

Transformace Nedeterministických Büchiho Automatů na Slim Automaty

Pavel Šimovec

Fakulta Informatiky, Masarykova Univerzita

30. června 2021

Motivace

Motivace

- ▶ Nedeterministické Büchiho automaty obecně nemají vlastnost **dobry pro Markovovy rozhodovací procesy** (dale **GFM**, good for Markov decision processes) → nejsou vhodné pro analýzu pravděpodobnostních systémů

Motivace

- ▶ Nedeterministické Büchiho automaty obecně nemají vlastnost **dobry pro Markovovy rozhodovací procesy** (dále **GFM**, good for Markov decision processes) → nejsou vhodné pro analýzu pravděpodobnostních systémů
- ▶ Deterministické ω -automaty jsou obecně GFM, ale mohou mít větší velikost či složitější akceptační podmínku (např. Rabinovu, Streettovu)

Motivace

- ▶ Nedeterministické Büchiho automaty obecně nemají vlastnost **dobry pro Markovovy rozhodovací procesy** (dále **GFM**, good for Markov decision processes) → nejsou vhodné pro analýzu pravděpodobnostních systémů
- ▶ Deterministické ω -automaty jsou obecně GFM, ale mohou mít větší velikost či složitější akceptační podmínku (např. Rabinovu, Streettovu)
- ▶ Motivace je vyhnout se determinizaci a zároveň mít GFM automaty

Motivace

- ▶ Nedeterministické Büchiho automaty obecně nemají vlastnost **dobry pro Markovovy rozhodovací procesy** (dále **GFM**, good for Markov decision processes) → nejsou vhodné pro analýzu pravděpodobnostních systémů
- ▶ Deterministické ω -automaty jsou obecně GFM, ale mohou mít větší velikost či složitější akceptační podmínku (např. Rabinovu, Streettovu)
- ▶ Motivace je vyhnout se determinizaci a zároveň mít GFM automaty
- ▶ Využití v analýze pravděpodobnostních systému - nástroj **Mungojerrie**, který vyžaduje GFM automaty

Motivace

- ▶ Nedeterministické Büchiho automaty obecně nemají vlastnost **dobry pro Markovovy rozhodovací procesy** (dále **GFM**, good for Markov decision processes) → nejsou vhodné pro analýzu pravděpodobnostních systémů
- ▶ Deterministické ω -automaty jsou obecně GFM, ale mohou mít větší velikost či složitější akceptační podmínku (např. Rabinovu, Streettovu)
- ▶ Motivace je vyhnout se determinizaci a zároveň mít GFM automaty
- ▶ Využití v analýze pravděpodobnostních systému - nástroj **Mungojerrie**, který vyžaduje GFM automaty
- ▶ Motivace zrychlit nástroj Mungojerrie

Motivace

- ▶ Nedeterministické Büchiho automaty obecně nemají vlastnost **dobry pro Markovovy rozhodovací procesy** (dále **GFM**, good for Markov decision processes) → nejsou vhodné pro analýzu pravděpodobnostních systémů
- ▶ Deterministické ω -automaty jsou obecně GFM, ale mohou mít větší velikost či složitější akceptační podmínku (např. Rabinovu, Streettovu)
- ▶ Motivace je vyhnout se determinizaci a zároveň mít GFM automaty
- ▶ Využití v analýze pravděpodobnostních systému - nástroj **Mungojerrie**, který vyžaduje GFM automaty
- ▶ Motivace zrychlit nástroj Mungojerrie
- ▶ Slim automaty jsou nedeterministické a zároveň mají GFM vlastnost

Přínos v teorii

Přínos v teorii

- ▶ Slim automaty byly popsány ve článku "Good-for-MDPs Automata for Probabilistic Analysis and Reinforcement Learning", Ernst Moritz Hahn et al., TACAS 2020

Přínos v teorii

- ▶ Slim automaty byly popsány ve článku "Good-for-MDPs Automata for Probabilistic Analysis and Reinforcement Learning", Ernst Moritz Hahn et al., TACAS 2020
- ▶ První formální popis **weak slim automatů** (také od autorů článku, ale nebyly formálně popsány, slim automaty z původního článku pojmenovány jako **strong**)

