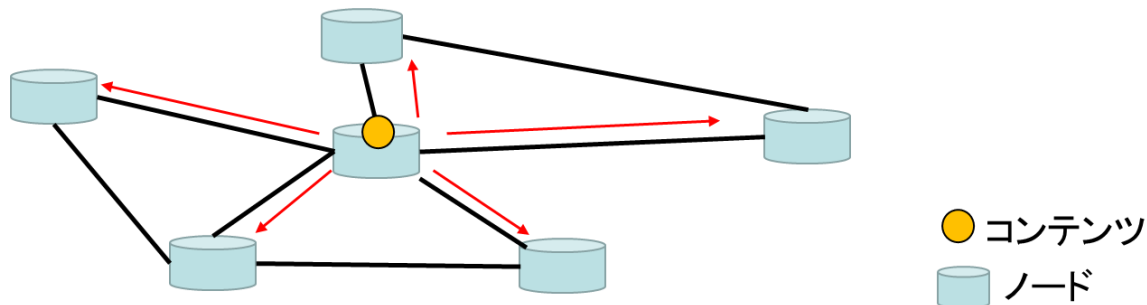
⇒⇒ **平均FIBサイズと平均リンク負荷を考慮して再配置**

■ FIBのエントリ集約効果を向上

- TLDやSLDが同じドメインのオブジェクトをできるだけ同一ノードに配置

■ 平均リンク負荷の低下

- **ノード位置を考慮**し、他ノードに至る平均ホップ長が小さいノードから順に、URLのTLDやSLDのドメインのアクセス比率の大きいコンテンツを配置



負荷集中に対する考慮

- 提案方式ではNWの中心からノード数を指定して再配置
 - ネットワークの中心では負荷集中が予想



- 負荷考慮に対する評価指標
 - リンク負荷の変動係数
 - コンテンツ可用性喪失値
 - 単一ノード障害発生時、可用性が喪失する総アクセス比率の最大値

最適配置ノード数の設計

■ 配置ノード数 N を指定して配置

- 平均FIBサイズ(E)
- 平均リンク負荷(L)
- リンク負荷の変動係数(C)
- コンテンツ可用性喪失値(R)

■ コスト D の導出

- $D = w_1 E' + w_2 L' + w_3 C' + w_4 R'$
- 評価尺度それぞれの正規化値(E', L', C', R')
- 重み: w_1, w_2, w_3, w_4 を利用

⇒コスト D が最小となるような N を**最適配置ノード数 N^*** として定義

評価に用いるトポロジ

■ 6種類のネットワークトポロジを利用

- コンテンツ配置ノード数 N 最小値1 最大値30

■ Hub & Spoke (H&S) 型

- 平均次数3.0以上

Hub & Spoke型	ノード数	リンク数	平均次数
Allegiance Telecom	53	176	3.32
ATT	93	308	3.31
Verio	35	144	4.11
Internet2	12	42	3.50

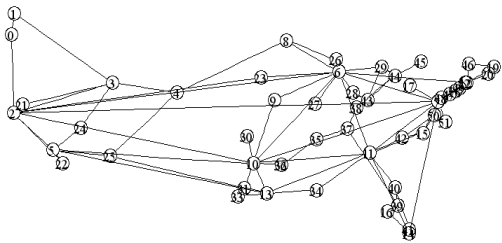
■ Ladder型

- 平均次数3.0未満

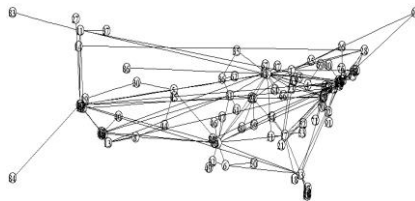
Ladder型	ノード数	リンク数	平均次数
At Home Network	46	110	2.39
CAIS Internet	37	88	2.37

トポロジ図

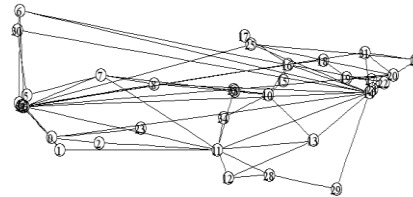
- Hub & Spoke(H&S)型 (平均次数3.0以上)
⇒ 少数の高次数ノードどおしが連結



