Prednáška 7: Jazyk Z

Metódy a prostriedky špecifikácie 2012/13

Valentino Vranić

Ústav informatiky a softvérového inžinierstva
Fakulta informatiky a informačných technológií
Slovenská technická univerzita v Bratislave

13. november 2012

Obsah prednášky

Úvod

Úvod

- Softvérové systémy sa špecifikujú väčšinou neformálnymi prostriedkami
- Takýto prístup je zdrojom chýb
- Zároveň nie je možné formálnym spôsobom overiť vlastnosti špecifikácie
- Podnet pre uplatnenie matematického formalizmu v špecifikovaní softvéru
- Pozrieme sa na jazyk Z ako príklad formálneho prístupu k špecifikácii

Základy jazyka Z

Jazyk Z

- Jean-Raymond Abrial, Steve Schuman a Bertrand Meyer, 1977
- Zermelova–Fraenkelova teória množín
- Matematické základy
  - Predikátová logika
  - Teória množín
- Štruktúrovanosť
  - Schémy
  - Typy
- Použitie prirodzeného jazyka
  - Pomenovanie identifikátorov
  - Komentár
- Spresňovanie (refinement)

Štruktúra špecifikácie v jazyku Z

Typická organizácia špecifikácie v jazyku Z

1. Typy
2. Stav a inicializácia systému
3. Základné operácie
4. Robustné operácie

Príklad: Systém správy balíkov

- Softvérové balíky (knižnice, pomocné programy a pod.) sú potenciálne spoločné pre viac aplikácií – stačí ich inštalovať iba raz[1]
- Každá aplikácia pri inštalácii pridáva nové balíky
- Pri odinštalovaní aplikácie sa nesmú odinštalovať balíky, ktoré sú používané zo strany iných aplikácií

[1] M. Kiselkov. Systém správy balíkov. Správa k projektu, Metódy a prostriedky špecifkácie 2001/02, FEI STU.

Typy (1)

- V jazyku Z typ je množina
- Základný je len typ celých čísel $\mathbb{Z}$
- Ostatné typy sa musia definovať
- Daný typ – typ s neznámou štruktúrou (nezaujímavou z hľadiska špecifikácie):

  $[Balik]$

- Typ definovaný vymenovaním:

  $Sprava ::= OK$
  $\mid$ ‘*Vazba uz existuje*‘ $\mid$ ‘*Vazba neexistuje*‘
  $\mid$ ‘*Balik nie je k dispozicii*‘ $\mid$ ‘*Balik uz je k dispozicii*‘
  $\mid$ ‘*Balik nie je nainstalovany*‘ $\mid$ ‘*Balik uz je nainstalovany*‘
  $\mid$ ‘*Vazba sa este pouziva*‘
  $\mid$ ‘*Nie su nainstalovane potrebne baliky*‘
  $\mid$ ‘*Balik sa nemouze odinstalovat*‘

Typy (2)

- Typ pomocou potenčnej množíny

  $$\mathbb{P}\, Balik$$

- *Balik* je množina všetkých balíkov – jeho *potenčná množina* je množina všetkých podmnožín tejto množiny
- Príklad potenčnej množiny (power set):

  $$\mathbb{P}\{1,2,3\} = \{\emptyset, \{1\}, \{2\}, \{3\}, \{1,2\}\, \{1,3\}, \{2,3\}, \{1,2,3\}\}$$

Typy (3)

- Štruktúrované typy sa vytvárajú pomocou kartézskeho súčinu:

  $$Balik \times Balik$$

- Typy možno pomenovať definíciou skratky:

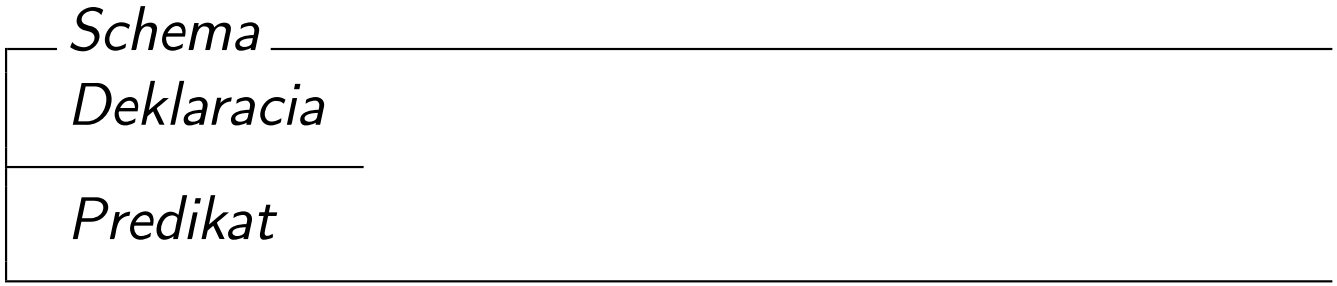
  $$Vazba == Balik \times Balik$$

- Iný spôsob vytvorenia štruktúrovaného typu je schémou

Špecifikácia operácií

Schéma

- Schéma pozostáva z deklarácie premenných a predikátu, ktorý ohraničuje ich hodnoty