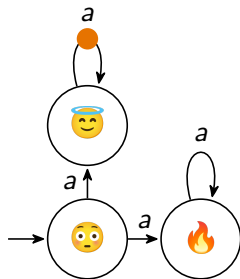
Přínos v teorii

- ▶ Slim automaty byly popsány ve článku "Good-for-MDPs Automata for Probabilistic Analysis and Reinforcement Learning", Ernst Moritz Hahn et al., TACAS 2020
- ▶ První formální popis **weak slim automatů** (také od autorů článku, ale nebyly formálně popsány, slim automaty z původního článku pojmenovány jako **strong**)
- ▶ Algoritmus z článku byl definován pouze na Büchiho automaty (TBA), rozšíření algoritmu na **generalizované** Büchiho automaty (TGBA)

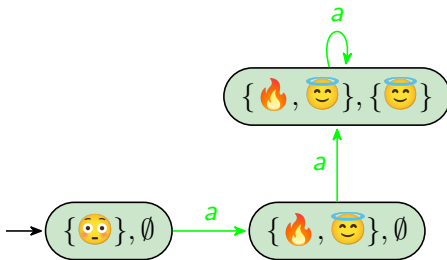
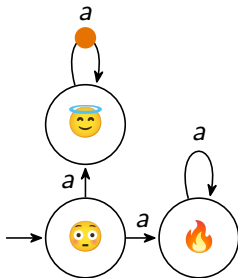
Přínos v teorii

- ▶ Slim automaty byly popsány ve článku "Good-for-MDPs Automata for Probabilistic Analysis and Reinforcement Learning", Ernst Moritz Hahn et al., TACAS 2020
- ▶ První formální popis **weak slim automatů** (také od autorů článku, ale nebyly formálně popsány, slim automaty z původního článku pojmenovány jako **strong**)
- ▶ Algoritmus z článku byl definován pouze na Büchiho automaty (TBA), rozšíření algoritmu na **generalizované** Büchiho automaty (TGBA)
 - ▶ Bez tohoto rozšíření je třeba nejprve provést degeneralizaci

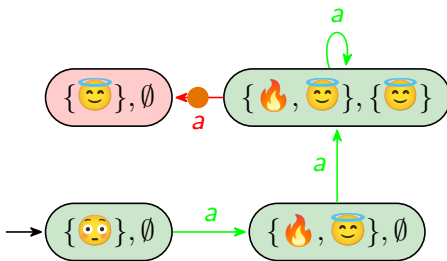
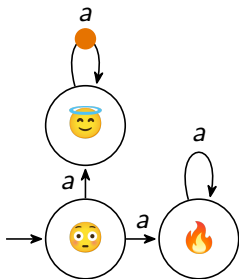
Ukázka konstrukce slim automatů



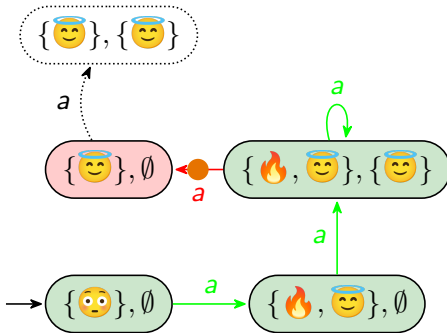
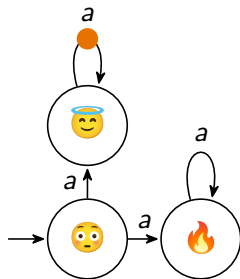
Ukázka konstrukce slim automatů



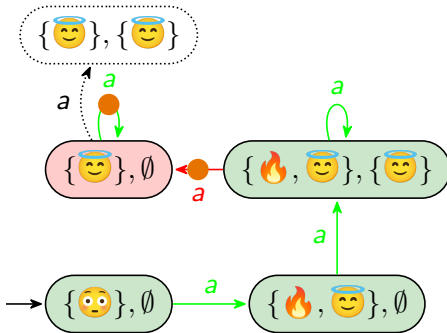
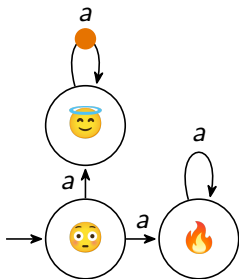
Ukázka konstrukce slim automatů



