FUNKCIONÁLIS PROGRAMOZÁS

A funkcionális programozás néhány jellemzője

Funkcionális, más néven applikatív programozás

- Funkcionális = függvényalapú, függvényközpontú
- Applikatív = (függvényeket argumentumokra) alkalmazó
- Függvényjel, más néven operátor
- Argumentum, más néven paraméter vagy operandus
- Kifejezés, kiértékelés (más néven egyszerűsítés, redukció), érték

Fő különbségek az imperatív és a funkcionális programozás között

- Változó: frissíthető, ill. nem frissíthető (vö. értékadás, ill. kötés)
- Ismétlés: ciklus, ill. rekurzió (vö. helyesség bizonyítása teljes indukcióval)
- Függvények: függvényeljárás, ill. „tiszta” függvény (vö. mellékhatás, ill. mellékhatás-mentesség)
- Állapotváltozások sorozata, ill. időtlenség, emlékezet nélküliség

Az SML néhány jellemzője

A Standard Meta Language (SML) néhány jellemzője

- Rekurzív típus: lineáris (lista) és nemlineáris (pl. fa)
- Magasabb rendű függvény (argumentuma és/vagy eredménye függvény)
- „Erősen típusos” *(strong typing;* ellenőrzés fordításkor)
- Típuslevezetés *(type derivation)*
- Polimorfizmus (többszörös terheléses és paraméteres)
- Modularitás (szignatúra, struktúra, funktor)
- Absztrakt típus

SML-megvalósítások

- Moscow ML (mosml): `http://www.dina.kvl.dk/~sestoft/mosml.html`
- Poly/ML: debugging! `http://www.polyml.org`
- Standard ML of New Jersey (sml): `http://cm.bell-labs.com/cm/cs/what/smlnj`

TÍPUS ÉS FÜGGVÉNY

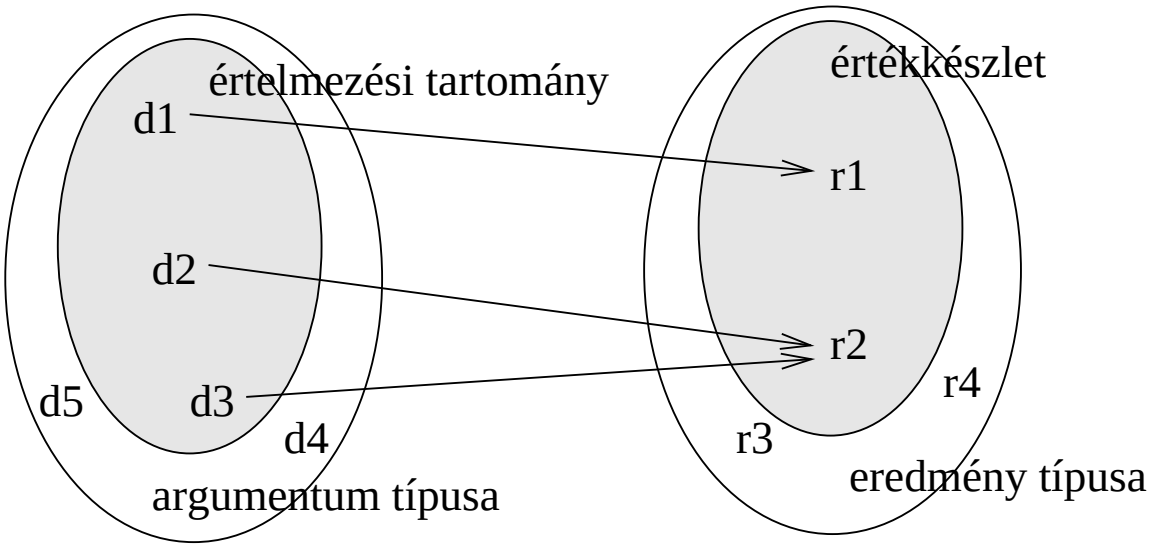
A típus és a függvény fogalma

- A típus fogalma
  - A típus értékek egy halmaza (pl. egész típus ~ az egész számok egy (rész)halmaza)
  - Jelölése az ún. *típuselméletben:* α, β ...
  - Típusállandó (azaz konkrét típus) jelölése az SML-ben: `int`, `real`, `char`, `string` ...
  - Típusváltozó jelölése az SML-ben α, β ... helyett: `'a`, `'b` ...
- A függvény fogalma
  - A függvény valamely D halmaznak valamely R halmazba való olyan *egyértelmű* leképzése, amelyet a (d, r) rendezett párok halmaza ad meg, ahol $d \in D$ és $r \in R$.
  - A d a függvény argumentuma (paramétere), az r az eredménye
  - A D a függvény értelmezési tartománya, az R az értékkészlete
  - A típusos nyelvekben d is, r is *meghatározott* típusú
  - A függvény értelmezési tartománya $\subseteq$ az argumentum típusa
  - A függvény értékkészlete $\subseteq$ az eredmény típusa

A függvény mint érték

- A függvény „teljes jogú”*(first-class)* érték a funkcionális programozási nyelvekben
  - A függvény típusa általában: $\alpha \to \beta$, ahol az α az argumentum, a β az eredmény típusát jelöli
  - A függvény maga is: érték. *Függvényérték.*
  - Fontos: a függvényérték *nem* a függvény egy *alkalmazásának* az eredménye!
  - Példák függvényértékre
    - $\sin$ (a típusa: *valós* $\to$ *valós*)
    - round (a típusa: *valós* $\to$ *egész*)
    - $\circ$ (függvénykompozíció; a típusa: $((\beta \to \gamma) * (\alpha \to \beta)) \to (\alpha \to \gamma)$)
  - Példák függvényalkalmazásra
    - $\mathrm{round}\ 5.4 = 5$, azaz egy *egész* típusú érték az eredménye ennek a függvényalkalmazásnak
    - $\mathrm{round} \circ \sin$ (a típusa: *valós* $\to$ *egész*)
    - $(\mathrm{round} \circ \sin)1.0 = 1$ (a típusa: *egész*)

