

大規模ネットワーク障害に対応可能な オーバレイルーティング手法

○堀江拓郎¹, 長谷川剛¹, 亀井聡², 村田正幸¹
¹大阪大学 大学院情報科学研究科
²NTT サービスインテグレーション基盤研究所

発表内容

- 研究背景
- 研究目的
- Resilient Routing Layers (RRL) [11]
- 提案手法
 - 大規模ネットワーク障害対応への拡張
 - 数値計算による評価
- まとめと今後の課題

[11] A. Hansen, A. Kvalbein, T. Cicic, and S. Gjessing, "Resilient routing layers for network disaster planning," Lecture notes in computer science, vol. 3421, pp. 1097-1105, Apr. 2005.

研究背景

- 情報ネットワーク = インフラ
- IPネットワークにおける既存の障害対策
 - 単一障害を想定
 - 特定の条件下では回復に長い時間が必要
- 大規模ネットワーク障害
 - 地震、テロ、大規模停電、ルータの不具合などによって発生
 - 既存手法では回復後の経路の収束に長い時間がかかる
 - プロトコルの改訂を行うためには標準化作業が必要
 - 発生確率が小さいにも関わらず、準備すべき冗長系の規模が大きいため、コストパフォーマンスが悪い

大規模ネットワークにおける複数障害に対して、
ネットワークの信頼性を高めるには？

研究目的

大規模ネットワークにおける複数障害に
対応可能な経路制御手法を提案

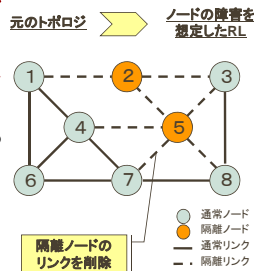
プロアクティブ型オーバレイルーティング

- プロアクティブ型回復手法
 - あらかじめ発生する障害を想定した代替設定を準備
 - 障害の検知後、直ちに代替設定によって回復が可能
 - 経路の収束を待つ必要がないため、適用するネットワーク規模に対してスケラブル
- オーバレイルーティング
 - IP網の上のアプリケーションレベルの論理網(オーバレイネットワーク)によるルーティング
 - ネットワークの標準化作業が不要なため、早期展開が可能
 - ポリシーに則ったBGPルーティングの影響を受けない
 - ⇒ ピアリングリンク※がすべてのノード間で使用可能
 - 代替経路の候補数が増加、平均経路長が減少

※特定のAS間でのみ、
利用可能なリンク

Resilient Routing Layers (RRL) [11]

- あらかじめ障害を想定し、それに
対応した回復処理を準備する
 - プロアクティブ型回復手法の1つ
- 元のトポロジからノードの障害を想定
した仮想的なネットワークボロジ
(Routing Layers: RL)を生成する
 - 障害を想定したノード(隔離ノード)を持つ
 - 隔離ノードが持つリンクを削除
 - ⇒ 隔離ノードは中継ノードにならない
 - 1つのRLで複数ノードの隔離が可能
 - 各RLに対応した経路表を計算する
 - あらかじめ全ノードで共有する
 - 障害に応じてRLを切り替える

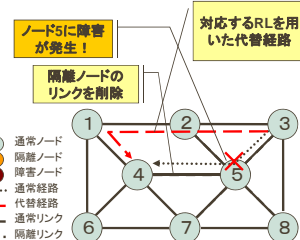


[11] A. Hansen, A. Kvalbein, T. Cicic, and S. Gjessing, "Resilient routing layers for network disaster planning," Lecture notes in computer science, vol. 3421, pp. 1097-1105, Apr. 2005.

RLの生成・適用例

- ノード5の障害を想定したRLを生成
 - ノード5を隔離ノードとする
 - ノード5が持つリンクを全て削除する
 - リンク重みを最大値に設定
- ノード5に障害が発生した場合における、ノード3からノード4への通信
 - ×: 元のトポロジ, 3-5-4
 - ○: 対応RL, 3-2-1-4
 - 経路長は増加するが、障害から回復できる

ノード5の障害発生
 ⇒ 隣接ノードが障害を検知
 ⇒ ノード5を隔離したRLへ切り替え
 ⇒ 経路長は増加するが、ノード5以外のノード間の通信を保障



RLSの生成

- **RL群 (Routing Layers Set: RLS) を生成**
 - 全てのノードをRLS中のいずれかのRLで隔離する
- **単一障害からの回復**
 - 100%回復が可能
- **複数障害からの回復**
 - 全ての障害ノードを隔離しているRLが存在すれば、回復が可能

元のトポロジ

● 通常ノード
● 隔離ノード
● 障害ノード

2008/9/12 7

RLS生成法のトレードオフ

- **大規模ネットワーク障害に効果的なRLSを生成するために、同時に障害が発生しやすいノードを同じRLで隔離したい**
 - 多くのノードを1つのRLで隔離する
 - 多くのRLを用意する
- **それぞれのアプローチにはデメリットがある**
 - 多くのノードを1つのRLで隔離する ⇒ 平均経路長が増加
 - 多くのRLを用意する ⇒ 記憶領域、処理遅延が増加
- **RL1つ当たりの隔離ノード数、RL数、およびノードを隔離するRLを適切に設定する必要がある**

