



S<sup>3</sup> Simulation System

## S<sup>3</sup> Simulation System 新機能紹介 ～離散と連続のHybrid Modeling～

2011年11月18日  
株式会社数理システム  
s3-info@msi.co.jp

2011/11/18

1

## 内容

- ・ シミュレーション
  - 離散イベントシミュレーション
  - 連続シミュレーション
- ・ 離散と連続のHybrid Modeling
- ・ S<sup>3</sup> Simulation System 紹介
- ・ まとめ



2011/11/18

2

## シミュレーション

現実のシステムをモデル化(模擬)し、  
その振る舞いを分析・予測する問題解決手法

現実の複雑なシステム

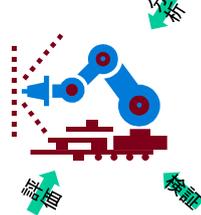


2011/11/18

目的により  
特徴を抽出し  
簡略化

モデル化

モデル



3

## シミュレーションのメリット

- ・ 実際のシステムで試すには時間・費用が掛かる
- ・ 実際のシステムが存在しない
- ・ 問題が複雑で解けない
- ・ 複数の解を比較したい



・ 挙動の確認  
モデルを調べることで実際のシステムの挙動や、様々な量を(条件を変えながら)分析可能

・ 不確定要素の影響の調査  
確率的に変動する要因を持ったシミュレーションを行ない、その結果を統計的に分析し問題解決の糸口に

2011/11/18

4

## シミュレーションの種類

- ・ 連続と離散
  - 連続型シミュレーション
    - ・ 半導体や物理・化学シミュレーションなど
  - 離散型シミュレーション
    - ・ 待ち行列シミュレーションなど
- ・ 確定と確率
  - 確定的シミュレーション
    - ・ モデルで規定される条件に従い結果が確定的に求まるシミュレーション。連続型シミュレーションなど
  - 確率的シミュレーション
    - ・ システムを確率的に変動させ結果が確率的に変動するシミュレーション。待ち行列シミュレーションなどの離散イベントシミュレーション
- ・ モンテカルロシミュレーション
  - 乱数(モンテカルロ法)を用いてシミュレーションを行なう
  - 数値計算(連続型・確定的シミュレーション)に用いられることもある
  - 確率(分布)の計算(離散型シミュレーション)に用いられることもある

2011/11/18

5

## 離散イベントシミュレーション

- ・ 離散イベントシミュレーション
  - システムの状態変化を起こす事象をイベントとする
  - イベントが離散的に起こりその瞬間にシステムの状態が変化する
  - 事象の発生を乱数により表現し待ち行列(混雑状況など)を分析する

順番待ちの行列に並ぶ



ある時間間隔で人が到着



2011/11/18

6

## 離散イベントシミュレーション例

- 工場などの生産システム
- サプライチェーンなど流通システム
- 銀行の窓口、ATMなど
- 通信システム
- 交通システム
- コールセンター
- etc

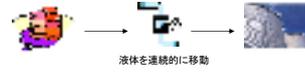


2011/11/18

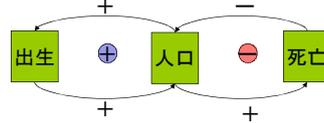
7

## 連続型シミュレーション: システムダイナミクス

- システムダイナミクス
  - 時間の経過とともに連続的な状態量に変化するシステムをシミュレーションする。



- 各状態量は、複雑なフィードバック関係をもっていることもある。



2011/11/18

8

## システムダイナミクスの例

- エネルギー、資源政策
- 環境、生態系のシミュレーション
- 感染症モデル
- 広告戦略
- etc



2011/11/18

9

## 連続と離散の Hybrid Modeling

- 離散イベントシミュレーション



- 連続型シミュレーション



- 離散イベント+連続型シミュレーション

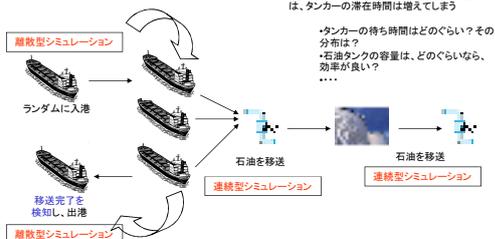


2011/11/18

10

## タンカーモデル

タンカーモデル



2011/11/18

11

## Hybrid Modelingの特徴

- タンカーモデルの例
    - 異なるシミュレーションモデルが混在
      - 離散型モデル
        - ランダムにタンカーが到着する部分
      - 連続型モデル
        - 石油を移動する部分
- ⇒それぞれのモデルが独立に動くだけではない