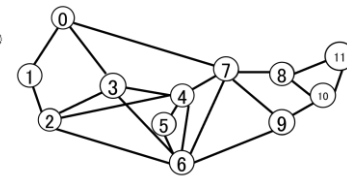
Allegiance
Telecom



ATT

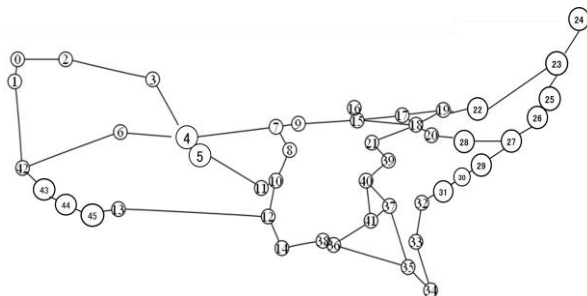


Verio

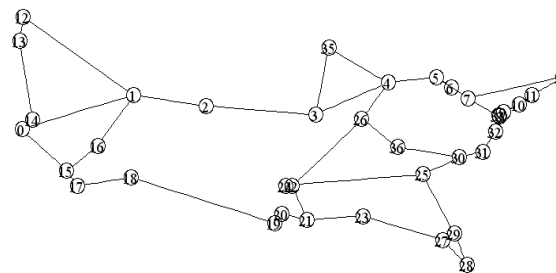


Internet2

- Ladder型 (平均次数3.0未満)
⇒ 近距離ノードどおしが連結



At Home Network



CAIS Internet

重み付け評価

■ コストD導出式

$$D = w_1 E' + w_2 L' + w_3 C' + w_4 R'$$

(E' , L' , C' , R' は正規化後の値)

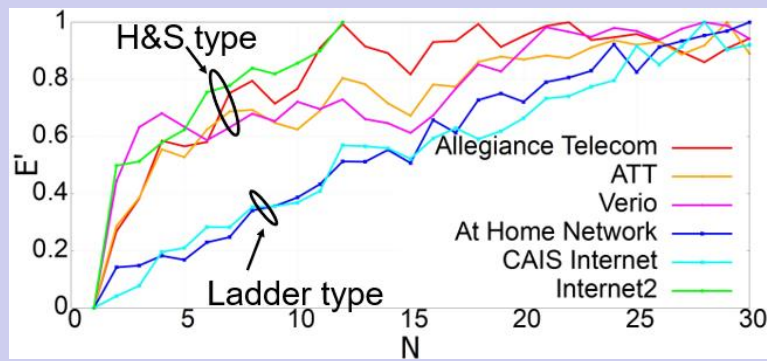
■ 評価シナリオ

- VE : 平均FIBサイズの重み w_1 を0.7とし, 残り3つの尺度を0.1
- VL : 平均リンク負荷の重み w_2 を0.7とし, 残り3つの尺度を0.1
- VC : リンク負荷の変動係数の重み w_3 を0.7とし, 残り3つの尺度を0.1
- VR: コンテンツ可用性の重み w_4 を0.7とし, 残り3つの尺度を0.1
- EQ : w_1, w_2, w_3, w_4 それぞれの尺度を0.25

