

生物ネットワークの縮退特性に基づく システム冗長化方式における 自律的障害回復手法

長谷川 剛 (ごう)、村田 正幸
大阪大学サイバーメディアセンター、大阪大学大学院情報科学研究科

研究の背景 (1): システム冗長化手法

- 情報ネットワークシステムの冗長構成
 - 機器 (サーバ、ディスク、ルータ、スイッチ、リンク等) やサービスに対して、同一の機能を持つ複製を固定的に準備
 - 1 対 n の冗長化
 - 発生する障害パターンや障害規模を予測し、 n を適切に設定する必要がある
 - 想定外の障害に対応できない
 - m 対 n の冗長化
 - m 種類の機能に対して n 個の冗長資源を投入
 - m や n が大きくなると、冗長構成のためのコストが大きくなる
 - (例) システム内の全ての機能を実現可能な冗長資源は高コスト

2

研究の背景 (2): 遺伝子ネットワーク

- 遺伝子の発現パターン
 - 1つの遺伝子が、複数種類の発現パターンを持つ
- 遺伝子ネットワーク
 - 遺伝子と、その発現によって提供される資源や機能との関係を示したネットワーク
 - 縮重特性 (Degeneracy)
 - 異なる遺伝子の発現パターンが部分的に重複し、冗長なネットワークを構築
 - 遺伝子ネットワークの頑強性、環境変動耐性に大きく寄与

[9] J. M. Whitacre and A. Bender, "Networked buffering: A basic mechanism for distributed robustness in complex adaptive systems," Theoretical Biology and Medical Modelling, vol. 7, Mar. 2010.

3

研究の目的

- 情報ネットワークシステムの冗長構成手法
 - 遺伝子ネットワークの頑強性をもたらす縮重性・冗長性を応用し、システム全体で多対多の冗長化を低コストで行う手法
- 上記冗長構成を前提とした、障害発生、環境変動時の回復手法が必要
 - 性能評価においては集中型の非現実的な手法を用いた

↓

- 上述の冗長構成手法のための、分散制御で回復を実現する手法の検討
 - 化学反応式に基づく空間的協調手法

4

縮退特性とネットワーク化バッファリング (1)

- 遺伝子の縮退 (縮重) とは、異なる遺伝子が、重複して同じ発現をすることを意味する
- ネットワーク化バッファリング
 - 複数の遺伝子間の発現パターンの縮重が部分的、かつネットワーク的に現れている様子

5

縮退特性とネットワーク化バッファリング (2)

- 発現パターンが部分的、かつネットワーク的に重複していることにより、環境変動によりある資源 (タンパク質) が不足した際に、複数の遺伝子の発現パターンが段階的かつ適応的に変化し、資源不足を解消する。

6

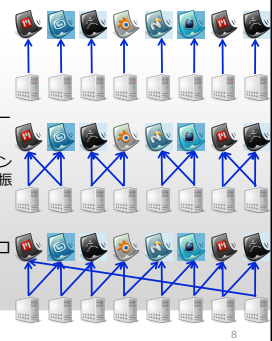
情報ネットワークの冗長構成への応用

- 情報システムの冗長性確保のための新しい枠組み
 - 従来の冗長性
 - 特定の機能 (のみ) を実現可能な冗長資源を、機能毎に用意
 - 様々な機能の不足状況の変化に対する適応性が低い
 - 全ての機能を実現可能な冗長資源を、システム全体に用意
 - ヘテロ・大規模なシステムにおいては、全ての機能を実現可能な資源を用意するのは困難
 - 本研究で提供する冗長性
 - 各資源は、全ての機能ではなく、少数の複数機能を実現可能であれば良い
 - ある機能の不足時に、ネットワークを介して機能を順次変更することで、システム全体の冗長性を確保する
 - 多様な障害発生や環境変動に柔軟に対応可能

7

冗長構成手法

- サーバのアプリケーション実行を想定
- 冗長化無し
- 単純な冗長化手法: 閉じた冗長化グループを構築
 - 各サーバは保持しているアプリケーションのいずれかを実行、あるいはCPU能力を振り分けて実行
- 提案手法: サーバがインストールするコンポーネントを部分的に重複させる

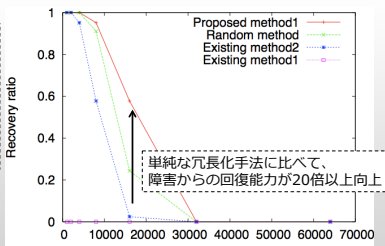


8

性能評価結果

- ネットワーク障害が発生し、サーバが停止する状況を想定し、他のサーバの切替によりアプリケーションの実行を回復できるか否かを評価

大規模ネットワークでの評価結果
アンダーレイノード数: 100,000
サーバ数: 4,000
VM数: 2,000
障害発生ノード数: 1,000-64,000