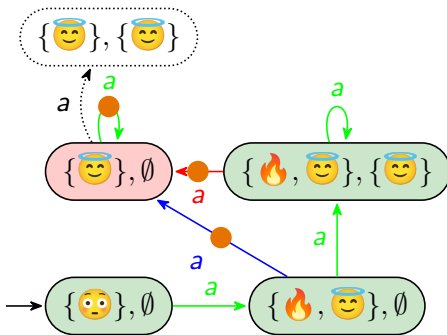
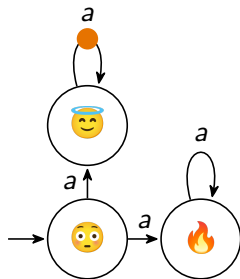
Ukázka konstrukce slim automatů



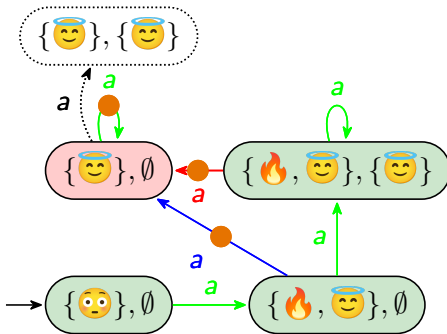
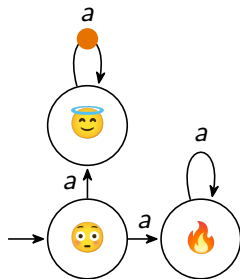
Ukázka konstrukce slim automatů



Ukázka konstrukce slim automatů



Ukázka konstrukce slim automatů



Implementace

Implementace

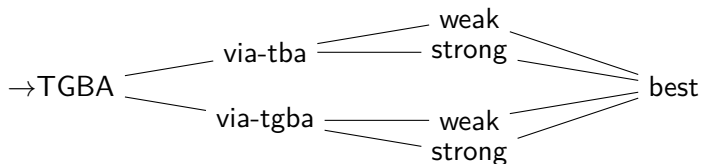
- ▶ Implementace algoritmu z původního článku a rozšíření na TGBA v nástroji Seminador

Implementace

- ▶ Implementace algoritmu z původního článku a rozšíření na TGBA v nástroji Seminador
- ▶ Přidána možnost post-optimalizace pomocí knihovny SPOT

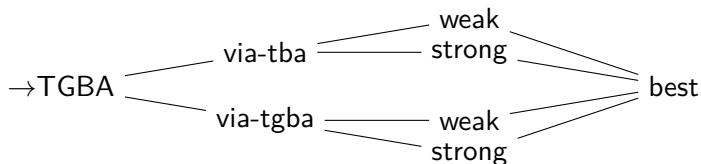
Implementace

- Implementace algoritmu z původního článku a rozšíření na TGBA v nástroji Seminor
- Přidána možnost post-optimalizace pomocí knihovny SPOT



Implementace

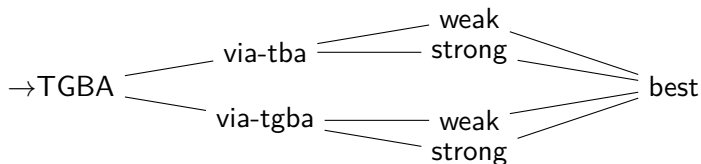
- ▶ Implementace algoritmu z původního článku a rozšíření na TGBA v nástroji Seminor
- ▶ Přidána možnost post-optimalizace pomocí knihovny SPOT



- ▶ Přidány testy na jazykovou ekvivalenci slim automatů se zdrojovým automatem

Implementace

- ▶ Implementace algoritmu z původního článku a rozšíření na TGBA v nástroji Seminor
- ▶ Přidána možnost post-optimalizace pomocí knihovny SPOT



- ▶ Přidány testy na jazykovou ekvivalenci slim automatů se zdrojovým automatem
- ▶ V době implementace nebyly k dispozici jiné implementace (později nástroj ePMC)

Evaluace

Automaty porovnáváme 2 způsoby:

Evaluace

Automaty porovnáváme 2 způsoby:

