
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

立命館大学 情報理工学部

橋本紘輝 上山憲昭

2023/03/03

研究背景

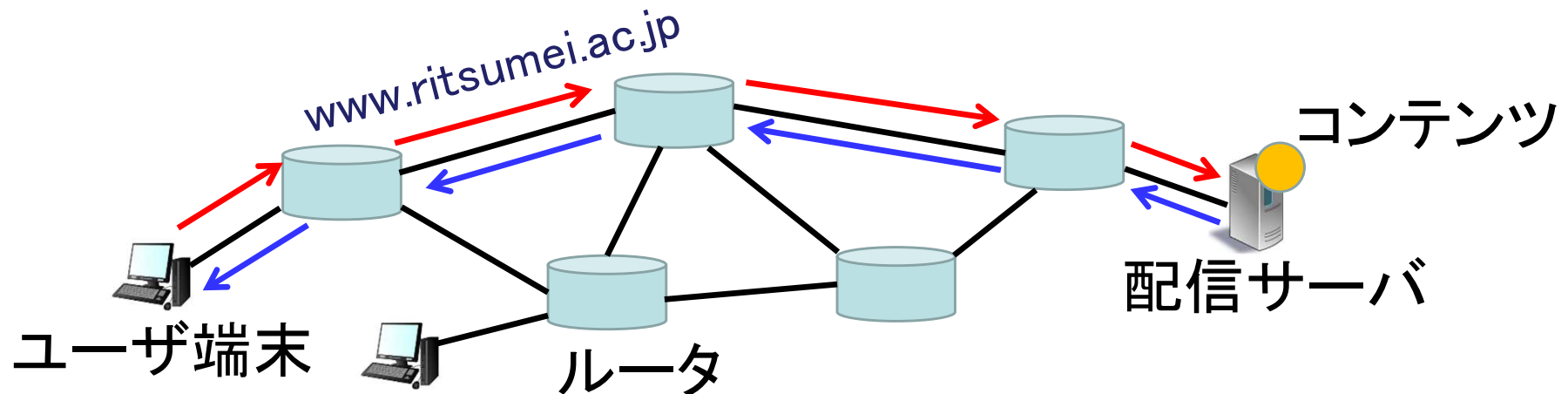
■ 情報指向ネットワーク

- ICN (information-centric networking)

 - NDN (named data networking)

- デジタルコンテンツやIoT データを効率的に配信できる新しいネットワークアーキテクチャとして注目

- コンテンツ名でデータを要求可能



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

IPルータのFIB		NDNルータのFIB		NH: next hop
Prefix	NH	Prefix	NH	
223.1.1.1	0	abc	0	
223.2.1.1	1	xy	1	
224.1.1.3	2	xyz	3	