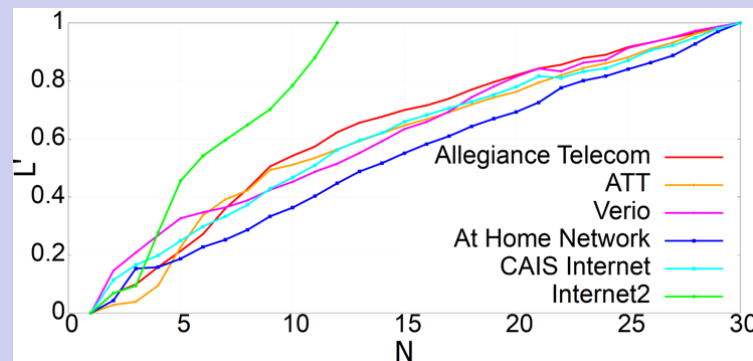
各トポロジで各評価シナリオにおける最適配置ノード数 N^* を提示

性能評価と考察

各評価尺度の正規化値の変化



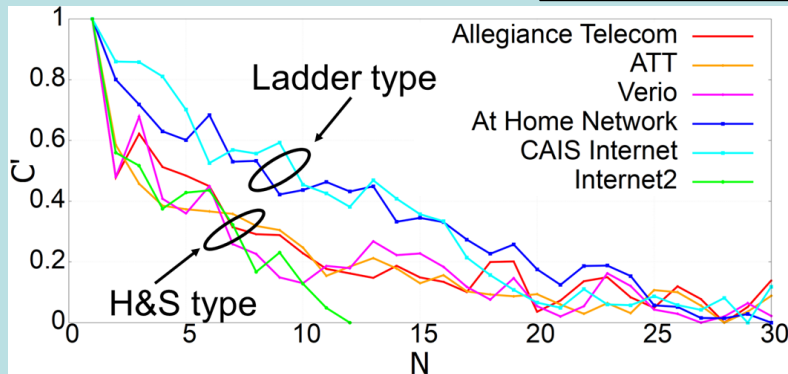
(a) 配置ノード数 N に対する
平均FIBサイズの正規化値 E'



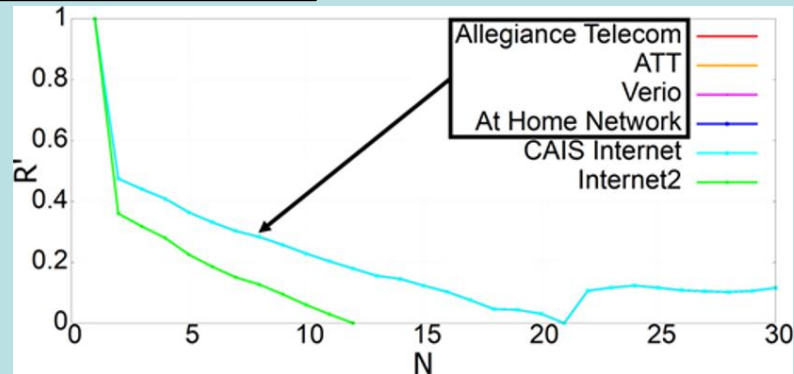
(b) 配置ノード数 N に対する
平均リンク負荷の正規化値 L'

Nが増えると値が増加

Nが増えると値が減少

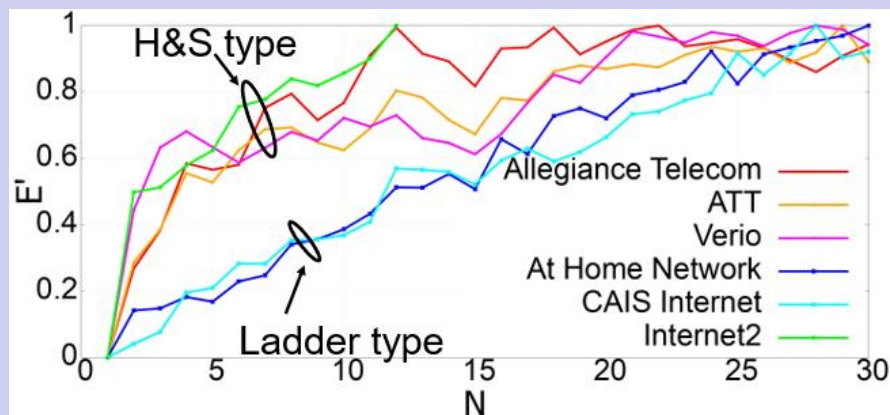


(c) 配置ノード数 N に対する
リンク負荷の変動係数の正規化値 C'

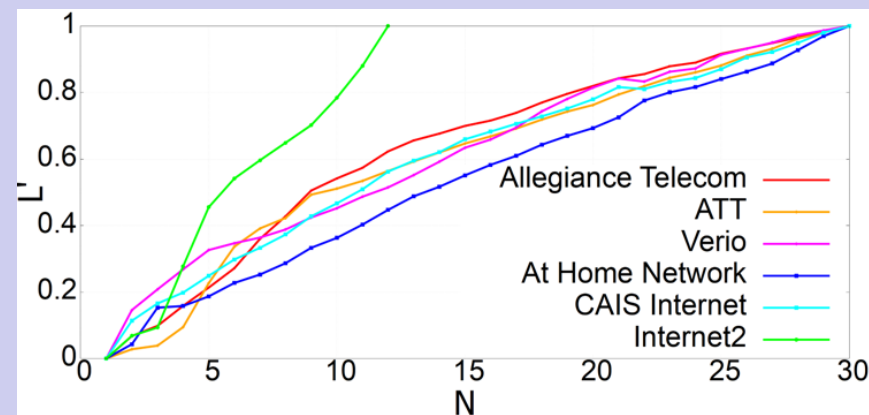


(d) 配置ノード数 N に対する
コンテンツ可用性喪失値の正規化値 R'