- ▶ porovnání počtu stavů automatů
 - ▶ mezi implementovanými možnostmi
 - ▶ s jinými nástroji

Evaluace

Automaty porovnáváme 2 způsoby:

- ▶ porovnání počtu stavů automatů
 - ▶ mezi implementovanými možnostmi
 - ▶ s jinými nástroji
- ▶ vliv na analýzu pravděpodobnostních systémů v nástroji Mungojerrie

Porovnání počtu stavů automatů

Porovnání kumulativního počtu stavů slim automatů tvořených Seminátorem z 500 náhodných LTL formulí:

slim	weak	strong	nejlepší
via tba	9160	7725	7456
via tgba	10317	8793	8434
nejlepší	8958	7578	7275

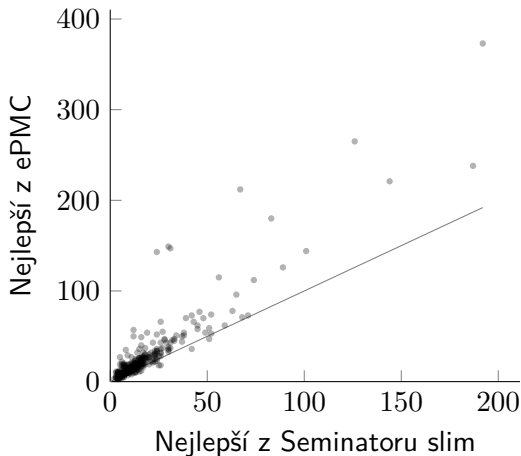
Porovnání počtu stavů automatů

Porovnání kumulativního počtu stavů s jinými nástroji:
(použito 500 stejných náhodných LTL formulí)

nástroj	kumulativní počet stavů
ltl3tela (deterministické)	3975
ltl2ldb	4632
Seminator slim	7133
ePMC	10132

Porovnání počtu stavů automatů

Scatter plot porovnávající velikosti slim automatů mezi nástroji ePMC a Seminátor:



Porovnání vlivu na analýzu pravděpodobnostních systémů

Porovnání vlivu na analýzu pravděpodobnostních systémů

- ▶ **Mungojerrie** je nástroj pro analýzu pravděpodobnostních systémů, vydaný letos (rok 2021)

Porovnání vlivu na analýzu pravděpodobnostních systémů

- ▶ **Mungojerrie** je nástroj pro analýzu pravděpodobnostních systémů, vydáný letos (rok 2021)
- ▶ využívá zpětnovazebné učení

Porovnání vlivu na analýzu pravděpodobnostních systémů

- ▶ **Mungojerrie** je nástroj pro analýzu pravděpodobnostních systémů, vydáný letos (rok 2021)
- ▶ využívá zpětnovazebné učení
- ▶ zpětnovazebné učení v Mungojerrie má 2 fáze:

Porovnání vlivu na analýzu pravděpodobnostních systémů

- ▶ **Mungojerrie** je nástroj pro analýzu pravděpodobnostních systémů, vydáný letos (rok 2021)
- ▶ využívá zpětnovazebné učení
- ▶ zpětnovazebné učení v Mungojerrie má 2 fáze:
 - ▶ fázi učení s daným počtem epizod
 - ▶ fázi model checkingu

Porovnání vlivu na analýzu pravděpodobnostních systémů

- ▶ **Mungojerrie** je nástroj pro analýzu pravděpodobnostních systémů, vydaný letos (rok 2021)
- ▶ využívá zpětnovazebné učení
- ▶ zpětnovazebné učení v Mungojerrie má 2 fáze:
 - ▶ fázi učení s daným počtem epizod
 - ▶ fázi model checkingu
- ▶ **cíl je definován GFM automatem**, který nástroji dodáme

Porovnání vlivu na analýzu pravděpodobnostních systémů

- ▶ **Mungojerrie** je nástroj pro analýzu pravděpodobnostních systémů, vydaný letos (rok 2021)
- ▶ využívá zpětnovazebné učení
- ▶ zpětnovazebné učení v Mungojerrie má 2 fáze:
 - ▶ fázi učení s daným počtem epizod
 - ▶ fázi model checkingu
- ▶ **cíl je definován GFM automatem**, který nástroji dodáme
- ▶ měříme po kolika epizodách máme pravděpodobnost dosažení cíle rovnou jedné