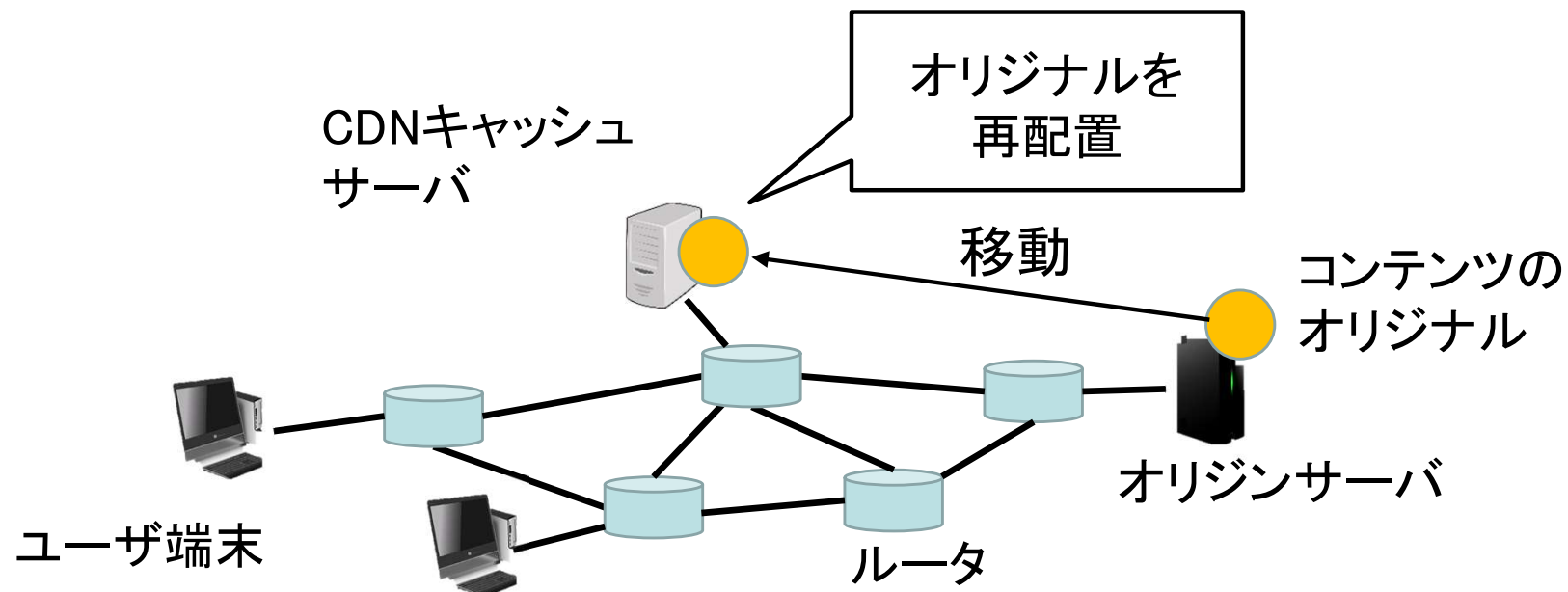
- FIBの必要メモリ量と検索時間が大幅に**増大**

*A. Detti, M. Pomposini, 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

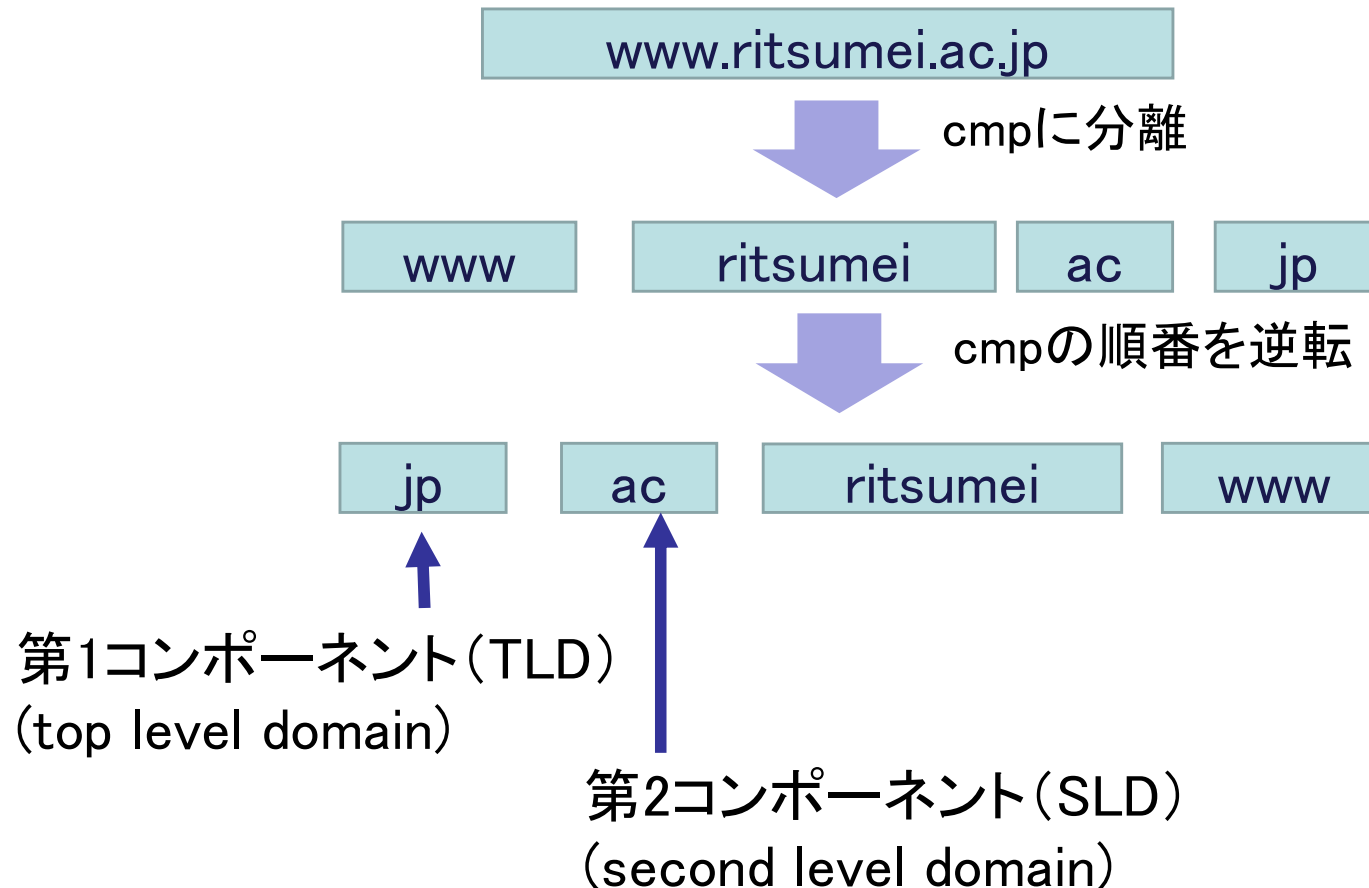
- コンテンツ名(URL)の上位パートが同一のFIBエントリは**集約可能**
- 似たような名称のコンテンツが同じ位置になるよう, コンテンツの位置を変えることでFIBエントリ**集約効果が向上**

