Přednášející

Jméno: Ing. Martin Kot, Ph.D.

E-mail: martin.kot@vsb.cz

Místnost: EA413

Web: http://www.cs.vsb.cz/kot

Požadavky

- **Zápočet** (30 bodů):
  - Dva miniprojekty (2×15 bodů)
    - Pokud je miniprojekt uznán, je hodnocen 10–15 body.
    - Podmínkou získání zápočtu je alespoň 1 uznaný miniprojekt

- **Zkouška** (70 bodů)
  - Nejprve je potřeba vyřešit jeden příklad podobný příkladům ze cvičení označených symbolem hvězdičky
  - Poté následuje ústní zkouška - cca 20 minut dlouhá prezentace jednoho z 5 předem známých témat. U této prezentace je možné využívat donesené rukou psané podklady v rozsahu maximálně 1 strany A4 na téma.

Náplň předmětu

- Přechodové systémy
- Kalkulus komunikujících systémů (CCS)
- Ekvivalence chování - především silná a slabá bisimulační ekvivalence
- Hennessy-Milner logika
- Tarského věta o pevném bodu
- Hennessy-Milner logika s rekurzí
- Časované automaty a jejich sémantika
- Sítě časovaných automatů
- Temporální logiky

Výukové materiály

Hlavním výukovým textem je:

- Luca Aceto, Anna Ingólfsdóttir, Kim Guldstrand Larsen, Jiří Srba *Reactive Systems: Modelling, Specification and Verification*, Cambridge University Press, August 2007 .

  Poznámka: Vetšinu knihy dala jedna z autorek k dispozici ve formě pdf souboru na adrese
  http://www.cs.ioc.ee/yik/schools/win2007/ingolfsdottir

Verifikace vs. testování

- Testování - snaha najít chyby
  - Běh programu na vybraných vstupech sloužící k odhalení chyb
  - Výhody: vhodné k odhalení chyb, relativně levné
  - Nevýhody: obvykle negarantuje bezchybnost
- Verifikace - snaha formálně dokázat korektost
  - Formálními metodami ověřuje systém
  - Výhody: částečně vhodná k odhalení chyb, může garantovat korektnost
  - Nevýhody: obvykle drahá (na čas, prostředky, kvalifikované pracovníky, ...)
- Typy chyb:

	časté	vzácné
neškodné	testování	nedůležité
katastrofické	testování, verifikace	**verifikace**

Známé chyby

- Raketa Ariane 5
  - výbuch při prvním letu 37 sekund po startu
  - konverze 64-bit float na 16-bit signed integer
  - využity části kódu ze SW pro Ariane 4 bez řádné verifikace
  - na palubě byly družice Cluster za 500 milionů dolarů
- Therac-25
  - počítačem řízený přístroj na radioterapii z roku 1982
  - chyby v souběhu (concurrent programming errors)
  - několik pacientů vystaveno až 100násobně vyšším dávkám radiace
  - dřívější modely měly HW pojistku, tento spoléhal na SW kontrolu
  - několik případů nemoci z ozáření, 3 pacienti na následky zemřeli
- Mars Pathfinder
  - využíval VxWorks RTOS
  - časté restarty způsobené chybně navrženými prioritami procesů a prioritami přístupu ke sdílenému médiu (komunikační sběrnici)
  - řešení: program v C změnil 3 globální proměnné z False na True

Známé chyby

- Nové mezinárodní letiště v Denveru
  - pokus o první plně automatický zavazadlový systém
  - chyby v návrhu (podcenění složitosti projektu, nevytvoření záložních kapacit)
  - oddálilo otevření letiště o 16 měsíců
  - náklady na údržbu neotevřeného letiště a úroky z půjček ve výši 1,1mil dolarů denně
  - nakonec se systém nějakou dobu využíval jen ve velmi omezené míře (1 terminál ze 3, 1 aerolinie) a zbytek se řešil tradičně (manuálně)

- Intel Pentium FDIV bug
  - chyba v návrhu HW jednotky pro práci s plovoucí řádovou čárkou (FPU - floating point unit)
  - objevena v květnu 1994 (procesory vyráběny od března 1993)
  - chyba se projevila v asi 1 z 9 miliard dělení s náhodnými hodnotami
  - Intel nabídl v prosinci 1994 výměnu procesorů
  - přímá škoda - 475 milionů dolarů za výměnu procesorů

Techniky formální verifikace

- Ruční - člověk se snaží vytvořit důkaz korektnosti
- Poloautomatické
  - Dokazování vět (theorem proving)
    - nástroj COQ - interaktivní, využit pro CompCert (překladač jazyka C)
- Automatické
  - Ověřování ekvivalence (equivalence checking)
    - algoritmus porovnává 2 systémy (programy, modely)
    - ověřuje, zda se systémy chovají stejně (z vnějšího pohledu)
    - využívají se ekvivalence chování (behavioral equivalence)
    - použití např. na porovnání implementace vs. specifikace
  - Ověřování modelů (model checking)
    - algoritmus zjišťuje zda systém (program, model) má danou vlastnost
    - využívají se různé logiky (modální, temporální) pro popis vlastností

Klasický pohled na programy

Charakterizace klasického programu

Program transformuje vstup na výstup.