2011/11/18

12

## 連続と離散の結合度

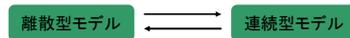
1. 連続型モデル内に、不連続な式
  - パルス発生器、階段関数
  - ある温度で、サーモスタットが起動
2. 離散型モデル⇒連続型モデル
  - 離散型モデルの状態(待ち行列数など)を、連続型モデル内から参照
  - 連続型モデルに登場する状態変数が、離散的に増える
3. 双方向
  - 2に加え、連続モデル内の状態により、イベントが発生し、連続シミュレーションを停止し、連続型モデルに登場する状態変数が、離散的に減る

2011/11/18

13

## Hybrid モデル間の相互作用

- タンカーモデルの例
  - **モデル間の相互作用**
    - 連続モデル内で発生するイベント⇒離散型モデルに通知
      - タンカーが空になったら、注入をやめる
    - 離散型モデル内で発生するイベント⇒連続型モデルに通知
      - タンカーが到着し、連続型モデルの扱う状態変数が増えた
      - 石油の移動が完了し、連続型モデルの扱う状態変数が減った



2011/11/18

14

## Hybrid Modeling の例

- 化学プラント
- 製薬プラント
- 製鉄工程
- 液体の輸送
- etc



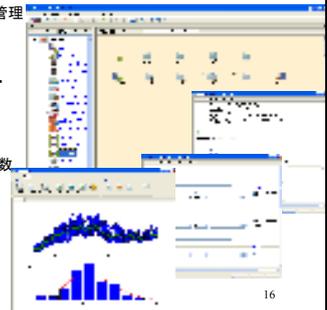
- システムダイナミクスモデルに離散要素を入れる事で、表現力を上げる事ができ、より現実のモデルに近づけられる事が多い。

2011/11/18

15

## S<sup>3</sup> Simulation System

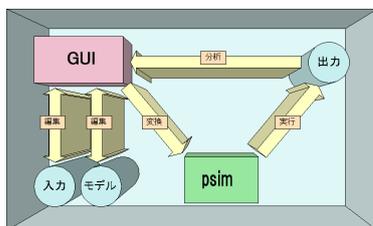
- 特徴
  - GUIにより簡単にモデル作成、実行、検証が可能
  - スクリプト言語 (psim言語)によりよりカスタマイズ可能
  - Co-routineを用いたプロセス管理
- 統計解析機能
  - 得られた結果の統計的解析・グラフ表示が可能
- 最適化機能
  - パラメータ、モデルの目的関数を定義し最適なパラメータを探索
  - 最適化機能



2011/11/18

16

## システム構成



### GUI

- ☆ wxPythonを用いて開発
- ☆ 入出力データの管理
- ☆ モデルの管理・編集
- ☆ 実行

### psim

- ☆ Python言語上で動作するプロセス指向のシミュレーション記述言語
- ☆ イベント処理エンジン
- ☆ 乱数生成や分布推定などの分析機能も併せ持つ Pythonライブラリ集

2011/11/18

17

## 機能

- GUI**
  - GUIを用いてモデルを作成・編集する機能
  - モデル、入力データ、出力(結果)データをまとめてプロジェクトとして管理
  - モデル全体のパラメータの管理
  - 実行モードの管理
- プロセス管理**
  - コルーチン (PythonのGenerator機能)を用いた軽量プロセス管理
  - サブプロセスや状態遷移
- グラフ表示機能**
  - 入力・出力データのグラフ表示
  - 実行時のリアルタイムグラフ表示
- 統計解析機能**
  - 平均・分散などの統計量算出機能
  - 入力・出力データの分布推定機能
  - 入力・出力データの補間・平滑化機能
  - 入力・出力データの回帰機能
- 乱数生成機能**
  - 乱数を生成する
- 最適化機能**
  - DFOを用いた最適化機能
  - PSOを用いた最適化機能
  - PSOを用いた多目的最適化機能
- 外部連携機能**
  - Visual Mining Studioとの連携機能

- 指数分布
- 正規分布
- 対数正規分布
- 一様分布
- ベータ分布
- ガンマ分布
- アーランド分布
- パレート分布
- ワイブル分布
- カイニ分布
- t分布
- ロジスティック分布
- 非中心t分布
- コーシー分布
- χ<sup>2</sup>分布
- 三角分布

