

レジリエンスの計算モデル

レジリエントな世界

井上 克巳^{1,4}, ニコラ シュwind^{2,1}, 上田 俊¹, 沖本 天太^{3,2}, トニーリベロ⁴, モルガン マグナン^{8,9,1}, 岡崎 孝太郎^{4,7}, 佐藤 泰介^{5,1}, 陳 希^{2,6}, 南和宏^{2,6}, 丸山 宏^{6,4}

*1: National Institute of Informatics (NII), *2: Transdisciplinary Research Integration Center (TRIC), *3: Kobe University
*4: The Graduate University for Advanced Studies (Sokendai), *5: Tokyo Institute of Technology, *6: Institute of Statistical Mathematics (ISM), *7: SONER CO, LTD.
*8: Ecole Centrale de Nantes (France), *9: The Japan Society for the Promotion of Science (JSPS)

動機

- 予期しない/外因性のイベント:
 - 東日本大震災
 - 新技術の発展
 - 経済危機
 - マルウェア
- レジリエントなシステム: ダメージを受けても緩和/復旧
- 今現在, 計算機科学者の中で合意のとれたレジリエンスの定義は存在しない

成果

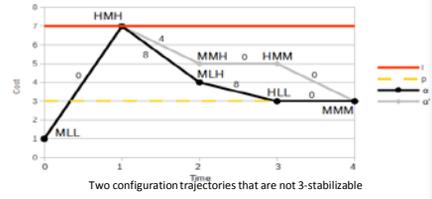
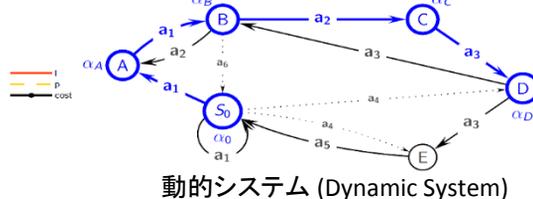
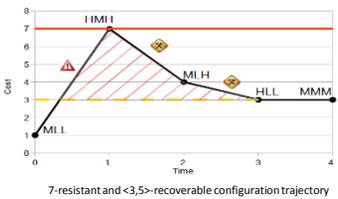
- レジリエントなシステムへ向けた原理/方針を提案
- 一般的な動的システムフレームワーク
- 重要な性質を用いてレジリエンスを表現
 - 耐性 (Resistance)
 - 回復可能性 (Recoverability)
 - 機能性 (Functionality)
 - 可安定化性 (Stabilizability)

SR-Model

動的なシステムは右のようなグラフで表現される。例: 頂点はある時刻 (S_0 は初期時刻) におけるシステムの状態を表し, 枝は可能な状態遷移を表す。また, 枝には制御可能であるが非決定的な行動が対応づけられている。

状態 B において行動 a_2 を行くと, システムは外部の環境により状態 A または C に移行する。

- 戦略: 各状態である行動を選ぶ (例えば, 状態 S_0 で行動 a_1 を選ぶ.)
- システム遷移: ある可能なシナリオ, つまり状態の列 (例えば, $S_0, A, B, C, D, B, \dots$)



Publication: Nicolas Schwind, Tenda Okimoto, Katsumi Inoue, Hei Chan, Tony Ribeiro, Kazuhiro Minami, Hiroshi Maruyama: "Systems Resilience: a Challenge Problem for Dynamic Constraint-Based Agent Systems". In Proceedings of the 12th International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS 2013), pp. 785-788 (Challenges and Visions Papers 3rd prize).

レジリエンスに向けて

多目的分散制約最適化問題

概要:

- 多くの現実問題では, 個別に考慮されつつも同時に最適化されるべき複数の指標を持つ。これらは多目的分散制約最適化問題 (Multi-Objective Distributed Constraint Optimization Problem, MO-DCOP) として定式化できる。
- MO-DCOPを解く完全/非完全アルゴリズムを開発
- SR-Modelに基づく制約モデル
- 動的モデルに拡張

レジリエンスとの関係:

- レジリエントなシステムをモデル化し計算
- 複数の指標を扱う → パレートフロント (Pareto Front)

サイバーセキュリティ:

- たとえ, 社会的なセキュリティが目的であっても, セキュリティの維持, プライバシーの確保, およびコストは難しいトレードオフの関係にある。
- どのようにこれらのトレードオフを解決し, 社会的な合意を形成するか
- すべてのパレート解を求める完全MO-DCOPアルゴリズムを開発

Related Publications:

- Modeling and Algorithm for Dynamic Multi-Objective Weighted Constraint Satisfaction Problem. Tenda Okimoto, Tony Ribeiro, Maxime Clement, Katsumi Inoue, (ICAAI 2014).
- A Two-phase Complete Algorithm for Multi-objective Distributed Constraint Optimization, (IAWS 13) received the Excellent Paper Award.
- Cyber Security Problem based on Multi-Objective Distributed Constraint Optimization Technique, (WSR 13).
- Tenda Okimoto, Yuko Sakurai, Makoto Yokoo, Katsumi Inoue: "Complete/Incomplete Algorithms for MO-DCOPs", JAWS 2012 IEEE Computer Society Japan Chapter JAWS Young Researcher Award.

複雑ネットワークにおけるレジスタンス

概要:

- 不完全情報空間における2つの複雑ネットワーク: 災害の拡大 v.s. 被害の拡大防止
- これらのネットワークから, 災害対策エージェントの意思決定モデルを抽出
- 動的バリエーションにおける確率率から l_0, l_1 を推定

ブーリアンネットワークにおける推論

概要:

- 生物学的ネットワークのモデル化 (遺伝子制御)
- ポジティブ/ネガティブなフィードバックを含む動的な振舞いの分析
- 複雑なシステムのモデル化 (セルオートマトン, ライフゲーム)
- 推論: 論理プログラムの意味論
- 状態遷移軌跡とアトラクターの計算

$p \leftarrow q$
 $q \leftarrow p \wedge r$
 $r \leftarrow \neg p$

Related Publications:

- Katsumi Inoue: "Logic Programming for Boolean Networks", ICAI 2011.
- Katsumi Inoue and Chiaki Sakama: "Outlining Behavior of Logic Programs", Current Reasoning (EUFIC Research Report), LNAI, Vol. 7625, pp.345-362, 2012.
- Chiaki Sakama, Katsumi Inoue: Abduction, unpredictability and Garden of Eden. Logic Journal of the IGPL, 21(6): 989-998 (2013).

動的・複雑ネットワークの学習

概要:

- 動的システムの帰納学習
- 状態遷移図からのブーリアンネットワーク学習
- 配置の変化列からのセルオートマトンの学習

Wolfram's Rule 110 (Turing-complete)

Related Publications:

- Katsumi Inoue, Tony Ribeiro, and Chiaki Sakama. Learning from Interpretation Transition. Machine Learning, 94(1):51-79, 2014.

動的モデルのロバスト性解析

概要:

- 擾乱に対してロバストなシステムの検証
- システムの変更がロバスト性を改善しているかを決定
- ロバスト性と機能性間のトレードオフ

Related Publications:

- Hei Chan, Sensitivity Analysis of Probabilistic Graphical Models, Verlag Muller, 2009.
- Tony Ribeiro, Katsumi Inoue, Gauvain Bourgne: IAWIS 2012, "Modular Reasoning in Multi-Agent Systems Using Meta-Knowledge and Answer Set Programming".