SAT s diferenciálními rovnicemi

Diplomová práce

Kolárik Tomáš
kolarto5@fit.cvut.cz

Vedoucí práce: doc. Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Ratschan

15. května 2018

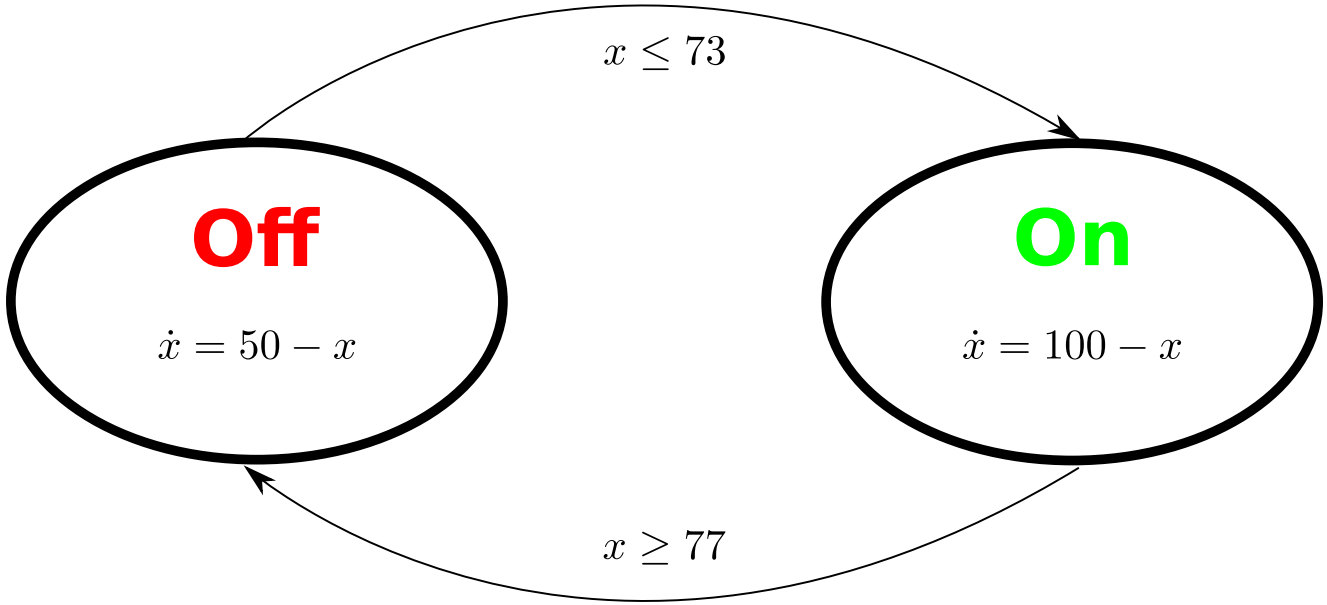
11 slajdů, 10 minut

Obsah prezentace

1. Motivace.
2. Cíle práce.
3. Výsledky.
4. Ukázka úloh.
5. Realizace.

Motivační příklad

- Ke *spolehlivé* činnosti přístroje je nutné dodržet provozní teplotu.
- Řešení: použití *termostatu*.
- Termostat popíšeme *automatem*.
  - Rozsah povolené teploty specifikujeme jako invarianty (nejsou na obrázku).
- Jak verifikovat správnou funkci termostatu?
  - Tj. dodržení invariant.



Motivace (1)

- Používanou spolehlivou metodou *garance* dodržení specifikací je **formální verifikace**.
  - K tomu je nutné sestavit matematický *model* systému.
- Dnes hojně využívaný způsob: **SAT**.

Problém

- *Vestavné systémy* interagují s *fyzikálním okolím*.
- Přirozený popis fyzikálních jevů: **diferenciální rovnice**.
  - Ordinary differential equation (ODE).
- SAT (ani jeho aritmetická rozšíření) *neumí* ODE.

Motivace (2)

Současný stav

- Řešice kombinující SAT a soustavy ODE již existují.
- K řešení ODE ale používají intervalovou aritmetiku.
- Důsledky:
  - Umožňují intervalové počáteční podmínky ODE.
  - Garantují maximální dosaženou chybu.
  - Ale jsou **pomalé**.

Cíl práce

K řešení ODE použít **klasické numerické metody**:

- Vyžadují jednoznačné počáteční podmínky.
- Garantují (jen) *konvergenci* dosažené chyby.
- Mohou být méně přesné, ale jsou rychlejší.

Cíle práce

1. Ověřit koncept, který k řešení ODE používá klasické numerické metody.
2. Kombinovat zvolené řešení ODE s řešením problému SMT.
   - SMT: Satisfiability Modulo Theories (rozšíření SAT o aritmetické teorie).
3. Realizovat prototypovou implementaci řešiče SMT a ODE.
4. Srovnat výkonnost prototypu se stávajícím řešičem dReal.
   - dReal pochází z disertační práce na Carnegie Mellon University.