- Rovnocenné je horizontálne vyjadrenie:

$$Schema \mathrel{\widehat=} [Deklaracia \mid Predikat]$$

Stav a inicializácia systému (1)

System

$$DispBalik : \mathbb{P}\, Balik$$
$$InstBalik : \mathbb{P}\, Balik$$
$$ZzVazba : \mathbb{P}\, Vazba$$

$$ZzVazba(\!|\, InstBalik \,|\!) \subseteq InstBalik$$

- Stav systému je daný hodnotami premenných, z ktorých pozostáva
- Dvojbodka znamená, že premenná nadobúda hodnoty z danej množiny

Stav a inicializácia systému (2)

Inicializacia

$$System'$$

$$ZzVazba' = \emptyset$$
$$DispBalik' = \emptyset$$
$$InstBalik' = \emptyset$$

- Apostrof vyjadruje stav po operácii
- Takto môžeme vyjadriť *dôsledok* (postcondition)

Operácie a konvencie Ξ a Δ

- Operácie pracujú nad stavom systému – preto v nich zahŕňame schému stavu systému
- Či operácia mení stav systému alebo nie, určuje spôsob jeho zahrnutia: konvencia Ξ alebo Δ

$\Delta State$

$State$

$State'$

$\Xi State$

$State$

$State'$

$\Theta State = \Theta State'$

Operácie bez zmeny stavu (1)

- Zistenie, ktoré balíky sú potrebné nemení stav systému:
- Vstupné premenné sú označené otáznikom, výstupné výkričníkom

PotrebneBaliky

$$\Xi System$$
$$balik? : Balik$$
$$potrebne! : \mathbb{P}\, Balik$$

$$potrebne! = ZzVazba(\!| \{balik?\} |\!) \setminus InstBalik$$

Operácie bez zmeny stavu (2)

- Ani zistenie, ktoré balíky sú potrebné, ale nie sú k dispozícii nemení stav systému:

$$
\begin{array}{|l}
\textit{PotrebneBalikyNieKDispozicii} \\
\hline
\Xi \textit{System} \\
\textit{balik}? : \textit{Balik} \\
\textit{potrebne}! : \mathbb{P}\, \textit{Balik} \\
\hline
\textit{potrebne}! = (\textit{ZzVazba}(\!| \{\textit{balik}?\} |\!) \setminus \textit{InstBalik}) \setminus \textit{DispBalik} \\
\hline
\end{array}
$$

Operácie so zmenou stavu (1)

- Pridanie balíka do množiny balíkov, ktoré sú k dispozícii, stav systému mení
- Pri zmene stavu sa uvádzajú aj *predpoklady* (preconditions) – obsahujú len premenné bez apostrofu

RegistrujBalik

$$\Delta System$$
$$balik? : Balik$$

$$balik? \notin DispBalik$$
$$DispBalik' = DispBalik \cup \{balik?\}$$

Operácie so zmenou stavu (2)

- Odober balík z množiny balíkov, ktoré sú k dispozícii

VymazBalik

$\Delta System$
$balik? : Balik$

$balik? \in DispBalik$
$DispBalik' = DispBalik \setminus \{balik?\}$

Operácie so zmenou stavu (3)

- Pridaj väzbu do množiny väzieb

RegistrujVazbu

$\Delta System$

$vazba? : Vazba$

$vazba? \notin ZzVazba$

$ZzVazba' = ZzVazba \cup \{vazba?\}$

Operácie so zmenou stavu (4)

- Odober väzbu z množiny väzieb

VymazVazbu

$\Delta System$
$vazba? : Vazba$

$vazba? \in ZzVazba$
$first\ vazba? \notin DispBalik \land first\ vazba? \notin InstBalik$
$ZzVazba' = ZzVazba \setminus \{vazba?\}$

Operácie so zmenou stavu (5)

- Nainštaluj balík – inštalácia sa nesmie vykonať, pokiaľ nie sú nainštalované všetky balíky, od ktorých je balík závislý