- Denotační sémantika: popis významu programu pomocí funkcí
  - program :: Vstup $\rightarrow$ Výstup
  - využívá λ-kalkul
  - popis prostředky funkcionálního jazyka
- **Nekonečný běh programu je považován za chybu!**
- V případě konečného běhu je výsledek jednoznačný.

Reaktivní systémy

- Operační systémy
- Komunikační protokoly
- Řídící programy
  - Výrobní linky
  - Automobily
  - Chytrá domácnost
- Prodejní automaty, bankomaty

Reaktivní systémy

Charakterizace reaktivního systému

Reaktivní systém průběžně reaguje na stimuly z jeho okolí.

- Klíčové záležitosti:
  - komunikace a interakce
  - paralelismus
- **Nekonečný běh programu je většinou velmi žádoucí!**
- Pokud dává nějaké výstupy, nemusí být jednoznačné.

Klasické vs. reaktivní systémy

	Klasické	Reaktivní/paralelní
Interakce	ne	ano
Nekonečný běh	nežádoucí	často žádoucí
Jednoznačný výsledek	ano	ne
Sémantika	denotační, operační	?

Ohodnocené přechodové systémy

Definice

Ohodnocený přechodový systém (labelled transition system - LTS) je trojice $(Proc, Act, \{\xrightarrow{a} | \ a \in Act\})$, kde:

- $Proc$ je množina **stavů** (nebo **procesů**)
- Act je množina **akcí**
- pro každé $a \in Act$, $\xrightarrow{a} \subseteq Proc \times Proc$ je binární relace na stavech nazývaná **přechodová relace**

- Budeme používat infixovou notaci $s \xrightarrow{a} s'$ znamenající $(s, s') \in \xrightarrow{a}$.
- Někdy je navíc určen **počáteční** stav.

Ohodnocené přechodové systémy – notace

Nechť $(Proc, Act, \{\xrightarrow{a} | \ a \in Act\})$ je LTS.

- rozšíříme $\xrightarrow{a}$ na prvky Act^*
- $\longrightarrow = \bigcup_{a \in Act} \xrightarrow{a}$
- $\longrightarrow^*$ je reflexivní tranzitivní uzávěr $\longrightarrow$
- $s \xrightarrow{a}$ – existuje s' tž. $s \xrightarrow{a} s'$
- $s \not\xrightarrow{a}$ – neexistuje s' tž. $s \xrightarrow{a} s'$

Syntaxe

- LTS mohou být nekonečně velké
- LTS jsou sémantikou reaktivních systémů
- Potřebujeme vhodnou syntaxi pro reaktivní systémy
- Používá se mnoho různých modelů reaktivních systémů:
  - různé typy automatů
    - Kripkeho struktury - stavy mají přiřazené atomické výroky, které v nich platí
    - automaty na nekonečných slovech - Büchi, Muller, Rabin, Streett
  - bezkontextové gramatiky (v Greibachové normální formě)
  - Petriho sítě
  - procesní algebry
    - kalkulus komunikujících systémů (CCS)

Příklady použití bezkontextových gramatik

$$A \longrightarrow b$$
$$A \longrightarrow bAB$$
$$B \longrightarrow a$$

Příklady použití bezkontextových gramatik

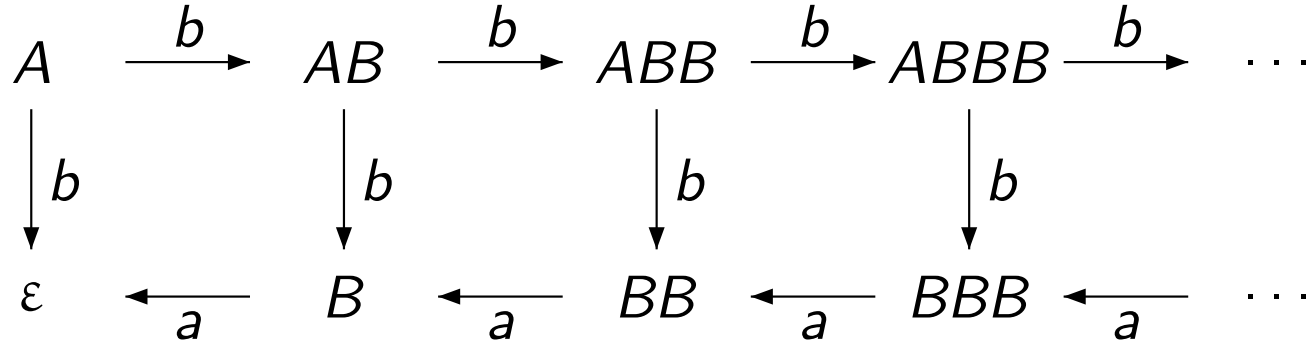
$$A \longrightarrow b$$
$$A \longrightarrow bAB$$
$$B \longrightarrow a$$

$$A \xrightarrow{b} \varepsilon$$
$$A \xrightarrow{b} AB$$
$$B \xrightarrow{a} \varepsilon$$