Výsledky

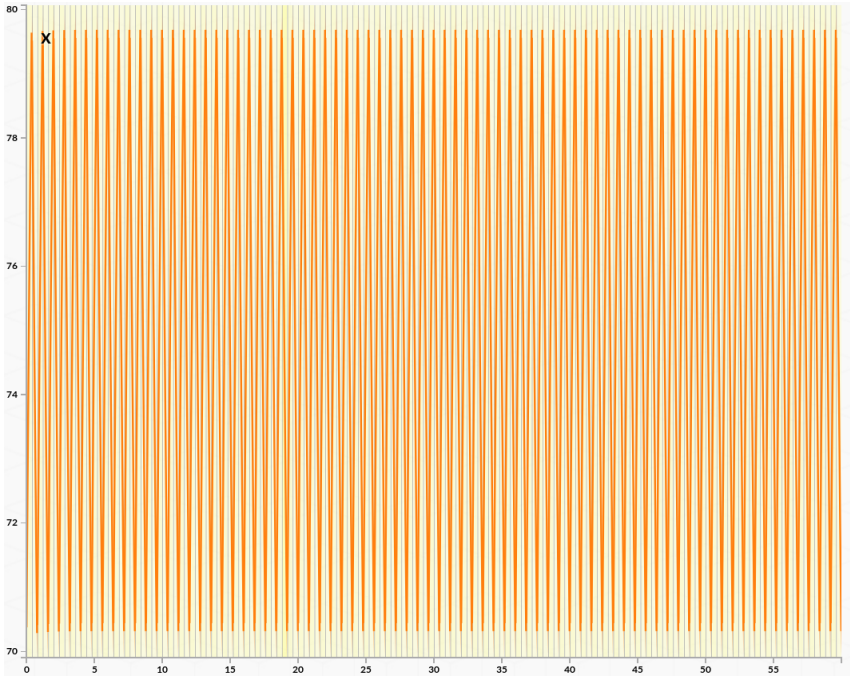
- Náš prototyp si v některých úlohách počíná mnohem **rychleji** než dReal.
  - Zatím se jedná zejména o úlohy řízené časem.
- Tj. podařilo se mi **potvrdit**, že zvolený **koncept** je **nadějný** pro lepší použití **v praxi**.
- Velký rozdíl ve výpočtu úloh s pevnými a intervalovými podmínkami.
  - Intervalové podmínky lze aproximovat výčtem hodnot v logickém součtu.
  - I dReal si pak počíná mnohem rychleji.

Ukázkové úlohy (1)

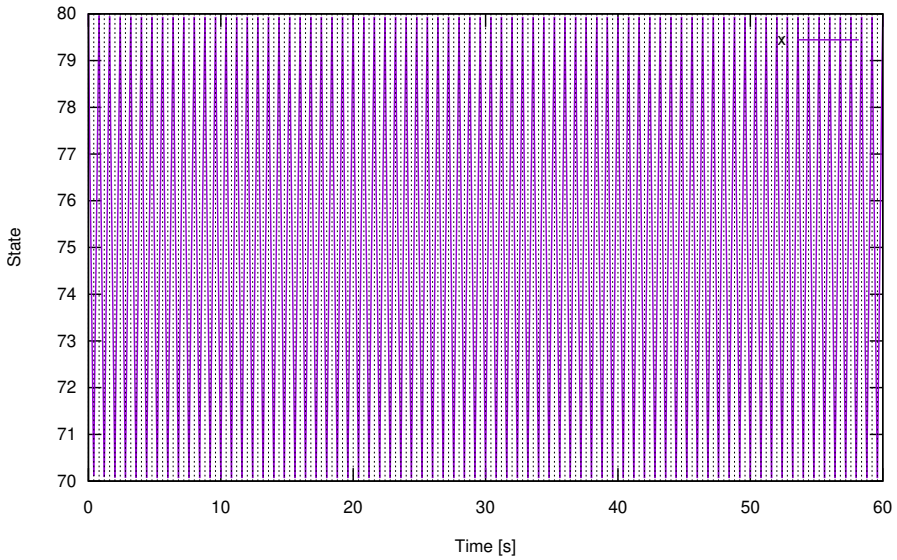
Termostat

- x . . . provozní teplota.
- Nutné dodržet invariant $70 \leq x \leq 80$.
- Systém je řízen *časem* o fixní periodě.
- Srovnání délky výpočtu dReal a našeho prototypu: 46 a 0,5 s.