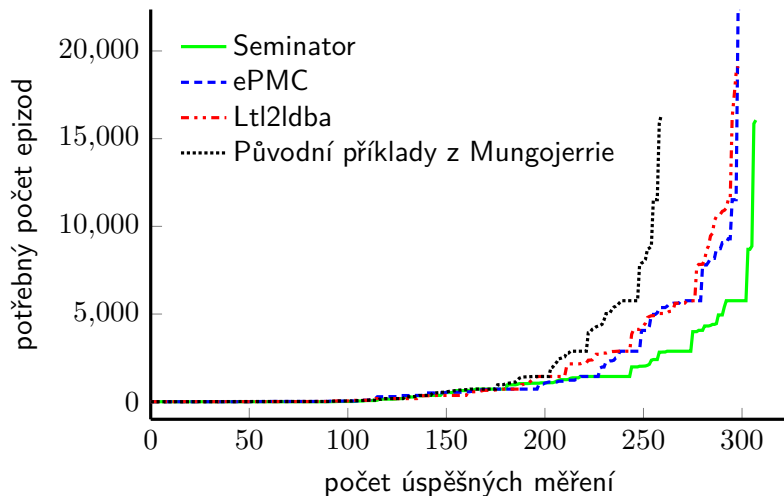
Porovnání vlivu na analýzu pravděpodobnostních systémů

- ▶ **Mungojerrie** je nástroj pro analýzu pravděpodobnostních systémů, vydáný letos (rok 2021)
- ▶ využívá zpětnovazebné učení
- ▶ zpětnovazebné učení v Mungojerrie má 2 fáze:
 - ▶ fázi učení s daným počtem epizod
 - ▶ fázi model checkingu
- ▶ **cíl je definován GFM automatem**, který nástroji dodáme
- ▶ měříme po kolika epizodách máme pravděpodobnost dosažení cíle rovnou jedné
- ▶ měříme desetkrát pro seedy 0-9

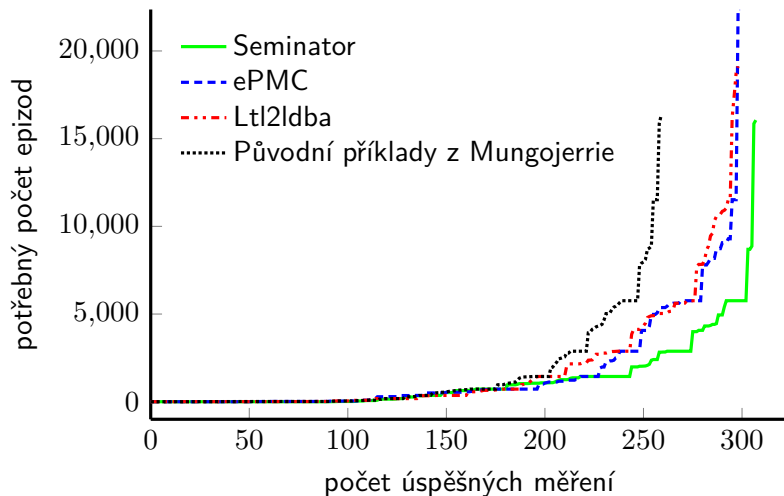
Porovnání vlivu na analýzu pravděpodobnostních systémů

- ▶ **Mungojerrie** je nástroj pro analýzu pravděpodobnostních systémů, vydaný letos (rok 2021)
- ▶ využívá zpětnovazebné učení
- ▶ zpětnovazebné učení v Mungojerrie má 2 fáze:
 - ▶ fázi učení s daným počtem epizod
 - ▶ fázi model checkingu
- ▶ **cíl je definován GFM automatem**, který nástroji dodáme
- ▶ měříme po kolika epizodách máme pravděpodobnost dosažení cíle rovnou jedné
- ▶ měříme desetkrát pro seedy 0-9

Porovnání vlivu na analýzu pravděpodobnostních systémů



Porovnání vlivu na analýzu pravděpodobnostních systémů



Děkuji za Vaši pozornost!