Příklady použití bezkontextových gramatik

$$A \longrightarrow b \qquad A \xrightarrow{b} \varepsilon$$
$$A \longrightarrow bAB \qquad A \xrightarrow{b} AB$$
$$B \longrightarrow a \qquad B \xrightarrow{a} \varepsilon$$

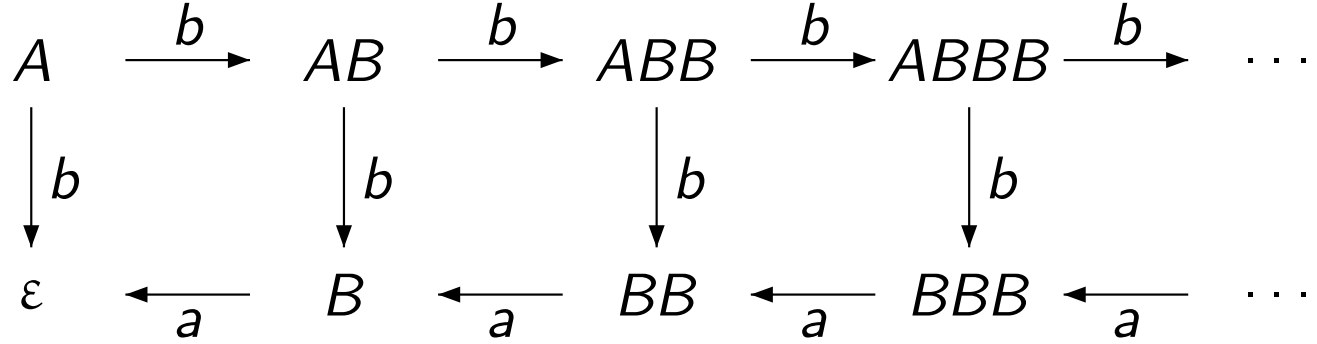
- BPA - Basic Process Algebra



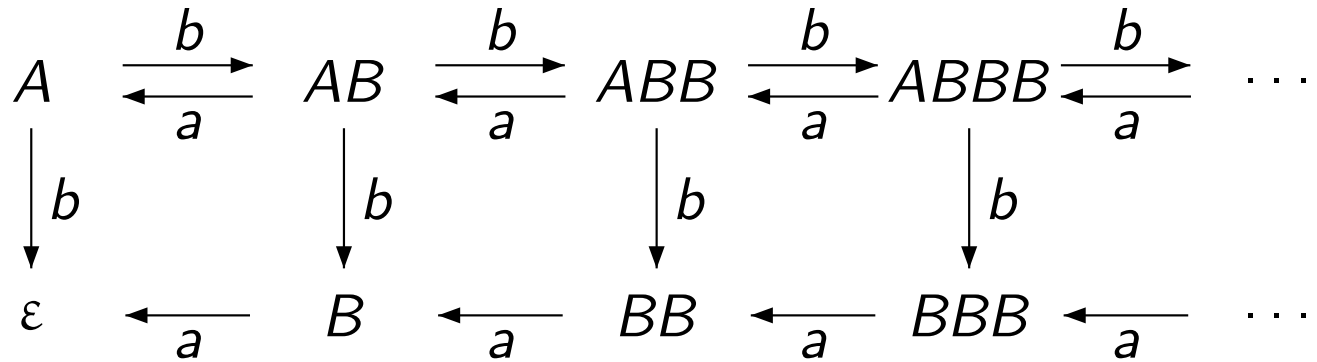
Příklady použití bezkontextových gramatik

$$A \longrightarrow b \qquad A \xrightarrow{b} \varepsilon$$
$$A \longrightarrow bAB \qquad A \xrightarrow{b} AB$$
$$B \longrightarrow a \qquad B \xrightarrow{a} \varepsilon$$

- BPA - Basic Process Algebra



- BPP - Basic Parallel Processes



Procesní algebry

Základní princip

1. Definovat několik **atomických procesů** (modelování nejjednoduššího chování procesů).
2. Definovat **operace** (tvorba složitějších chování procesů z jednodušších).

Příklad

1. atomická instrukce: přiřazení (např. x:=2 a x:=x+2)
2. nové operátory:
   - sekvenční kompozice (P_1; P_2)
   - paralelní kompozice ($P_1 \mid P_2$)

Nyní např. (x:=1 | x:=2); x:=x+2; (x:=x-1 | x:=x+5) je proces.