

システムズ・レジリエンス

動的制約に基づくエージェントシステム

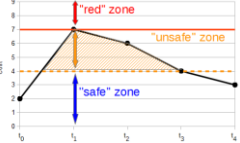
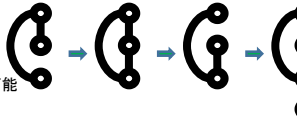
井上 克巳^{1,3,*}, Nicolas Schwind¹, 沖本 天太^{1,2}, Hei Chan^{1,2}, Tony Ribeiro³, 南 和宏^{4,2}, 丸山 宏^{4,3}

1: 国立情報学研究所 (NII), 2: 新領域融合研究センター (TRIC), 3: 総合研究大学院大学 (総研大), 4: 統計数理研究所 (ISM)

SR-Model

SR-Model (Schwind et al., AAMAS 2013)

- 動的なシステム
- マルチエージェントシステム
- 制約に基づくシステム
- エージェント及び制約の追加・削除が可能



耐性 **Resistance**
回復可能性 **Recoverability**
= **レジリエンス Resilience**

概要:

- レジリエンスな動的システム: (耐性, 回復可能性, 機能性, 可安定化性)
- 多くの研究領域において、ロバストな動的システムの構築は重要な課題

Open problems:

- 決定問題: ある動的システムがレジリエンスであるか
- 最適化問題: 各パラメータの最小値を求める問題

参考文献:

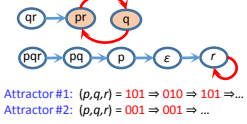
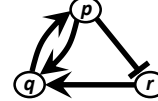
Nicolas Schwind, Tenda Okimoto, Katsumi Inoue, Hei Chan, Tony Ribeiro, Kazuhiro Minami, Hiroshi Maruyama: "Systems Resilience: a Challenge Problem for Dynamic Constraint-Based Agent Systems". In Proceedings of the 12th International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS 2013),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

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る舞いの分析
- 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)
- 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

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



動的・複雑ネットワークの学習

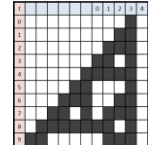
概要:

- 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の学習
- 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)

Current pattern	111	110	101	100	011	010	001	000
Next state for center cell	0	1	1	0	1	1	1	0

$$c(x,t+1) \leftarrow c(x-1,t) \wedge c(x,t) \wedge \neg c(x+1,t).$$
$$c(x,t+1) \leftarrow \neg c(x-1,t) \wedge c(x,t) \wedge c(x+1,t).$$
$$c(x,t+1) \leftarrow \neg c(x-1,t) \wedge \neg c(x,t) \wedge c(x+1,t).$$
$$c(x,t+1) \leftarrow \neg c(x-1,t) \wedge c(x,t) \wedge c(x+1,t).$$



参考文献:

Katsumi Inoue and Chiaki Sakama: "Learning from Interpretation Transition", The 22nd International Conference on Inductive Logic Programming (ILP 2012).

問題の定式化: SR-Model

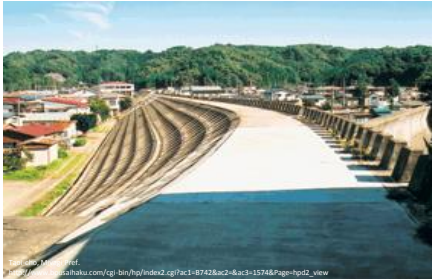
- 数学的モデル
- 人工知能によるアプローチ



システムズ・レジリエンスにおける論理:

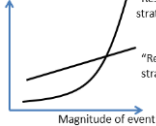
- 動的システムの可能世界意味論
- 予測/アブダクション

課題: 大きな擾乱に対して、どのようにシステムをレジリエントに設計・運用するか



レジリエントなシステムのデザイン:

- 機械学習
- 感度分析
- マルチエージェントシステム/シミュレーション



レジリエンスの計算:

- 完全/近似アルゴリズム
- デザイン/最適化問題/複雑性

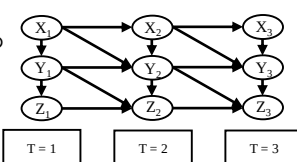
動的モデルのロバスト性解析

概要:

- 不確実性: システムは完全な情報をもつとは限らない
- ロバスト性分析: 擾乱 (例えば、環境の変化, 想定外のイベント, エラーの推定) に対して、インプットされたモデルがどのように変化するか
- 動的なモデル: 外的な事象に対して、時間と共に変化するシステムの表現
- 適応性のあるマルチエージェントシステム: 各エージェントは環境の変化に適応しなければならない

レジリエンスとの関連性:

- 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



参考文献:

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

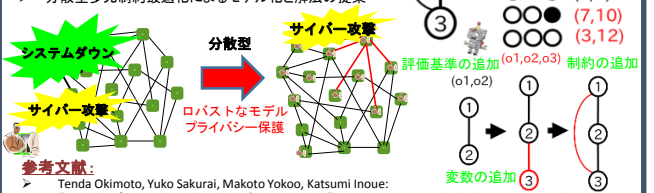
分散型多元制約最適化

概要:

- 実世界に存在する様々な最適化問題では、異なる評価基準を同時に考慮する場合があります
- 分散型多元制約最適化問題における解法を提案
- 制約に基づくモデル (SR-model)
- 動的な環境への拡張

レジリエンスとの関連:

- レジリエントなシステムのモデル化と解法
- 複数の評価基準 → パレートフロント
- サイバーセキュリティ問題: セキュリティやプライバシーを同時に考慮する必要がある
- 分散型多元制約最適化によるモデル化と解法の提案



参考文献:

Tenda Okimoto, Yuko Sakurai, Makoto Yokoo, Katsumi Inoue: "Complete/Incomplete Algorithms for MO-DCOPs", IJAWS 2012 received the best paper award.