Nが増加すると値が増加する評価尺度



(a) 配置ノード数 N に対する平均FIBサイズの正規化値 E'



(b) 配置ノード数 N に対する平均リンク負荷の正規化値 L'

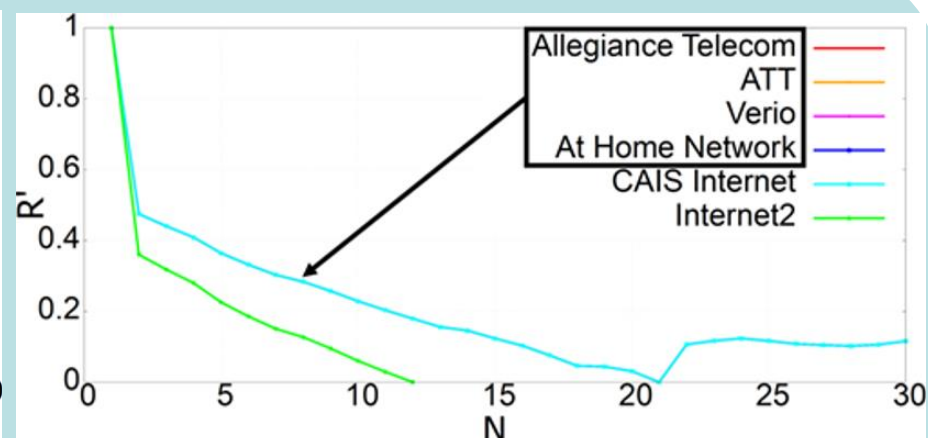
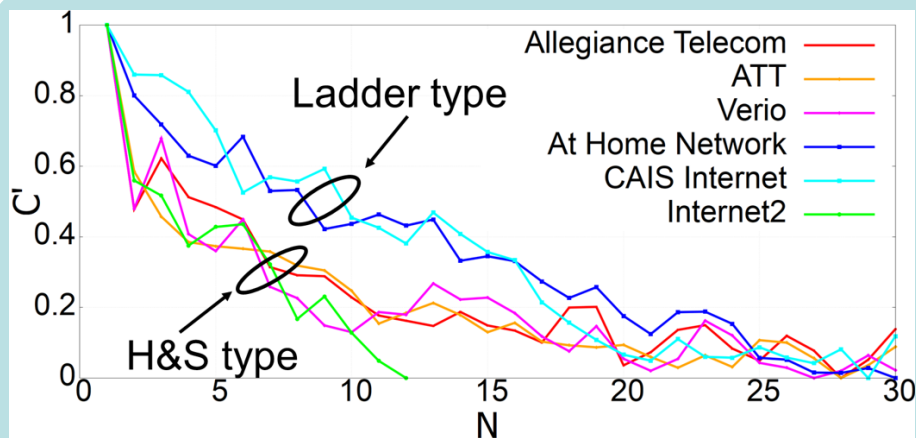
■ 平均FIBサイズ

- 全コンテンツを1カ所にまとめて配置時, 同TLDは1つに集約可能
⇒ N 増加で出力ポートが分散

■ 平均リンク負荷

- 中心ノード近くに需要の高いコンテンツを配置
⇒ N 増加でネットワーク上に分散

Nが増加すると値が減少する評価尺度



(c) 配置ノード数 N に対する
リンク負荷の変動係数の正規化値 C'

(d) 配置ノード数 N に対する
コンテンツ可用性喪失値の正規化値 R'