Instalacia

$$\Delta System$$
$$balik? : Balik$$

$$balik? \notin InstBalik$$
$$balik? \in DispBalik$$
$$ZzVazba(\!| InstBalik \cup \{balik?\} |\!) \setminus InstBalik = \emptyset$$
$$InstBalik' = InstBalik \cup \{balik?\}$$

Operácie so zmenou stavu (6)

- Odinštaluj balík – balík sa nesmie odinštalovať, pokiaľ je nainštalovaný iný od neho závislý balík

Odinstalovanie

$\Delta System$
$balik? : Balik$

$balik? \in InstBalik$
$\mathrm{dom}(ZzVazba \rhd \{balik?\}) \cap InstBalik = \emptyset$
$InstBalik' = InstBalik \setminus \{balik?\}$

Spájanie operácií

Spájanie operácií

- Uvedené operácie nedávajú používateľovi najavo nič o výsledku
- V jazyku Z výstup modelujeme pomocou výstupných premenných
- Tieto operácie sú určené na spájanie so základnými operáciami

Operácie zabezpečujúce hlásenia (1)

- Niektoré operácie zabezpečujúce hlásenia sú úplne generické

Uspech

$sp! : Sprava$

$sp! = \text{`}OK\text{`}$

Operácie zabezpečujúce hlásenia (2)

- Kontrola či väzba už existuje alebo neexistuje

VazbaExistuje

$\Xi System$
$vazba? : Vazba$
$sp! : Sprava$

$vazba? \in ZzVazba$
$sp! = \text{‘}Vazba\ uz\ existuje\text{‘}$

Operácie zabezpečujúce hlásenia (3)

VazbaNeexistuje

$\Xi System$

$vazba? : Vazba$

$sp! : Sprava$

$vazba? \notin ZzVazba$

$sp! = \text{`}Vazba\ neexistuje\text{`}$

Operácie zabezpečujúce hlásenia (4)

- Kontrola, či je balík registrovaný (je v množine balíkov ktoré sú k dispozícii) alebo nie je registrovaný

BalikJeReg

$\Xi System$
$balik? : Balik$
$sp! : Sprava$

$balik? \in DispBalik$
$sp! = \text{`}Balik\ uz\ je\ k\ dispozicii\text{`}$

Operácie zabezpečujúce hlásenia (5)

BalikNieJeReg

$\Xi System$

$balik? : Balik$

$sp! : Sprava$

$balik? \notin DispBalik$

$sp! = \text{`}Balik\ nie\ je\ k\ dispozicii\text{`}$

Operácie zabezpečujúce hlásenia (6)

- Kontrola, či je balík nainštalovaný, resp. nie je nainštalovaný

BalikJeInst

$\Xi System$
$balik? : Balik$
$sp! : Sprava$

$balik? \in InstBalik$
$sp! = \text{`}Balik\ uz\ je\ nainstalovany\text{`}$

Operácie zabezpečujúce hlásenia (7)

BalikNieJeInst

$\Xi System$

$balik? : Balik$

$sp! : Sprava$

$balik? \notin InstBalik$

$sp! = \text{‘}Balik\ nie\ je\ nainstalovany\text{‘}$

Operácie zabezpečujúce hlásenia (8)

- Kontrola, či sa väzba ešte používa

VazbaSaPouziva

$\Xi System$
$vazba? : Vazba$
$sp! : Sprava$

$first\ vazba? \in DispBalik \lor first\ vazba? \in InstBalik$
$sp! = \text{`}Vazba\ sa\ este\ pouziva\text{`}$

Operácie zabezpečujúce hlásenia (9)

- Kontrola, či sú nainštalované všetky potrebné balíky

ChybajuBaliky

$\Xi System$

$balik? : Balik$

$sp! : Sprava$

$ZzVazba(\!| InstBalik \cup \{balik?\} |\!) \setminus InstBalik \neq \emptyset$

$sp! = \text{`}Nie\ su\ nainstalovane\ potrebne\ baliky\text{`}$

Operácie zabezpečujúce hlásenia (10)

- Kontrola, či sa balík môže odinštalovať

BalikSaPouziva

$\Xi System$
$balik? : Balik$
$sp! : Sprava$

$\mathrm{dom}(ZzVazba \rhd \{balik?\}) \cap InstBalik \neq \emptyset$
$sp! = \text{`}Balik\ sa\ nemouze\ odinstalovat\text{`}$

Spájanie špecifikácií operácií

- Špecifikácie operácií môžeme spájať logickými spojkami
- Výsledná schéma obsahuje všetky premenné v deklaračnej časti
- Predikáty sa spoja príslušnou logickou spojkou
- Toto je spôsob *oddelenia záležitostí* (separation of concerns)
  - Hlavná logika operácie je prezentovaná v samostatnej schéme
  - Každá ďalšia záležitosť, ako napr. výpisy a ošetrenia chybových stavov, je tiež prezentovaná v samostatnej schéme
  - Spojenie týchto záležitostí je zabezpečené spojením schém príslušnými logickými spojkami (samostatnou konštrukciou)
- Súvisí to s aspektovo-orientovaným prístupom