- 二項分布
- 幾何分布
- 超幾何分布
- 負の二項分布
- ポアソン分布

- 離散分布
- 再生
- ステップ

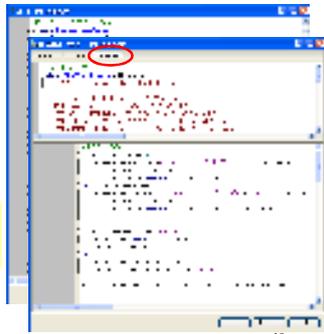
2011/11/18

18

## psim言語

- 作成したシミュレーションモデルはpsim言語に変換され実行される。
- psim言語はPythonのライブラリである。

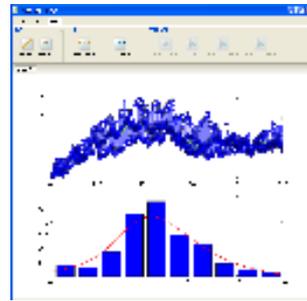
自らコードを書かなくても実行可能であるが、コードを編集することでより柔軟なモデルの記述が可能に



2011/11/18

19

## グラフ機能・分析機能



- グラフ種類**
  - 散布図
  - 折れ線グラフ
  - ヒストグラム
  - 棒グラフ
  - 箱ひげ図
  - 円グラフ
- 分析機能**
  - 回帰
    - 線形
    - 多項式
  - 平滑化
    - カーネル平滑化
    - スプライン平滑化
  - 密度推定
    - カーネル密度推定
    - 数推定
    - 密度最小二乗法
    - 分布最小二乗法

2011/11/18

20

## シミュレーション最適化

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } F(x) = E[Y(\vec{x})] \\ & \text{subject to } g(\vec{x}) \geq 0 \end{aligned}$$

目的関数はSimulationのレスポンス  $Y$  の期待値で計算される

- シミュレーション特有の問題
  - 解析的に記述できない
    - 微分を厳密に(解析的に)取り扱えない
  - 結果が確率的である
    - 目的関数は期待値で計算される
    - 微分(差分)の計算が難しい
  - 評価コストが高い
    - 目的関数(期待値)を計算する為のreplication数を増やせない

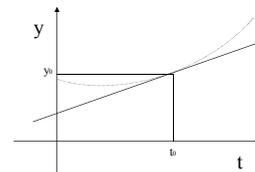
2011/11/18

21

## 連続シミュレーションのモデル化

- システムダイナミクスは、常微分方程式(ODE, Ordinary Differential Equation)として表現され、その初期値問題(Initial Value Problem)を解くことで、システムをシミュレートする。

$$\frac{dy}{dt} = f(y, t) \quad y(t_0) = y_0$$

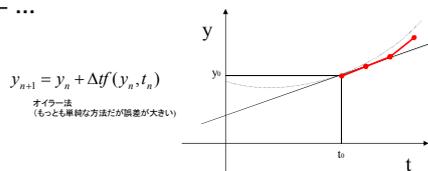


2011/11/18

22

## アルゴリズム

- ODEの解法は、数値計算の分野で長い間研究されており、優れたアルゴリズムが存在する。
  - Backward Differentiation Method
  - Adams-Moulton Predictor-Corrector
  - Runge-Kutta-Fehlberg Method
  - ...



2011/11/18

23

## Hybrid Simulation Engine

- 離散イベントシミュレーション
  - イベントの発生は離散的である。効率的に解くには、イベント発生間隔でのみ、シミュレーションを行う。
- 連続型シミュレーション
  - ODEソルバーを用いて、連続的な状態変数の変化を効率的に高精度なシミュレーションを行う。
- Hybridシミュレーション
  - 内部で、離散イベントシミュレーションエンジンと、連続型シミュレーションエンジンを組み合わせて、シミュレーションを行う。
  - 離散イベントの発生間隔内は、連続型シミュレーションエンジンに処理を移す。
  - 連続型シミュレーション中に、状態変数がある条件になったら、連続型シミュレーションを停止し、離散イベントシミュレーションエンジンに処理を戻す。



2011/11/18

24

## まとめ

- シミュレーション(S3)・最適化(NUOPT)・データマイニング(VMS)を組み合わせることで、これまでにないソリューションを提供
- S<sup>3</sup> Simulation System
  - 特徴
    - GUIによる簡単なモデリング
    - psim言語による柔軟なモデリング
  - 新機能
    - 連続シミュレーションに対応
    - 離散、連続のHybridなシミュレーションにも対応
  - Version 3.0 2012年1月末リリース予定