Systems Resilience: a Challenge Problem for Dynamic Constraint-Based Agent Systems

Nicolas Schwind^{*1}, Tenda Okimoto^{*2}, Katsumi Inoue^{*1,3},
Hei Chan^{*2}, Tony Ribeiro^{*3}, Kazuhiro Minami^{*2}, Hiroshi Maruyama^{*4}

^{*1}: National Institute of Informatics (NII), ^{*2}: Transdisciplinary Research Integration Center (TRIC),
^{*3}: The Graduate University for Advanced Studies (Sokendai), ^{*4} Institute of Mathematical Statistics (ISM)

Motivation

- **Unexpected** events:
 - 3.11 earthquake
 - Economic crisis
- **Resilient systems**: absorb/recover from damages
- So far, there is **no common agreement** on the definition of resilience in computer science

SR-model

- Provide principles for building resilient systems
- A general dynamic system framework
- Introduce resilience through key properties:
 - Resistance
 - Recoverability
 - Functionality
 - Stabilizability

Background

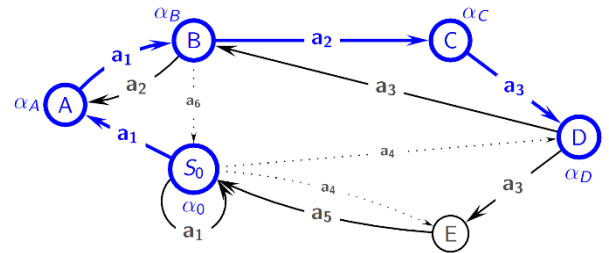
A **dynamic system** is a **graph** where each node represents one system state at a given time (S_0 is the initial state.) Edges represent possible state transitions, labelled by controlled but **non-deterministic actions**.

Example:

Performing the action a_2 on B may result in A or C depending on the environment.

- **Strategy**: choose a specific action in each system (choose a_1 in S_0 .)
- **System trajectory**: one possible scenario, i.e. a sequence of states (e.g., $S_0, A, B, C, D, B, \dots$)

Dynamic System



Properties of Resilience

Configuration Trajectory: some specifications of a particular *system trajectory* $S_0, S_1, S_2, \dots$

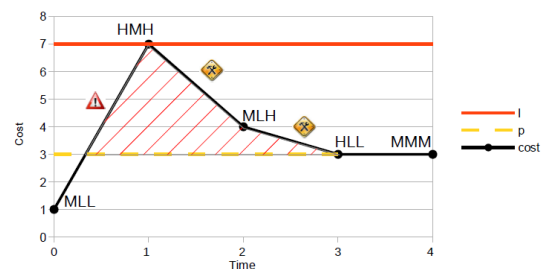
Properties on configuration trajectories:

- **l -resistance**: the cost of each state has to be kept under l
- **$\langle p, q \rangle$ -recoverability**: to recover to a baseline of acceptable quality ($< p$) as quickly and inexpensively (dashed area $< q$) as possible
- **f -functionality**: to provide an average degree of quality f during the lifetime of the system
- **s -stabilizability**: to avoid high ($> s$) transitional costs

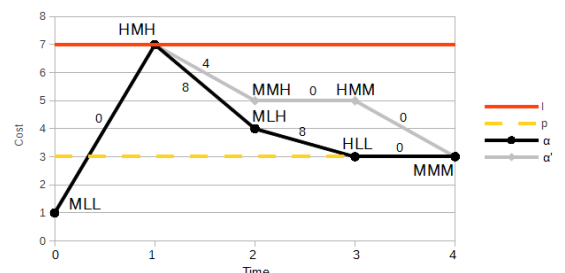
A system is $\langle l, p, q, f, s \rangle$ -resilient if there is a **strategy** whose all **scenarios** admit a **configuration trajectory**, which is l -resistant, $\langle p, q \rangle$ -recoverable, s -stabilized and f -functional.

Open Problems

- Given a dynamic system DS and non negative integers l, p, q, f, s , is DS $\langle l, p, q, f, s \rangle$ -resilient?
- Given l and p , what is the minimal q to satisfy l -resistance and $\langle p, q \rangle$ -recoverability?
- What are the minimal values of l, p, q, f, s such that the system satisfies $\langle l, p, q, f, s \rangle$ -resilience?



7-resistant and $\langle 3, 5 \rangle$ -recoverable configuration trajectory



Two configuration trajectories that are not 3-stabilizable

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](#)).