⇒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



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



LPMを用いたFIB集約法

※LPM (longest prefix matching)

■ FIBエントリ集約可能条件

- ✓ コンテンツ名(URL)の上位パートが同一
- ✓ 出力ポートのNH(next hop)が同一

NDNルータのFIB

Prefix	NH
jp/ac	R4
jp/post	R4
com/amgdgt	R4
com/google	R5



集約前

NDNルータのFIB

Prefix	NH
jp/*	R4
com/amgdgt	R4
com/google	R5

集約後



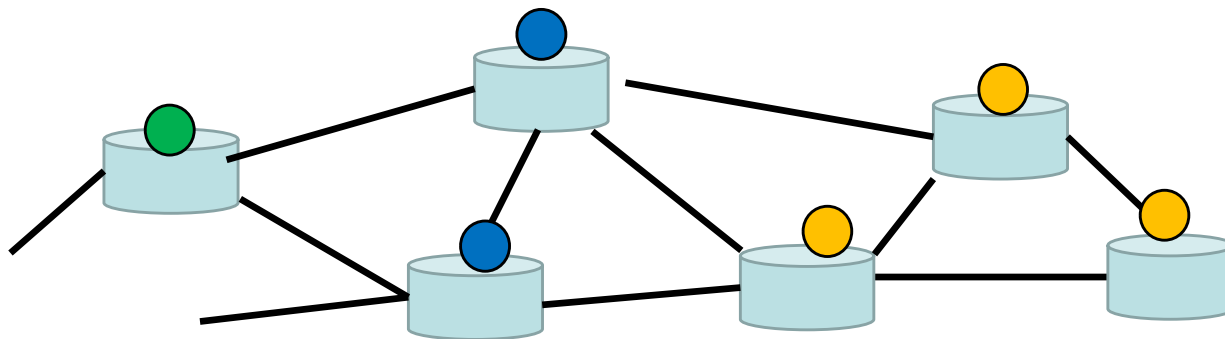
先行研究(文献[1])