■ リンク負荷の変動係数

- 中心ノード近くに需要の高いコンテンツを配置時, リンク負荷の偏り発生

⇒ N 増加でリンク負荷が分散

■ コンテンツ可用性喪失値

- N 増加で1ノードあたりのコンテンツ数が減少

トポロジ型比較 - Hub&Spoke型 -

■ 次数が高いハブノードどうしが連結
⇒コンテンツは次数の高いノードに配置

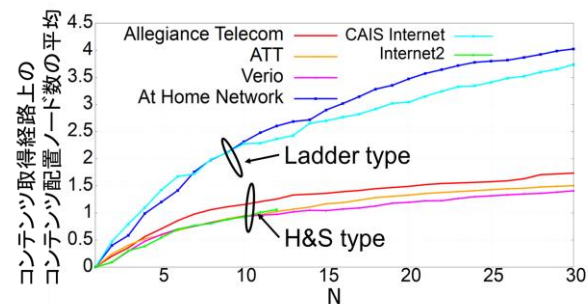
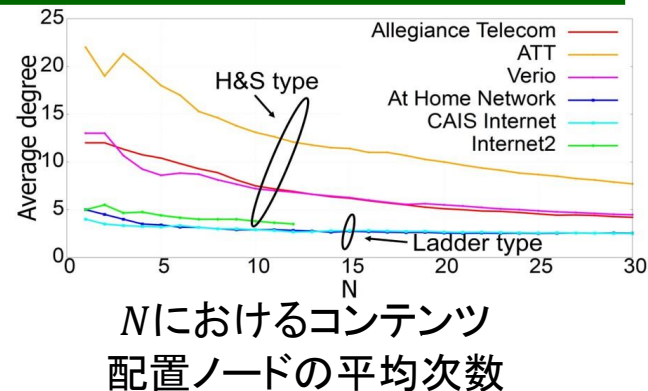
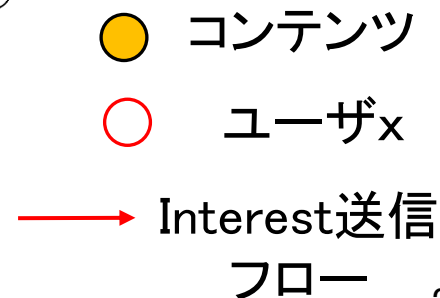
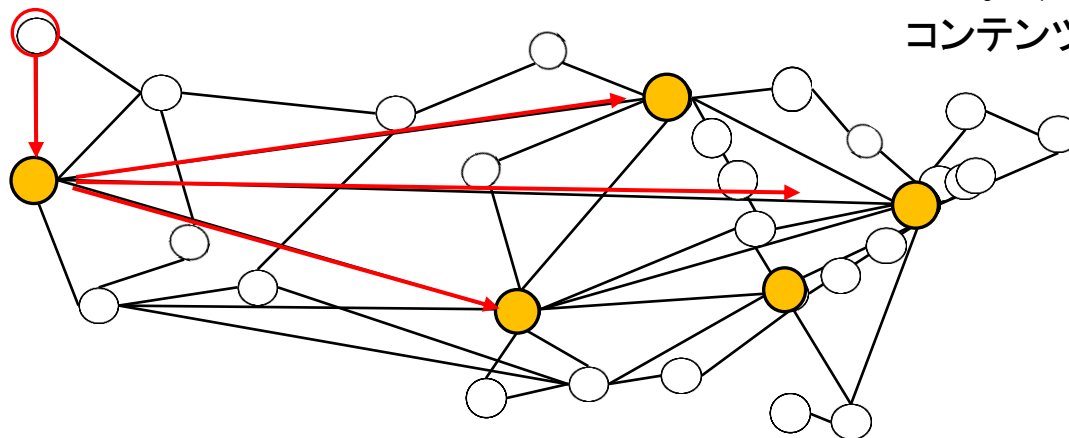
■ コンテンツ取得経路が分散

