

# Transformace Nedeterministických Büchiho Automatů na Slim Automaty

Pavel Šimovec

Fakulta Informatiky, Masarykova Univerzita

30. června 2021

# Motivace

# Motivace

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

# Motivace

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

# Motivace

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

# Motivace

- ▶ Nedeterministické Büchiho automaty obecně nejsou **dobré pro Markovovy rozhodovací procesy** (dále **GFM**, good for Markov decision processes) → nejsou vhodné pro analýzu pravděpodobnostních systémů
- ▶ Deterministické Büchiho automaty jsou obecně GFM, ale mohou mít větší velikost či složitější akceptační podmínku
- ▶ Motivace je vyhnout se determinizaci a zároveň mít GFM automaty
- ▶ Využití ve zpětnovazebném učení - nástroj **Mungojerrie** vyžaduje GFM automaty

# Motivace

- ▶ Nedeterministické Büchiho automaty obecně nejsou **dobré pro Markovovy rozhodovací procesy** (dále **GFM**, good for Markov decision processes) → nejsou vhodné pro analýzu pravděpodobnostních systémů
- ▶ Deterministické Büchiho automaty jsou obecně GFM, ale mohou mít větší velikost či složitější akceptační podmínku
- ▶ Motivace je vyhnout se determinizaci a zároveň mít GFM automaty
- ▶ Využití ve zpětnovazebném učení - nástroj **Mungojerrie** vyžaduje GFM automaty
- ▶ Motivace zrychlit zpětnovazebné učení

# Motivace

- ▶ Nedeterministické Büchiho automaty obecně nejsou **dobré pro Markovovy rozhodovací procesy** (dále **GFM**, good for Markov decision processes) → nejsou vhodné pro analýzu pravděpodobnostních systémů
- ▶ Deterministické Büchiho automaty jsou obecně GFM, ale mohou mít větší velikost či složitější akceptační podmínku
- ▶ Motivace je vyhnout se determinizaci a zároveň mít GFM automaty
- ▶ Využití ve zpětnovazebném učení - nástroj **Mungojerrie** vyžaduje GFM automaty
- ▶ Motivace zrychlit zpětnovazebné učení
- ▶ 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“ (2020)

# Přínos v teorii

- ▶ Slim automaty byly popsány ve článku „Good-for-MDPs Automata for Probabilistic Analysis and Reinforcement Learning“ (2020)
- ▶ Rozšíření algoritmu z článku na **generalizované** Büchiho automaty (GBA)

# Přínos v teorii

- ▶ Slim automaty byly popsány ve článku „Good-for-MDPs Automata for Probabilistic Analysis and Reinforcement Learning“ (2020)
- ▶ Rozšíření algoritmu z článku na **generalizované** Büchiho automaty (GBA)
  - ▶ Bez tohoto rozšíření je třeba prvně provést degeneralizaci

## Přínos v teorii

- ▶ Slim automaty byly popsány ve článku „Good-for-MDPs Automata for Probabilistic Analysis and Reinforcement Learning“ (2020)
- ▶ Rozšíření algoritmu z článku na **generalizované** Büchiho automaty (GBA)
  - ▶ Bez tohoto rozšíření je třeba prvně provést degeneralizaci
- ▶ První formální popis **weak slim automatů** (slim automaty z původního článku pojmenovány jako **strong**)

# Implementace

# Implementace

- ▶ Implementace algoritmu z původního článku a rozšíření na GBA v nástroji Seminor

# Implementace

- ▶ Implementace algoritmu z původního článku a rozšíření na GBA v nástroji Seminor
- ▶ Weak/strong a via-tba/via-tgba



# Implementace

- ▶ Implementace algoritmu z původního článku a rozšíření na GBA v nástroji Seminor
- ▶ Weak/strong a via-tba/via-tgba
- ▶ Přidána možnost post-optimalizace pomocí knihovny SPOT

# Implementace

- ▶ Implementace algoritmu z původního článku a rozšíření na GBA v nástroji Seminador
- ▶ Weak/strong a via-tba/via-tgba
- ▶ Přidána možnost post-optimalizace pomocí knihovny SPOT
- ▶ Testována jazyková ekvivalence se zdrojovým automatem

# Implementace

- ▶ Implementace algoritmu z původního článku a rozšíření na GBA v nástroji Seminor
- ▶ Weak/strong a via-tba/via-tgba
- ▶ Přidána možnost post-optimalizace pomocí knihovny SPOT
- ▶ Testována jazyková ekvivalence 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 zpětnovazebné učení v nástroji Mungojerrie

# Porovnání počtu stavů automatů

**Tabulka:** Porovnání kumulativního počtu stavů slim automatů tvořených Seminátorem

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

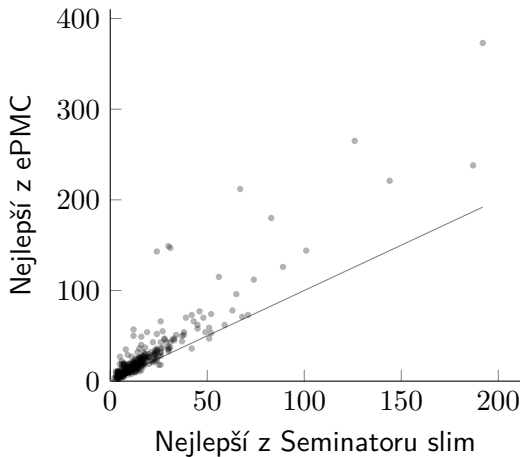
## Porovnání počtu stavů automatů

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



# Porovnání počtu stavů automatů

Obrázek: Scatter plot porovnávající velikosti slim automatů.