■ コンテンツの再配置方針とFIB集約

■ TLDとSLDのWebオブジェクトの個数に着目

- 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

⇒FIBのエントリ集約効果が向上



ノード

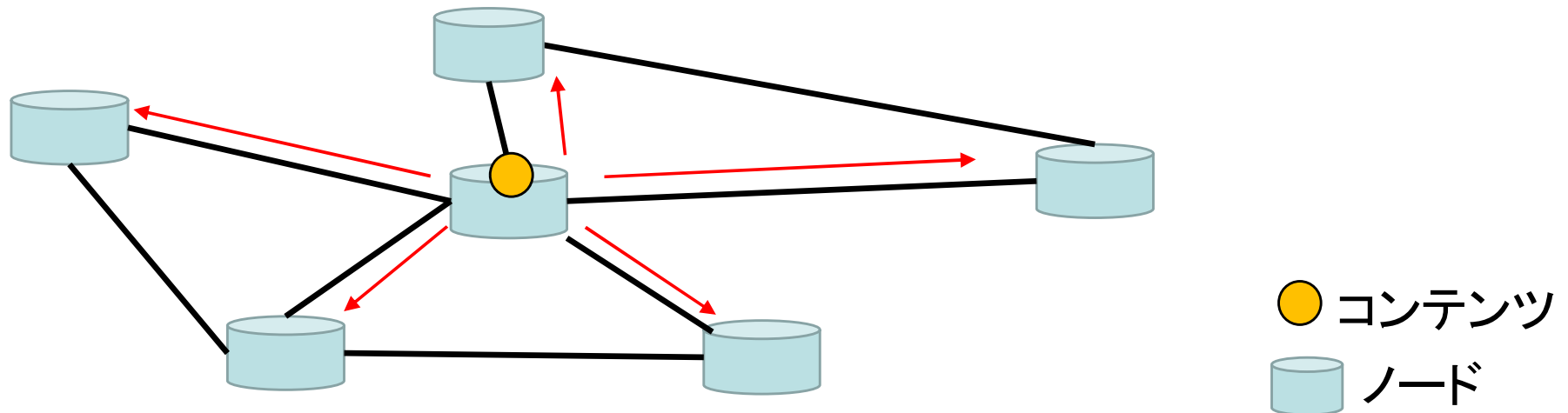
- 最も個数が多いTLDを含むコンテンツ
- 2番目に個数が多いTLDを含むコンテンツ
- 3番目に個数が多いTLDを含むコンテンツ

■ ネットワーク全体に配置することで負荷考慮

■ ノードの位置は非考慮

コンテンツ配置ポリシー

- 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のドメインの要求比率の大きいコンテンツを配置



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サイズと平均リンク負荷の低減が期待

⇒コンテンツ配置ノード数 N を指定

⇒⇒コンテンツ配置ポリシーに基づいて再配置



ネットワークの中心では負荷集中が予想



リンク負荷の変動係数とコンテンツ可用性の考慮

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(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

重み設定パターン

■ コストD導出式

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

(E' , L' , C' , R' は正規化後の値)

■ 重みを設定

- W1 : 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
- W2 : 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
- W3 : 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
- W4 : 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

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

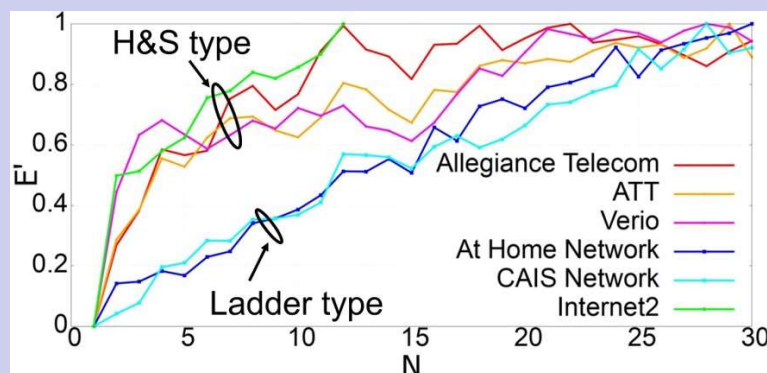
Hub & Spoke型	ノード数	リンク数	平均次数
Allegiance Telecom	53	176	3.32
ATT	93	308	3.31
Verio	35	144	4.11
Internet2	12	42	3.50