■ FIB出力ポートが異なる

⇒ N 増加に伴う平均FIBサイズ E' の増加度が大

■ 負荷が異なるリンクに分散

⇒ N 増加に伴うリンク負荷の変動係数 C' の減少度が大



トポロジ型比較-Ladder型-

■ 次数が低いノードどうしが近くで連結
⇒コンテンツはネットワークの中心に配置

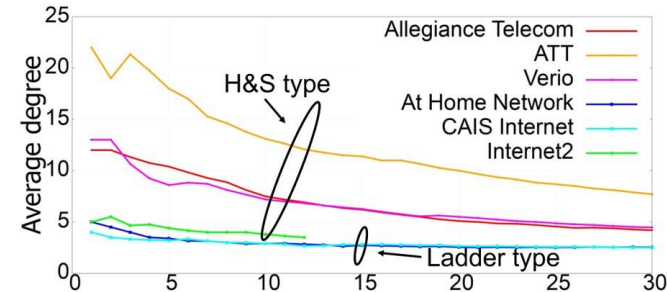
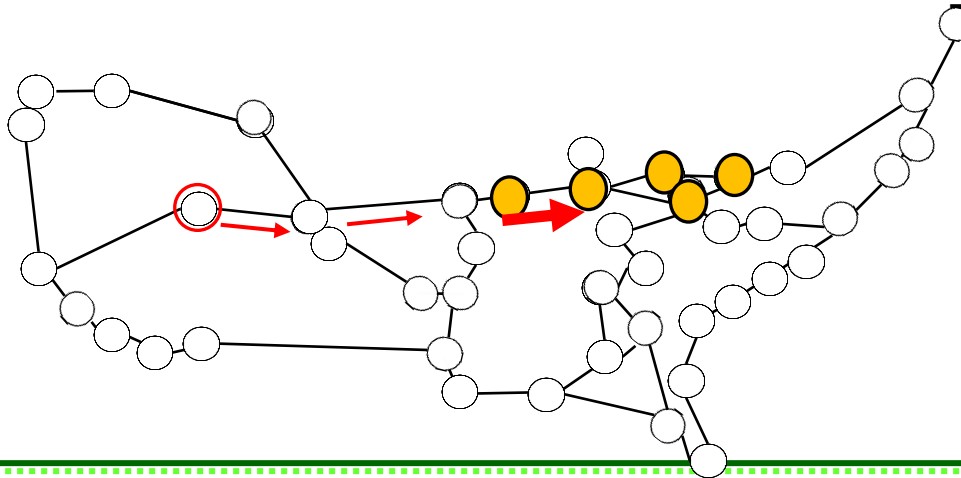
■ コンテンツ取得経路が重複

■ 同一TLDが経路上に配置

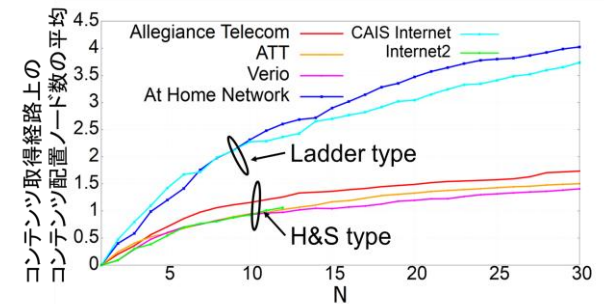
⇒ N 増加に伴う平均FIBサイズ E' は緩やかに増加

■ 負荷が同一リンクに集中

⇒ N 増加に伴うリンク負荷の変動係数 C' は緩やかに減少



N におけるコンテンツ配置ノードの平均次数



N におけるコンテンツ取得経路上にコンテンツ配置ノード c の数の平均 H

- コンテンツ
- ユーザ x
- Interest送信フロー

最適配置ノード数 N^*

Hub & Spoke型	VE	VL	VC	VR	EQ
Allegiance Telecom	1	2	28	21	2
ATT	1	2	28	21	3
Verio	1	1	21	21	9
Internet2	1	2	12	12	3
Ladder型	VE	VL	VC	VR	EQ
At Home Network	1	2	27	21	5
CAIS Internet	2	1	21	21	6

■ 評価シナリオ

- VE: 平均FIBサイズを重視
- VL: 平均リンク負荷を重視

■ VC: リンク負荷の変動係数を重視

■ VR: コンテンツ可用性を重視

■ EQ: 均等に重視

結果比較

※ オリジナル：再配置前のコンテンツ配置
最適配置 N^* ：評価シナリオEQ時の最適ノード数を採用

Allegiance Telecom	平均FIBサイズ	平均リンク負荷	最大リンク負荷	リンク負荷の変動係数	コンテンツ可用性喪失値
オリジナル	1058.415094	0.013610	0.257664	2.325268	0.402674
$N^*(= 2)$	340.886792	0.010068	0.139288	2.283755	0.660507
提案方式効果	-67%	-26%	-45%	-1.7%	+64%

ATT	平均FIBサイズ	平均リンク負荷	最大リンク負荷	リンク負荷の変動係数	コンテンツ可用性喪失値
オリジナル	999.591398	0.008338	0.314486	3.130588	0.314906
$N^*(= 3)$	460.634409	0.005546	0.174210	3.074631	0.638278
提案方式効果	-53%	-33%	-44%	-1.7%	+102%