Reakce na posudek vedoucího

- ▶ ...Navíc se domnívám, že zmíněný příklad *Figure 4.1* je špatně, neboť barevně naznačuje existenci slabých slim hran, které však v tomto automatu nemohou být, protože ve všech stavech platí $S' = \emptyset$
 - ▶ Figure 4.1 → Barvy přechodů také zvýrazňují úrovně, barvy odpovídají akceptačním podmínkám ze zdrojového automatu. Není zde spojitost s obarvením hran z přechozího příkladu. Automat není špatně, nemá žádné slim hrany, tudíž je zároveň weak i strong slim automaty.

Reakce na posudek vedoucího

Otázky:

1. Tabulka 6.2 uvádí, že Seminátor při volbě via tba na formulích z literatury produkuje silné slim automaty s 431 stavy, zatímco při volbě best produkuje automaty s 436 stavy. Jak je to možné, když volba best má vždy produkovat automat s nejvýše tolika stavy jako volba via tba?
 - ▶ To je překlep, nastal při přepisu přepočítaných hodnot, má to být v obou případech 436.

Reakce na posudek vedoucího

Otázky:

1. Tabulka 6.2 uvádí, že Seminátor při volbě via tba na formulích z literatury produkuje silné slim automaty s 431 stavy, zatímco při volbě best produkuje automaty s 436 stavy. Jak je to možné, když volba best má vždy produkovat automat s nejvýše tolika stavy jako volba via tba?
 - ▶ To je překlep, nastal při přepisu přepočítaných hodnot, má to být v obou případech 436.
2. Proč je v tabulce 6.7 u nástroje Seminátor slim best uveden nižší počet stavů než v tabulce 6.2 pro volby best/best? Čekal bych identické hodnoty.
 - ▶ Srovnáváme pouze automaty kde všechny nástroje dokončí výpočet.

Reakce na posudek vedoucího

Otázky:

1. Tabulka 6.2 uvádí, že Seminarator při volbě via tba na formulích z literatury produkuje silné slim automaty s 431 stavy, zatímco při volbě best produkuje automaty s 436 stavy. Jak je to možné, když volba best má vždy produkovat automat s nejvýše tolika stavy jako volba via tba?
 - ▶ To je překlep, nastal při přepisu přepočítaných hodnot, má to být v obou případech 436.
2. Proč je v tabulce 6.7 u nástroje Seminarator slim best uveden nižší počet stavů než v tabulce 6.2 pro volby best/best? Čekal bych identické hodnoty.
 - ▶ Srovnáváme pouze automaty kde všechny nástroje dokončí výpočet.
3. Proč se liší hodnoty na řádcích failures v tabulkách 7.1 a 7.2?
 - ▶ V sedmé kapitole mám zmíněno "We exclude uninteresting benchmarks, where all tools achieve the same result." Odebráním jednoho nástroje vznikly výsledky, kde mají všechny zbývající nástroje stejný výsledek.

Reakce na posudek oponenta

Změny v kódu

'V přiloženém ZIP archivu jsem mezi všemi soubory našel seminator-ba2slim/src/slim.hpp o 39 řádcích (včetně prázdných), který má v záhlaví uvedeno „Created by psimovec on 9/16/20“. Ostatní soubory vypadají, že jsou v nástroji Seminátor původní.'
Změny v kódu:

soubor	změny
Makefile.am	+1
tests/slim.test	+16 (Nový soubor)
src/breakpoint_twa.cpp	+18
src/breakpoint_twa.hpp	+16
src/main.cpp	+95
src/slim.hpp	+39 (Nový soubor)

Z pull requestu:

<https://github.com/mklokočka/seminator/pull/31/files>

Dále jsem vytvořil skripty na evaluaci.

Reakce na posudek oponenta

Literature/random datasety

'V tabulce 6.1 netuším, co je „literature“ a co je „random“.'

Tyto datasety byly již v seminator-evaluation, jedná se o
nesemideterministické automaty

<https://github.com/xblahoud/seminator-evaluation>

[https://github.com/xblahoud/seminator-
evaluation/blob/master/Formulae.ipynb](https://github.com/xblahoud/seminator-evaluation/blob/master/Formulae.ipynb)