■ Ladder型

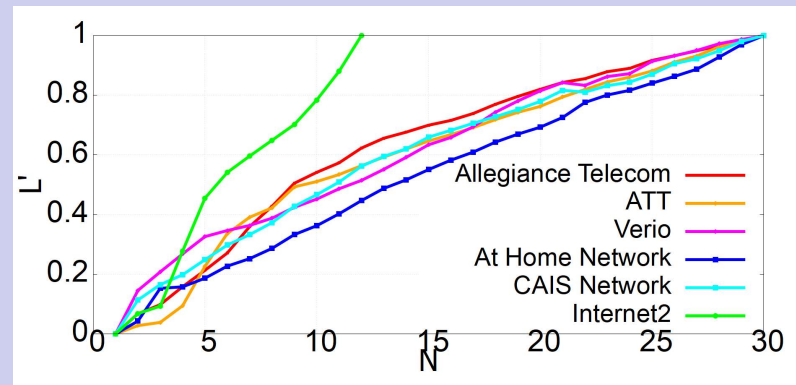
■ 平均次数3.0未満

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

各評価尺度の正規化値の変化



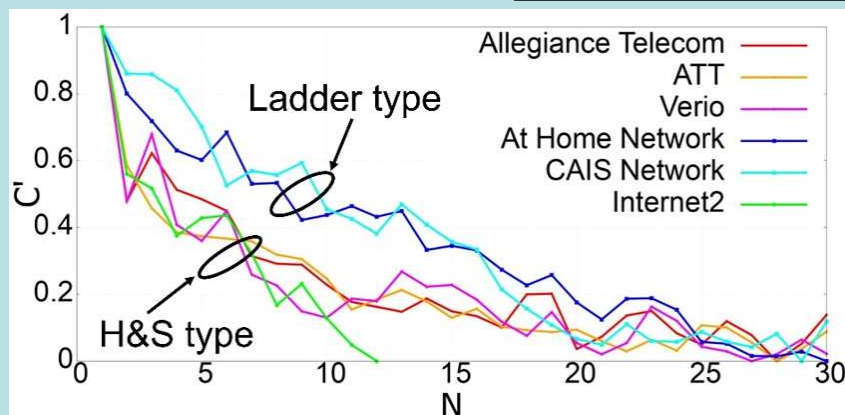
(a) 配置ノード数 N に対する
平均FIBサイズの正規化値 E'



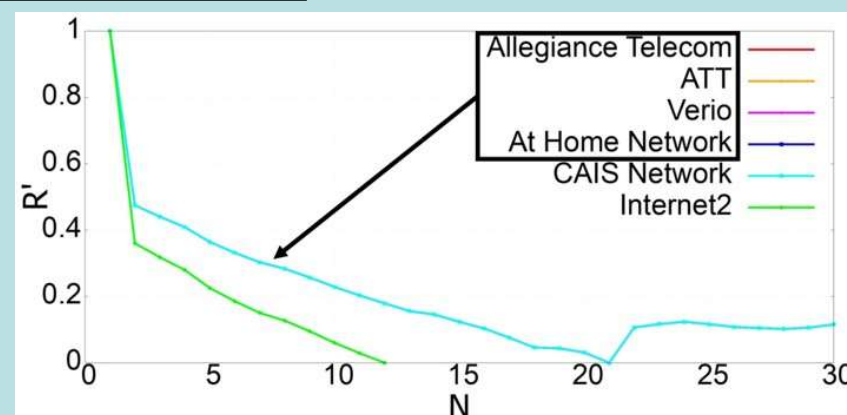
(b) 配置ノード数 N に対する
平均リンク負荷の正規化値 L'

N が増えると値が増加

N が増えると値が減少

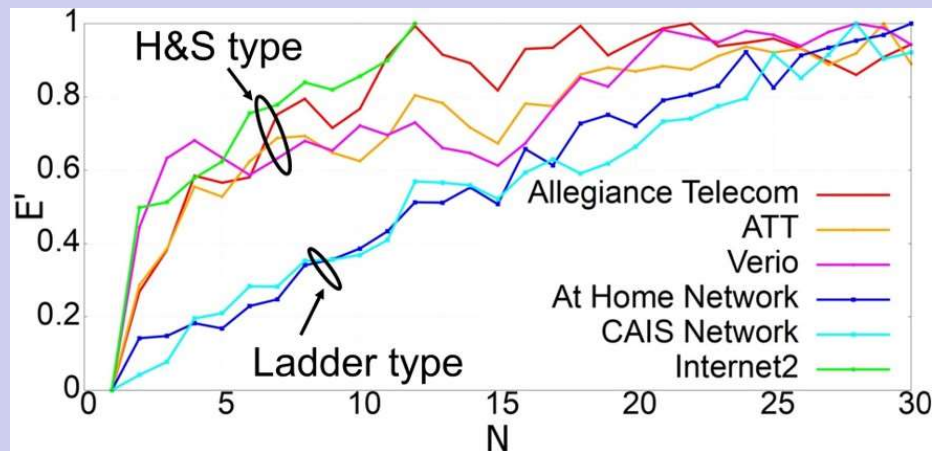


(c) 配置ノード数 N に対する
リンク負荷の変動係数の正規化値 C'