Verio	平均FIBサイズ	平均リンク負荷	最大リンク負荷	リンク負荷の変動係数	コンテンツ可用性喪失値
オリジナル	2645.000000	0.015537	0.291708	2.180211	0.314906
$N^*(= 9)$	1441.828571	0.010838	0.136947	1.930983	0.519899
提案方式効果	-45%	-30%	-53%	-11%	+65%

結果比較

※ オリジナル：再配置前のコンテンツ配置
 最適配置 N^* ：評価シナリオEQ時の最適ノード数を採用

Internet2	平均FIBサイズ	平均リンク負荷	最大リンク負荷	リンク負荷の変動係数	コンテンツ可用性喪失値
オリジナル	3421.250000	0.048975	0.280485	1.279703	0.403571
$N^*(=3)$	1463.250000	0.031564	0.172151	1.488350	0.638278
提案方式効果	-57%	-35%	-38%	+16%	+58%

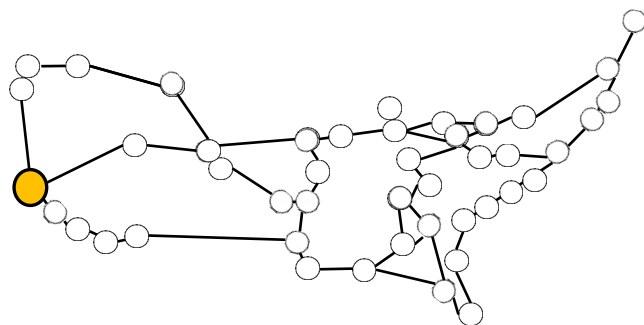
At Home Network	平均FIBサイズ	平均リンク負荷	最大リンク負荷	リンク負荷の変動係数	コンテンツ可用性喪失値
オリジナル	2070.108696	0.059994	0.454620	1.475946	0.403758
$N^*(=5)$	320.565217	0.043169	0.372464	1.739834	0.589075
提案方式効果	-84%	-28%	-18%	+17%	+45%

CAIS Internet	平均FIBサイズ	平均リンク負荷	最大リンク負荷	リンク負荷の変動係数	コンテンツ可用性喪失値
オリジナル	1498.378378	0.058379	0.476483	1.573457	0.402674
$N^*(=6)$	481.108108	0.043537	0.258371	1.689123	0.567933
提案方式効果	-67%	-25%	-45%	+7%	+41%

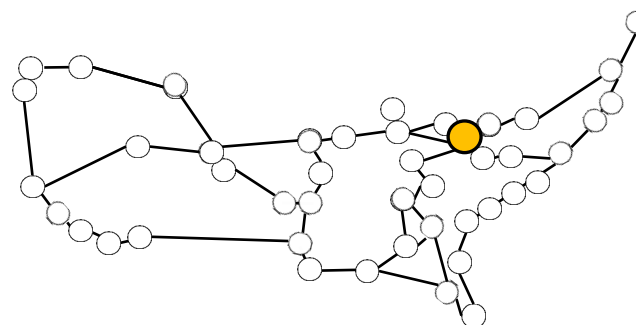
結果考察

■ 最大リンク負荷

- オリジナル配置時には西側に人気コンテンツが集中
⇒ 東側に送信するとき同一リンクに負荷集中
- 提案方式によってネットワークの中心にコンテンツ再配置
⇒ リンク使用が分散



オリジナル配置時



提案方式時

● 総アクセス比率が最大のノード

■ コンテンツ可用性喪失値

- 提案方式では人気コンテンツをノード数を限定して配置するためオリジナルと比べて性能低下
⇒ 特定ノードに堅牢なシステムを導入することで障害発生回避

まとめ・今後の方針

■ まとめ

- ネットワークの中心から高人気コンテンツを配置するとき、ノード数を限定し、4つの尺度の評価重みを設定したときの、最適な配置ノード数を提示
- 最適配置は平均FIBサイズ・平均リンク負荷・最大リンク負荷においてオリジナルより高い削減効果
- コンテンツ可用性については限定して配置するため性能低下
⇒ 堅牢なシステム導入によって障害回避

■ 今後の研究

- コンテンツの配置を最適化
- コンテンツが動的に生成・消滅する場合の動的なコンテンツ配置方法についても検討

ご静聴ありがとうございました