Robustné operácie (1)

$$RegistrujBalikRO \mathrel{\widehat{=}} (RegistrujBalik \land Uspech) \lor BalikJeReg$$

$$VymazBalikRO \mathrel{\widehat{=}} (VymazBalik \land Uspech) \lor BalikNieJeReg$$

$$RegistrujVazbuRO \mathrel{\widehat{=}} (RegistrujVazbu \land Uspech) \lor VazbaExistuje$$

Robustné operácie (2)

$$VymazVazbuRO \mathrel{\widehat{=}} (VymazVazbu \land Uspech) \lor VazbaNeexistuje$$

$$PotrebneBalikyRO \mathrel{\widehat{=}} PotrebneBaliky \land Uspech$$

$$PotrebneBalikyNieKDispoziciiRO \mathrel{\widehat{=}} PotrebneBalikyNieKDispozicii \land Uspech$$

Robustné operácie (3)

$$InstalaciaRO \mathrel{\widehat{=}} (Instalacia \land Uspech) \lor BalikJeInst \lor BalikNieJeReg \lor ChybajuBaliky$$

$$OdinstalovanieRO \mathrel{\widehat{=}} (Odinstalovanie \land Uspech) \lor BalikNieJeInst \lor BalikSaPouziva$$

Uplatnenie jazyka Z

Ďalšie mechanizmy jazyka Z

- V prednáške bol prezentovaný len zlomok mechanizmov jazyka Z
- Matematické dokazovanie vlastností špecifikácie
- Plné využitie predikátovej logiky
- Definovanie objektov generickou skratkou, axiomatickou definíciou a generickou definíciou
- Relácie a funkcie
- Postupnosti
- Multimnožiny
- Voľné typy
- Schéma ako typ
- Kompozícia schém

Nástroje na prácu v jazyku Z

- Jazyk Z od vzniku bol spojený s LaTeXom, čo umožnilo automatizovanú prácu so špecifikáciou v jazyku Z
- LaTeX štýl pre jazyk Z – `z-eves.sty`, upravená verzia `zed-csp.sty`
- LaTeX syntax pre jazyk Z
  - `http://uebb.cs.tu-berlin.de/zeta/zetadistdoc/Z-node7.html`
  - `http://uebb.cs.tu-berlin.de/zeta/zetadistdoc/Z-node7.html`
- Nástroj Z/EVES na tvorbu a verifikáciu špecifikácií v jazyku Z
  - `http://fmt.cs.utwente.nl/courses/fmse/`
  - `http://www.uni-koblenz.de/~winter/Lehre/SS01/ZEves/ZEves.html`

Známe prípady uplatnenia jazyka Z

- Jazyk Z a formálne metódy určite neprevládajú, ale predsa sa používali a používajú
- CICS – Customer Information Control System, IBM
- D. Craigen et al. Industrial applications of formal methods to model, design and analyze computer systems: an international survey. Noyes Publications, 1995.

Implementácia špecifikácie

- Formalizmus jazyka Z pomáha zabezpečiť konzistentnosť špecifikácie
- Chyby však môžu vzniknúť pri jej implementácii
- Vzdialenosť jazyka Z od implementácie tomu žiaľ napomáha
- Metóda B je príklad formálneho prístupu bližšieho implementácii

Sumarizácia

Sumarizácia

- Jazyk Z ako príklad prostriedku na vyjadrenie formálnej špecifikácie
- Umožňuje štruktúrované vyjadrenie špecifikácie matematickým formalizmom
- Je možné formálne – matematickým dôkazom – overovať vlastnosti špecifikácie
- Operácie sú špecifikované prostredníctvom invariantov, predpokladov a dôsledkov – toto preniklo aj do programovania
- Podpora oddelenia záležitostí – aj pretínajúcich: výsledná operácia sa získa spojením parciálnych operácií
- Jestvujú aj ďalšie formálne prístupy, ktoré však boli ovplyvnené jazykom Z:
  - Object-Z
  - Metóda B (B-Method)
  - Alloy

Literatúra

- J. Woodcock and J. Davies. Using Z: Specification, Refinement, and Proof. Prentice-Hall International Series in Computer Science, 1996. `http://www.usingz.com/`
- J. M. Spivey. The Z Notation: Reference Manual. `http://spivey.oriel.ox.ac.uk/mike/zrm/`