2008/9/12 8

提案手法

- **大規模ネットワーク障害に対して効果的なRLSを生成**
 - 同時に障害が起こる可能性が高いノード群を想定
- **RL選択法**
 - RLSの中からルーティングに用いるRLを選択する手法
 - 静的RL選択
 - 送信ノードが用いるRLを選択する
 - 全ての障害ノードを隔離しているRLがなければ完全に回復できない
 - 中継ノードによる処理遅延がない
 - 低遅延ネットワーク向け
 - 動的RL選択
 - 次ホップが障害ノードである場合、中継ノードが用いるRLを変更できる
 - 対応可能な障害パターンが広がる
 - 中継ノードによる処理遅延がかかる
 - 信頼性を第一としたネットワーク向け

2008/9/12 9

RLS生成アルゴリズム

- **ノードを隔離する回数**
 - 全てのノードはいずれかのRLで少なくとも1度隔離される
 - 1つのノードを複数のRLで隔離する = **重複**
- **ハブ法 (ハブ法, 重複ハブ法)**
 - ハブノードとその隣接ノード群の障害を想定
 - ハブノードと、できるだけ多くの隣接ノードを隔離したRLを生成
 - 一度も隔離されていないノードをランダムに隔離したRLも生成
- **属性法 (属性法, 重複属性法)**
 - 同じ地域、ルータソフトウェア等の同じ属性を持つノード群の障害を想定
 - 同じ属性のノードを隔離したRLを生成
- **比較用の簡易なRLS生成法**
 - ランダム法 (充填ランダム法, 一様ランダム法, 重複ランダム法)
 - 次数法 (次数降順法, 次数昇順法)

2008/9/12 10

評価環境・条件 (1/2)

- **評価トポロジ**
 - JPNICに属するASのトポロジ
 - 259ノード, 1162リンク
 - トランジットリンク数: 1078
 - ピアリングリンク数: 84
 - 平均次数: 4.4
- **想定ネットワーク**
 - CASE 1
 - 記憶領域に制限のあるネットワーク
 - 各RLSのRL数: 約10
 - CASE 2
 - 記憶領域が十分にあるネットワーク
 - RL数の制限なし

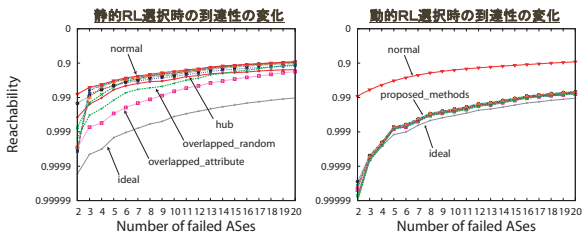
2008/9/12 11

評価環境・条件 (2/2)

- **想定複数障害**
 - ランダム障害 : ランダムに選択したノード群に発生する障害
 - 隣接ノード障害 : 隣接するノード群に発生する障害
 - **属性ノード障害 : 同じ属性のノード群に発生する障害**
 - リンク障害 : 隣接するノード群の間のリンクに発生する障害
- **評価指標**
 - 到達性 : 障害ノードを除くノード間の経路の存在確率
 - 平均経路長 : 到達可能な全てのノード間の経路長の平均
- **評価基準**
 - 元のトポロジ : 障害回復を全く行っていないトポロジ
 - 理想経路 : 障害発生後、リアクティブに再計算された経路

2008/9/12 12

CASE 2における属性ノード障害発生時の到達性



- **重複属性法が到達性を大きく改善**
 - 2ノード障害: 98%→99.9%に回復
 - 想定した障害が発生したため
 - 障害ノード数が増えるともあまり改善されない
- **全てのRLS生成法で理想経路とほぼ同等の値まで到達性を回復**
 - 20ノード障害: 87%→98%に回復
 - 障害ノード数が増えても理想経路とほぼ等しい値まで改善

2008/9/12

13

CASE 2における平均経路長

RLS生成法	障害ノード数: 2 / 10 / 20					
	静的RL選択			動的RL選択		
重複属性法	2.83	2.76	2.72	2.88	2.84	2.86
重複ランダム法	2.99	2.97	2.92	2.96	2.92	2.89
元のトポロジ	2.84	2.83	2.81	2.84	2.83	2.80
理想経路	2.70	2.72	2.73	2.70	2.73	2.76

- **元のトポロジと提案手法の平均経路長はほぼ等しい**
- ⇒ **オーバーレイルーティングによるピアリングリンクの活用が要因**
 - RL1つ当たりの隔離ノード数およびRL数が最も多い重複ランダム法においても、元のトポロジの場合とほとんど変わらない
 - 重複属性法の場合では、平均経路長が減少する場合もある

2008/9/12

14

まとめと今後の課題

- **まとめ**
 - 大規模ネットワーク障害から直ちに回復可能なプロアクティブ型オーバーレイルーティング手法を提案
 - 数値計算による評価の結果
 - 到達性 : 静的RL選択時に、大幅に改善可能なRLSが存在
動的RL選択時に、全てのRLSにおいて理想経路の場合とほぼ同等の値まで回復
 - 平均経路長 : 元のトポロジの場合とほとんど変わらない
- **今後の課題**
 - 複数ハブノードの同時障害に対して効果的なRLSの生成
 - 障害回復後の負荷分散を考慮したRLSの生成
 - ネットワークノードに対するオーバーレイノードの割合を考慮した評価

2008/9/12

15

Thank you !

