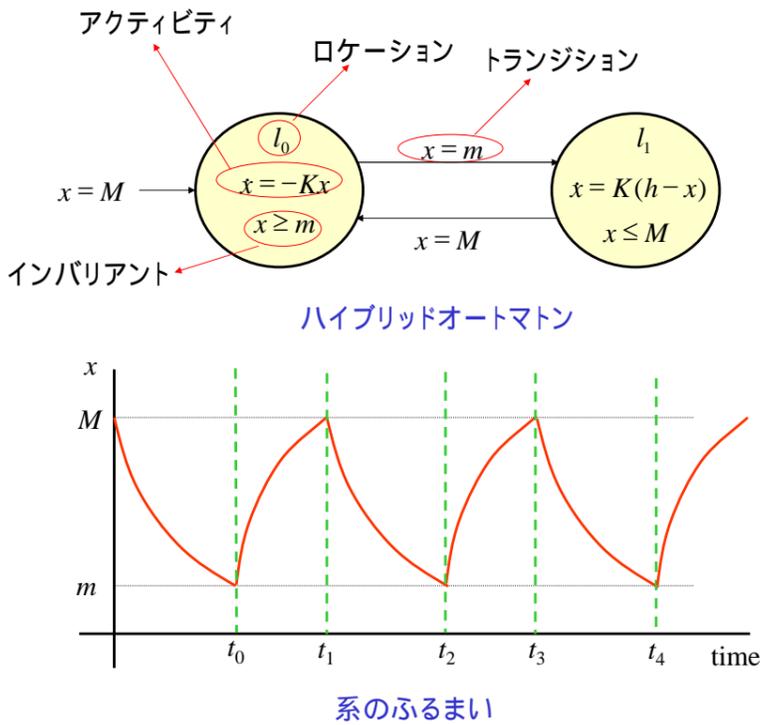


ハイブリッドシステムの検証およびパラメータ設計

ハイブリッドシステムとは複数の連続系が離散事象の発生により切り替わっていくシステムであり、組み込みコントローラ、ロボティクス、サーバの設計など様々なアプリケーションが存在する。本研究では、設計されたシステムのふるまいが仕様を満たすかどうかを調べる検証の問題、および、設計仕様を満たすようにパラメータの値を決定する問題を扱う。理論的には、与えられた目標状態への到達可能性判定が決定不能である、あるいは、モデルの非線形性からカオスが発生するなどいくつかの困難な問題が存在する。

ハイブリッドシステム



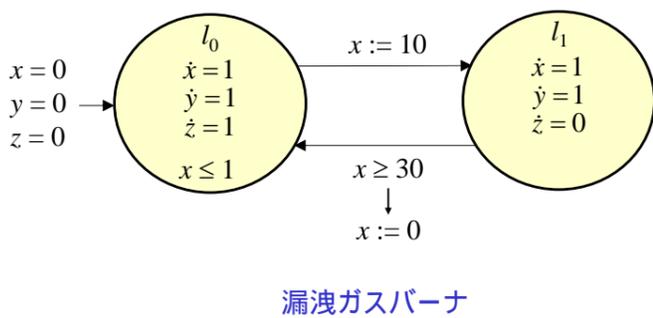
ハイブリッドシステムとは

- 複数の連続系が事象の発生により切り替わるような系。ここで事象とは、たとえば、
 - ▶ 化学プラント: タンクに液体を入れるとき、液面がある基準値を超える。
 - ▶ ロボットアームの制御: 形状により動特性が変化する場合、それらに応じたいくつかの制御方式を用意しておき、切り替えて使用する。
- 2つの見方:
 - ▶ 連続系の拡張: 複数の連続系が切り替わる系。非線形系を複数の線形系により近似するなど。
 - ▶ 離散事象系の拡張: 各離散状態内で変数の値が連続的に変化するオートマトン。

例: サーマスタット

- サーマスタットによりヒータのon/off制御が行われている部屋のモデル化。
- 室温 x の変化を表す式:
 - ▶ ヒータon $x(t) = \theta e^{-Kt}$
 - ▶ ヒータoff $x(t) = \theta e^{-Kt} + h(1 - e^{-Kt})$
 ここで、 θ は初期室温、 K, h はそれぞれ、部屋、および、ヒータにより決まる定数。
- 室温を $m \leq x \leq M$ の範囲に制御したい。

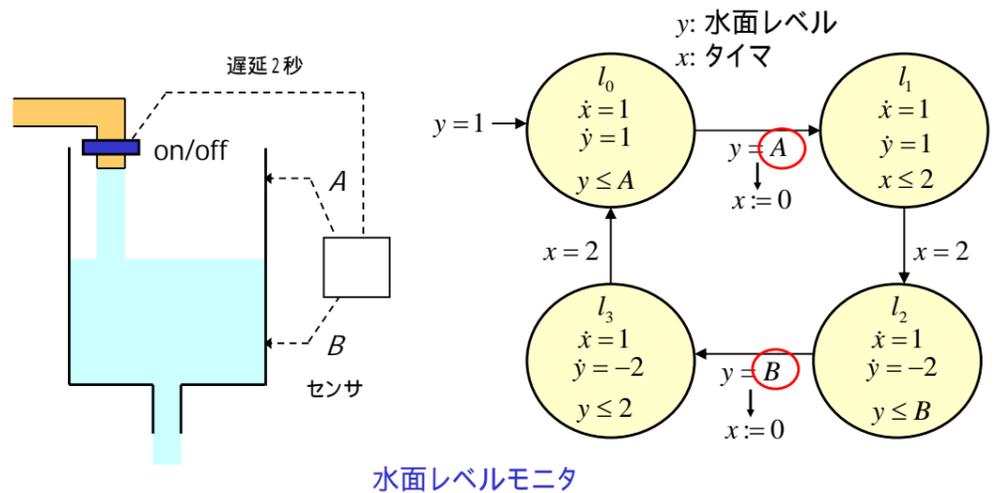
検証問題



- ガス漏れは1秒以内に感知され、ガスの供給が停止する。
- ガスの供給が停止してから30秒以内はガスは漏れない。

問題: 60秒以上の任意のインターバルにおいて、ガス漏れをしている時間の累計はインターバルの1/20以下に抑えられることを検証せよ。

パラメータ設計問題



- タンクの水面の高さがモニターを通して制御されている。
- モニターは連続的に水面の高さを感知し、ポンプをon/offする。
- ポンプがoffのとき水面は毎秒2インチ下がる。ポンプがonのとき水面は毎秒1インチ上がる。
- モニターがポンプに指令を出してから実際に稼動するまで2秒の遅れがある。

問題: 水面の高さを1~12に保つようにセンサの位置A, Bを定めよ。

制約プログラミングによる解法

- 制約プログラミング言語: 数式などの制約条件を解く処理系(ソルバー)を備えたプログラミング言語。
- Keyed CLP: 研究室で開発した制約論理プログラミング言語。
 - ▶ 線形不等式制約を解くソルバー。
 - ▶ 非線形制約は線形化されるまで遅延評価。
 - ▶ 線形目的関数の最適化, 2次形式目的関数の最適化の機能。
- 線形ハイブリッドシステムの検証およびパラメータ設計問題に適用可能。

QE(Quantifier Elimination)による解法

- 数式制約を含む一階述語論理式において、限量子 \forall, \exists を式から取り除いた等価な論理式を求める手法。
- 数式処理システム(Maple)上に実装。
- 非線形ハイブリッドシステムにも適用可能。