# Porovnání vlivu na zpětnovazební učení

# Porovnání vlivu na zpětnovazební učení

- ▶ **Mungojerrie** je nástroj pro zpětnovazební učení vydaný letos (rok 2021)

# Porovnání vlivu na zpětnovazebné učení

- ▶ **Mungojerrie** je nástroj pro zpětnovazebné učení vydaný letos (rok 2021)
- ▶ zpětnovazebné učení v Mungojerrie má 2 fáze

# Porovnání vlivu na zpětnovazební učení

- ▶ **Mungojerrie** je nástroj pro zpětnovazební učení vydaný letos (rok 2021)
- ▶ zpětnovazební učení v Mungojerrie má 2 fáze
  - ▶ fázi učení s daným počtem epizod
  - ▶ fázi model checkingu

# Porovnání vlivu na zpětnovazební učení

- ▶ **Mungojerrie** je nástroj pro zpětnovazební učení vydaný letos (rok 2021)
- ▶ zpětnovazební 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 zpětnovazební učení

- ▶ **Mungojerrie** je nástroj pro zpětnovazební učení vydaný letos (rok 2021)
- ▶ zpětnovazební 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 zpětnovazebné učení

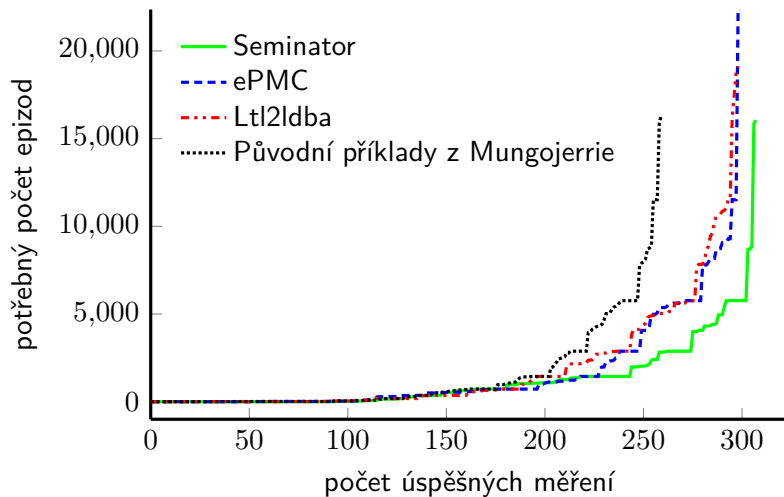
- ▶ **Mungojerrie** je nástroj pro zpětnovazebné učení vydaný letos (rok 2021)
- ▶ zpětnovazebné učení v Mungojerrie má 2 fáze
  - ▶ fázi učení s daným počtem epizod
  - ▶ fázi model checkingu
- ▶ **cíl je definován GFM automatem**, který nástroji dodáme
- ▶ měříme po kolika epizodách máme pravděpodobnost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



# Porovnání vlivu na zpětnovazební učení

- ▶ **Mungojerrie** je nástroj pro zpětnovazební učení vydaný letos (rok 2021)
- ▶ zpětnovazební 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
- ▶ v případě neúspěchu dosažení pravděpodobnosti 1 u jednoho seedu považujeme celý experiment pro automat za neúspěšný.

# Porovnání vlivu na zpětnovazební učení



# Porovnání vlivu na zpětnovazební učení

Neúspěch nastane v případě, že alespoň jednou pro příklad není dosaženo pravděpodobnosti 1

**Tabulka:** Počty nejlepších výsledků z Mungojerrie

	Seminator	ePMC	Ltl2ldb
unikátní nejlepší průměry	9	1	13
unikátní nejlepší mediány	10	0	13
nejlepší průměry	14	6	13
nejlepší mediány	15	5	13
neúspěchy	2	1	2

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 jako akceptační podmínky ze zdrojového automatu. Není zde spojitost s obarvením hran z přechozího příkladu. Automat není špatně, nemá žádné slim hrany, tudíž je stejný pro 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
src/breakpoint_twa.cpp	+18
src/breakpoint_twa.hpp	+16
src/main.cpp	+95
src/slim.hpp	+39

Z pull requestu:

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

Dále jsem vytvořil skript 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)

# Bibliografie I

- [1] Ernst Moritz Hahn et al. „Good-for-MDPs Automata for Probabilistic Analysis and Reinforcement Learning“. In: *Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems - 26th International Conference, TACAS 2020, Held as Part of the European Joint Conferences on Theory and Practice of Software, ETAPS 2020, Dublin, Ireland, April 25-30, 2020, Proceedings, Part I*. Ed. Armin Biere a David Parker. Sv. 12078. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2020, s. 306–323. DOI: 10.1007/978-3-030-45190-5\_17. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-45190-5\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-030-45190-5_17).