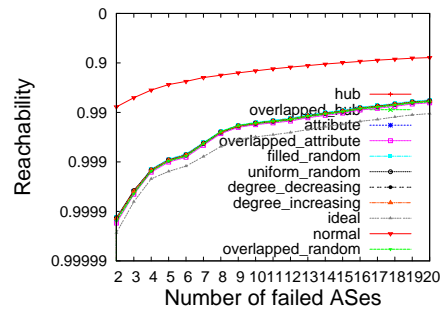
各RLS生成法のRLの個数

RLS生成法	RLの個数	
	CASE 1	CASE 2
ハブ法	11	260
重複ハブ法	11	269
属性法	13	254
重複属性法	13	254
充填ランダム法	7	7
一様ランダム法	12	12
重複ランダム法	10	2000
次数昇順法	12	12
次数降順法	12	11

2008/9/12

17

CASE 1における隣接ノード障害発生時の到達性



2008/9/12

18

CASE 2における静的RL選択の平均経路長

障害: 2/10/20	F_RND	F_ADJ	F_ATR	F_LNK
ハブ法	2.78/2.91/2.92	2.80/2.77/2.68	2.79/2.88/2.86	2.74/2.88/2.80
重複ハブ法	2.83/2.74/2.70	2.87/2.58/2.20	2.84/2.74/2.71	2.89/2.84/2.71
属性法	2.73/2.71/2.68	2.79/2.61/2.48	2.73/2.71/2.69	2.81/2.79/2.78
重複属性法	2.79/2.81/2.77	2.80/2.72/2.57	2.83/2.76/2.72	2.86/2.85/2.79
充填ランダム法	2.78/2.73/2.70	2.88/2.46/2.15	2.78/2.73/2.71	2.90/2.79/2.71
一様ランダム法	2.75/2.74/2.72	2.76/2.69/2.56	2.75/2.75/2.73	2.79/2.86/2.78
重複ランダム法	2.99/2.96/2.89	2.99/2.75/2.47	2.99/2.97/2.92	2.98/3.01/2.93
次数降順法	2.72/2.69/2.66	2.79/2.53/2.36	2.71/2.69/2.67	2.79/2.68/2.73
次数昇順法	2.72/2.68/2.66	2.80/2.58/2.45	2.72/2.68/2.66	2.80/2.78/2.78
元のトポロジ	2.84/2.82/2.80	2.82/2.73/2.60	2.84/2.83/2.81	2.85/2.82/2.78
理想経路	2.70/2.73/2.77	2.78/3.30/4.02	2.70/2.72/2.73	2.70/2.72/2.80

2008/9/12

19

CASE 1における動的RL選択の平均経路長

障害: 2/10/20	F_RND	F_ADJ	F_ATR	F_LNK
ハブ法	2.88/2.88/2.91	2.90/3.13/3.15	2.87/2.88/2.89	2.82/2.85/2.85
重複ハブ法	2.85/2.83/2.89	2.89/3.13/3.15	2.85/2.84/2.88	2.89/2.85/2.86
属性法	2.84/2.88/2.91	2.91/3.12/3.12	2.76/2.83/2.88	2.83/2.85/2.85
重複属性法	2.89/2.88/2.91	2.92/3.12/3.11	2.88/2.84/2.86	2.98/2.87/2.87
充填ランダム法	2.77/2.84/2.89	2.92/3.11/3.11	2.86/2.88/2.89	2.86/2.85/2.87
一様ランダム法	2.85/2.88/2.91	2.93/3.12/3.12	2.85/2.88/2.89	2.83/2.86/2.86
重複ランダム法	3.10/2.93/2.91	2.96/3.05/2.94	2.96/2.92/2.89	2.95/2.91/2.86
次数降順法	2.74/2.84/2.89	2.92/3.11/3.11	2.74/2.83/2.88	2.80/2.85/2.85
次数昇順法	2.79/2.88/2.91	2.93/3.11/3.12	2.78/2.88/2.89	2.80/2.85/2.85
元のトポロジ	2.84/2.83/2.80	2.83/2.74/2.60	2.84/2.83/2.80	2.85/2.82/2.78
理想経路	2.70/2.73/2.77	2.79/3.34/4.10	2.70/2.73/2.76	2.70/2.73/2.80

2008/9/12

20