(a) dReal



(b) Náš koncept

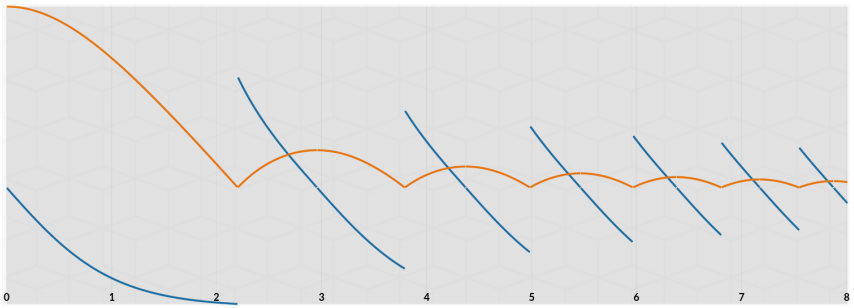


Ukázkové úlohy (2)

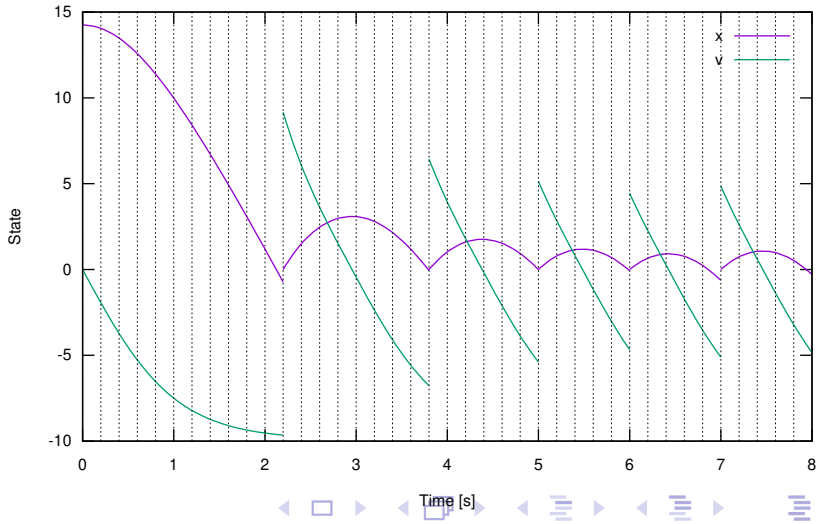
Skákající míč

- x . . . výška míče, v . . . rychlost.
- Nutné dodržet invariant $x \geq 0$ nezávisle na časové periodě.
- Systém je řízen *událostmi* (změna pád/odraz).
- Srovnání délky výpočtu dReal a našeho prototypu: 0,1 a 0,5 s.
- Naše *implementace* je (zatím) nevhodná.
  - Kvůli nezávislosti invariant na časové periodě.

(a) dReal

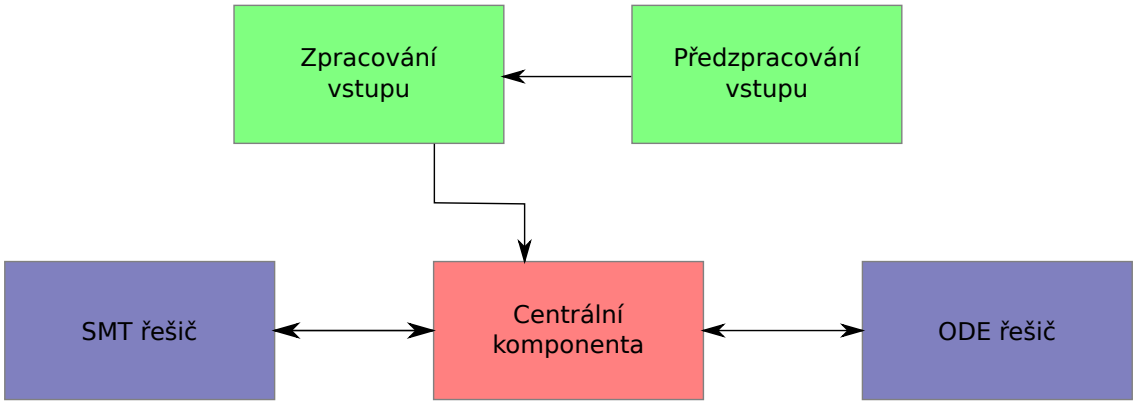


(b) Náš koncept



Realizace

- Vstupní jazyk je podobný standardu SMT-LIB.
  - Přidány makra pro parametrizované generování kódu.
- SMT i ODE řešič realizovány jako výměnné samostatné komponenty.
- Centrální komponenta zajišťuje:
  - vzájemnou komunikaci řešičů,
  - prohledání všech potřebných vstupních kombinací.



Závěr

- Cílem bylo aplikovat **odlišný přístup** v integraci ODE.
  - Použít potenciálně méně přesné, ale rychlejší metody.
  - Kombinovat ODE s problémem SAT či jeho rozšířením.
- Navržený koncept jsem aplikoval v prototypové implementaci.
- Prototyp jsem srovnal se stávajícím řešičem dReal.
  - V některých úlohách jsem dosáhl výrazně **rychlejšího výpočtu**.
  - Podařilo se mi **potvrdit zvolený koncept**.
- Prototyp přijímá vstupní jazyk, který lze parametrizovat pomocí maker.