9

障害発生時の回復

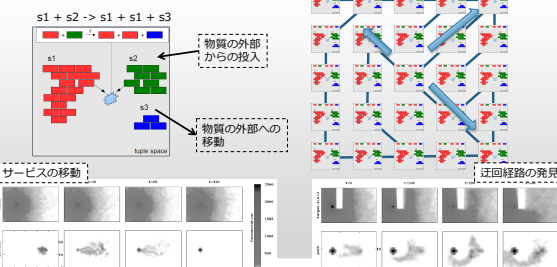
- 性能評価で用いた、障害からの回復方法: ランダム探索に基づく方法
 - ランダムに選択したサーバが起動するアプリケーションを変更する
 - アプリケーション稼働の不足状況が改善すれば、その変更を採用
 - 改善しなければ、その変更を破棄し、サーバ選択をやり直す
 - 10,000回試行してシステムが健全にならなければ、回復失敗と見なす
- 情報を1箇所に集めて、単純なヒューリスティック (ランダム探索) を行うため、大規模システムでは適用できない
- ネットワークの各ノードが自律分散的に動作して障害からの回復を行う手法が必要
- 化学反応式に基づく空間的協調手法を応用

M. Viroli, M. Casadei, and S. Montagna, "Spatial coordination of pervasive services through chemical-inspired tuple spaces," ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems, vol. 6, June 2011.

10

化学反応式に基づく空間的協調手法 (1)

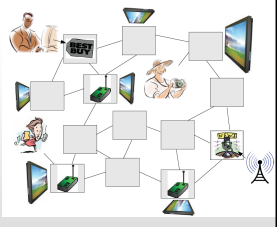
- 化学反応式に基づいてサービス等を表す物質の提供、生成、死滅が発生する
- 反応の結果生成された物質がネットワークを介して拡散する



M. Viroli, M. Casadei, and S. Montagna, "Spatial coordination of pervasive services through chemical-inspired tuple spaces," ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems, vol. 6, June 2011.

化学反応式に基づく空間的協調手法 (2): 適用例

- 空港などにおける、ディスプレイによる情報表示サービス
 - 人の嗜好や目的に合わせた情報表示
 - 広告、ナビゲーション、...
 - 活性化されたサービスが空間的に広がる
 - 広告の散布
 - 経路上のディスプレイにおける連続的なナビゲーション

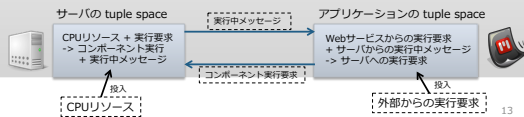


M. Viroli, M. Casadei, and S. Montagna, "Spatial coordination of pervasive services through chemical-inspired tuple spaces," ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems, vol. 6, June 2011.

12

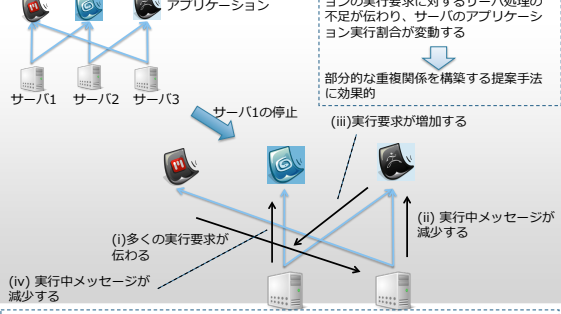
冗長化手法への応用 (1)

- サーバ、アプリケーションそれぞれでtuple spaceを構築し、インストール関係に基づいて接続
- サーバの tuple space
 - サーバ能力に応じてCPUリソースが外部から投入される
 - アプリケーションからの実行要求とCPUリソースが反応し、サービスが実行される
 - サーバでアプリケーションを実行していることを示す物質が、アプリケーションのtuple spaceへ拡散する
- アプリケーションの tuple space
 - 実行リクエストが外部から投入される
 - アプリを実行しているサーバからの物質の割合に応じて、実行要求を表す物質が生成され、サーバへ拡散する



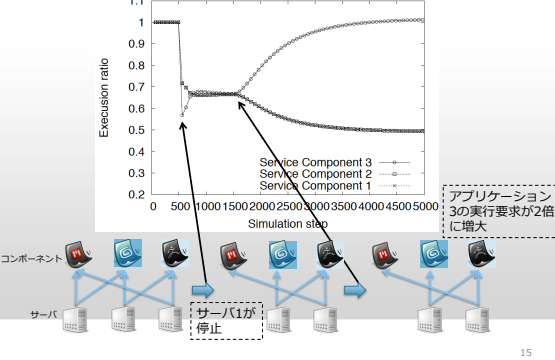
13

冗長化手法への応用 (2)



トポロジ全体が既知である必要がなく、各サーバは保持しているアプリケーション一覧を、アプリケーションはインストールされているサーバ一覧を保持すれば良い¹⁴

動作例



15

まとめと今後の課題

- 生物ネットワークの縮退特性に着目した、情報ネットワークシステムの冗長構成手法を提案
 - 少ない冗長資源で高いシステム頑強性を実現可能
 - 性能評価により、システム頑強性が高いこと、また、ネットワークの成長に対応することが可能であることを示した
 - システムの各要素の自律的な動作で障害からの回復を行うことができる手法を提案した
- 今後の課題
 - システム成長時のネットワーク構築方法の検討
 - 提案した回復手法のプロトコルとしての確立
 - 回復速度などの性能指標を用いた評価

16