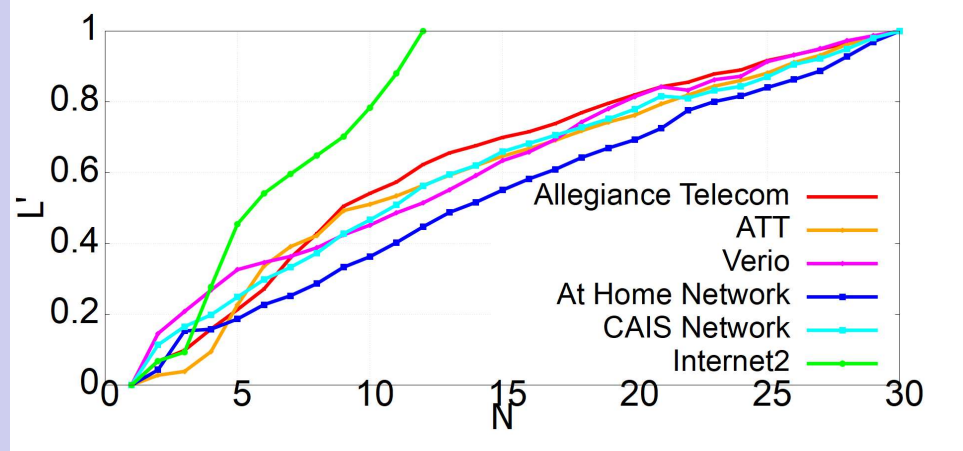


(d) 配置ノード数 N に対する
コンテンツ可用性の正規化値 R'

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'

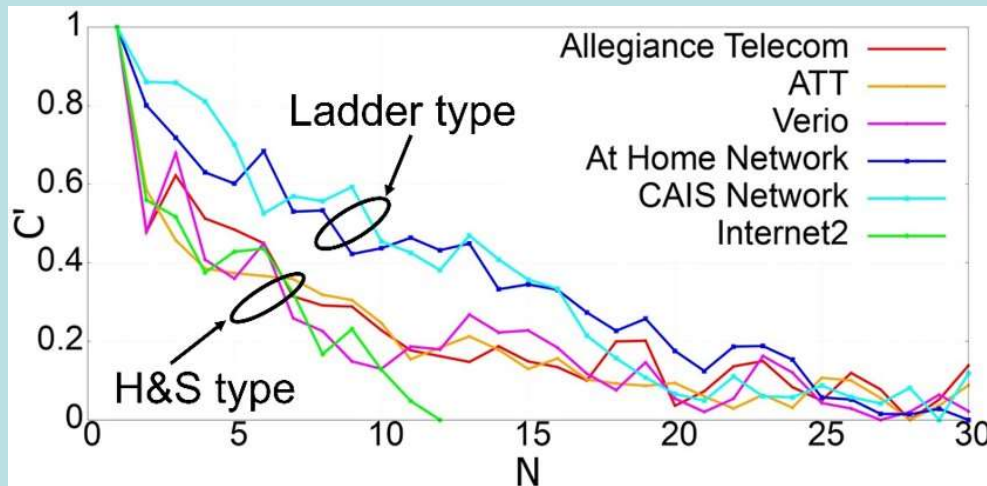
■ 平均FIBサイズ

- 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

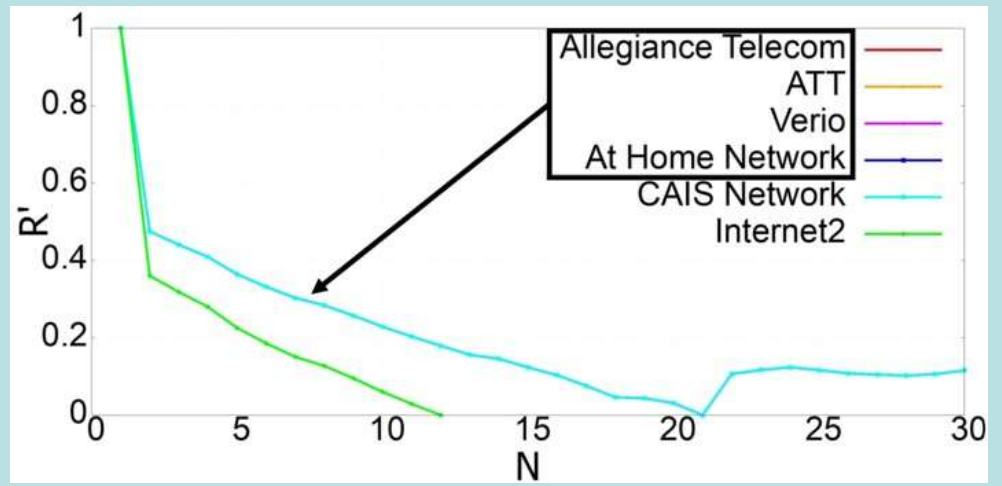
■ 平均リンク負荷

- 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

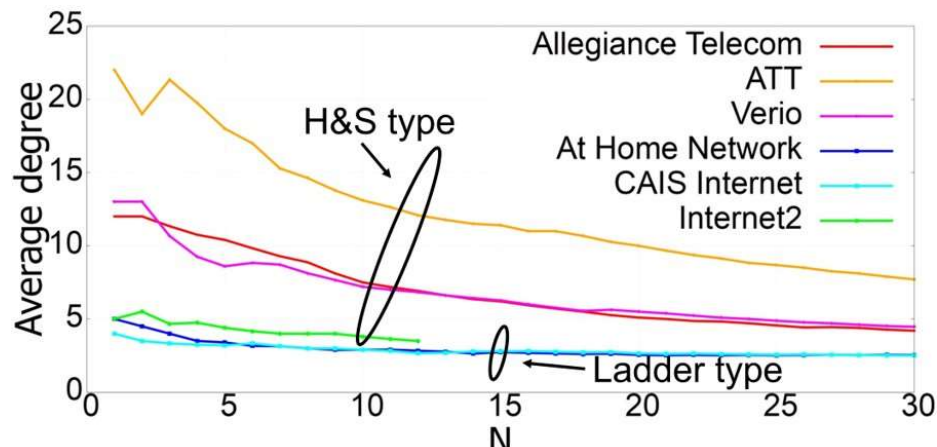
- 中心ノード近くに需要の高いコンテンツを配置時, リンク負荷の偏り発生

⇒ N 増加でリンク負荷が分散

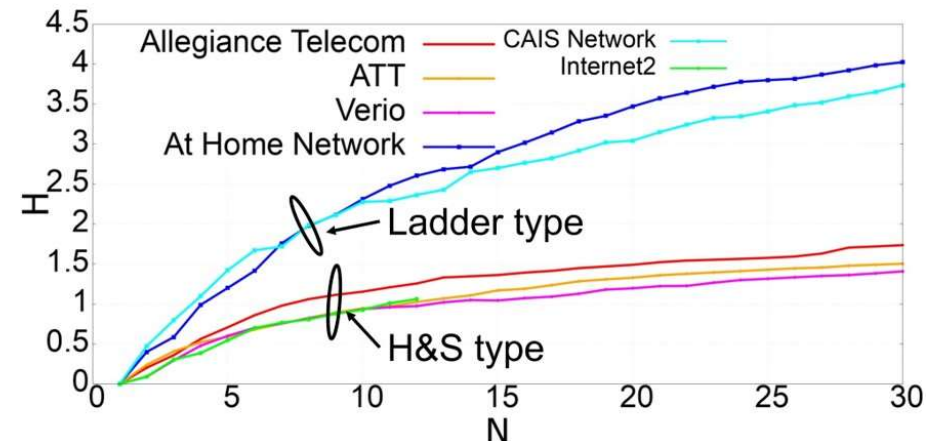
■ コンテンツ可用性

- 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-



(e) N におけるコンテンツ配置ノードの平均次数

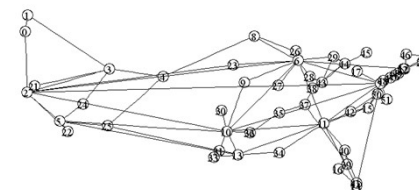


(f) N におけるコンテンツ取得経路上にコンテンツ配置ノード c の数の平均 H

Hub & Spoke型

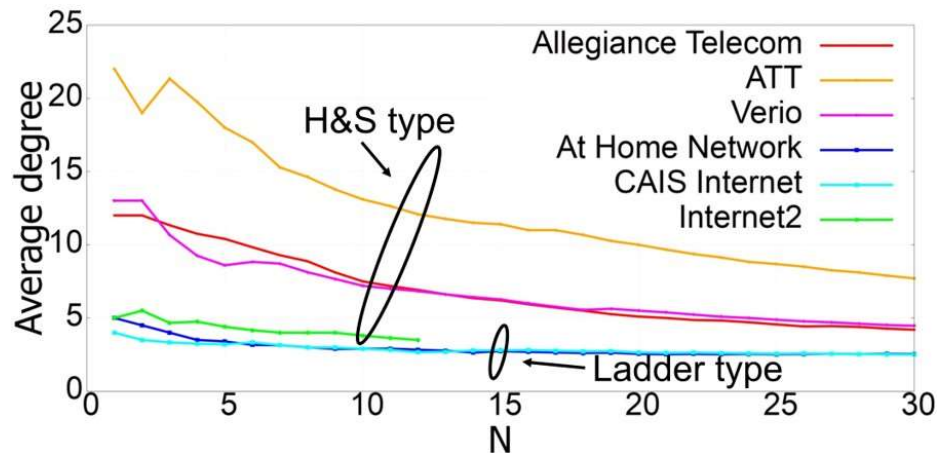
■ 経路上に同一TLDをもつコンテンツが配置される割合が低い
⇒ N 増加に伴う平均FIBサイズ E' の増加度が大きい

■ コンテンツ取得経路が分散する
⇒ N 増加に伴うリンク負荷の変動係数 C' の減少度が大きい

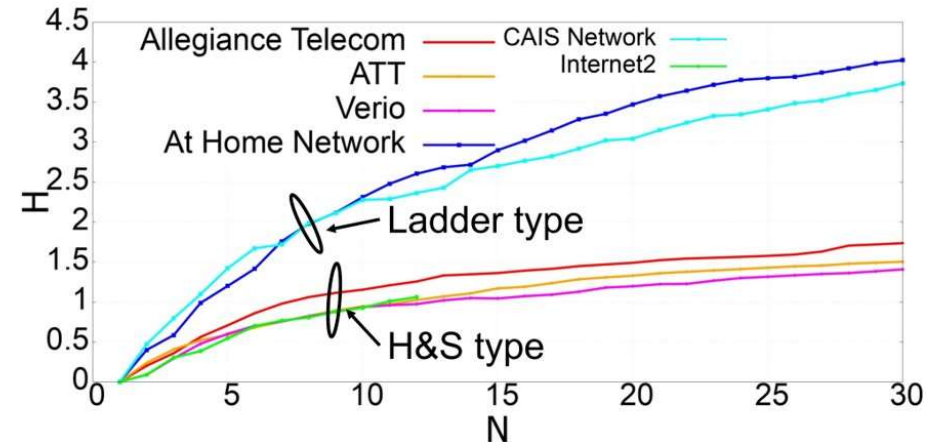


Hub & Spoke型
Allegiance Telecom

トポロジ型比較-Ladder型-



(e) N におけるコンテンツ配置ノードの平均次数

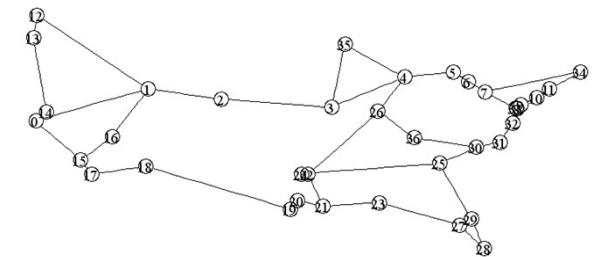


(f) N におけるコンテンツ取得経路上にコンテンツ配置ノード c の数の平均 H

■ Ladder型

- コンテンツ取得経路が重複しやすい
- FIB出力ポートが同一ポート番号に限られる
⇒ N 増加に伴い平均FIBサイズ E' は緩やかに増加

- 負荷が同一リンクに集中
⇒ N 増加に伴いリンク負荷の変動係数 C' は緩やかに減少



Ladder型
CAIS Network

最適配置ノード数 N^*

Hub & Spoke型	W1	W2	W3	W4	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	W1	W2	W3	W4	EQ
At Home Network	1	2	27	21	5
CAIS Network	2	1	21	21	6

■ 各重み設定パタン

- W1: 平均FIBサイズを重視
- W2: 平均リンク負荷を重視

■ W3: リンク負荷の変動係数を重視

- W4: コンテンツ可用性を重視
- EQ: 均等に重視

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にノード数を限定し、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

■ 今後の研究

- 配置するノードの順番を変更
- 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