A függvény mint leképzés



Függvények osztályozása, ill. alkalmazása

- Függvények osztályozása
  - Parciális függvény: értelmezési tartomány $\subset$ argumentum típusa (figyelem: hibák forrása lehet!)
  - Teljes függvény: értelmezési tartomány $=$ argumentum típusa
  - Szürjektív függvény: értékkészlet $=$ eredmény típusa
  - Nem-szürjektív függvény: értékkészlet $\subset$ eredmény típusa
  - Injektív függvény: a leképzés kölcsönösen egyértelmű
  - Az $f : \alpha \to \beta$ injektív függvény inverze: $f^{-1} : \beta \to \alpha$
  - Bijektív = injektív + szürjektív, azaz f bijektív, ha f^{-1} teljes függvény
- Függvények alkalmazása
  - *Függvényalkalmazást* jelöl az f és e jelek egymás mellé írása (*„juxtapozicionálása”*): $f\ e$ azt jelenti, hogy f-et alkalmazzuk e-re.
  - Általánosabban: az fe kifejezésben az e tetszőleges olyan kifejezés, amelynek az értéke az f értelmezési tartományába esik.
  - Még általánosabban: az fe kifejezésben az f függvényértéket adó tetszőleges kifejezés, e pedig tetszőleges olyan kifejezés, amelynek értéke az f értelmezési tartományába esik.

Két- vagy többargumentumú függvények

- Függvény alkalmazása két- vagy több argumentumra
  1. Az argumentumokat *összetett adatnak* – párnak, rekordnak, listának stb. – tekintjük
     - pl. $f(1,2)$ az f függvény alkalmazását jelenti az $(1,2)$ párra,
     - pl. $f[1,2,3]$ az f függvény alkalmazását jelenti az $[1,2,3]$ listára.
  2. A függvényt több egymás utáni lépésben alkalmazzuk az argumentumokra, pl. $f\ 1\ 2 \equiv (f\ 1)\ 2$ azt jelenti, hogy
     - az első lépésben az f függvény alkalmazzuk az 1 értékre, ami egy függvényt ad eredményül,
     - a második lépésben az első lépésben kapott függvényt alkalmazzuk a 2 értékre, így kapjuk meg az $f\ 1\ 2$ függvényalkalmazás (vég)eredményét.
- Az $f\ 1\ 2$ esetben az f függvényt *részlegesen alkalmazható* függvénynek nevezzük.
- A programozó szabadon dönthet, hogy a függvényt részlegesen alkalmazható vagy pl. egy párra alkalmazható formában írja meg. A különbség a szintaxisban van. A részlegesen alkalmazható változat, mint látni fogjuk, rugalmasabban használható.
- Infix jelölés: $x \oplus y \equiv$ a $\oplus$ függvény alkalmazása az (x,y) párra mint argumentumra

FÜGGVÉNYEK AZ SML-BEN

Függvények alkalmazása az SML-ben

- Az SML-ben az `f` és az `e` tetszőleges *név* lehet, amelyeket megfelelően *szeparálni* kell egymástól: `f e`, vagy `f(e)`, vagy `(f)e`
- Szeparátor: nulla, egy vagy több *formázó* karakter (␣, \t, \n stb.). Nulla db formázó karakter elegendő pl. a (előtt és a) után.
- A szeparátor a legerősebb balra kötő infix operátor az SML-ben.
- Példák:

```
Math.sin 1.00 (Math.cos)Math.pi  round(3.17)
2 + 3         (real) (3 + 2 * 5)
```

- Függvények egy csoportosítása az SML-ben
  - Beépített függvények, pl. `+`, `*` (mindkettő infix), `real`, `round` (mindkettő prefix)
  - Könyvtári függvények, pl. `Math.sin`, `Math.cos`, `Math.pi` (0 argumentumú!)
  - Felhasználó által definiálható függvények, pl. `terulet`, `/\`, `head`

SML-példa: Egyszeres Hamming-távolságú ciklikus kód

- A függvényt *táblázattal* adjuk meg:

00	01
01	11
11	10
10	00

```
fn 00 => 01
 | 01 => 11
 | 11 => 10
 | 10 => 00
```

- Változatok („klózok”): minden lehetséges esetre egy változat.
- Az `fn` (olvasd: *lambda*), névtelen függvényt, *függvénykifejezést* vezet be.
- A függvény néhány alkalmazása:
  - `(fn 00 => 01 | 01 => 11 | 11 => 10 | 10 => 00) 10`
  - `(fn 00 => 01 | 01 => 11 | 11 => 10 | 10 => 00) 11`
  - `(fn 00 => 01 | 01 => 11 | 11 => 10 | 10 => 00) 111`
- Mintaillesztés, egyesítés
- Érthető, de nem robusztus (vö. parciális a függvény!).

SML-példa: modulo n alapú inkrementálás

- A függvényt *algoritmussal* adjuk meg (nem táblázattal)
  - `n` nem lehetne változó,
  - túl sok változatot kellene felírni stb.
- `fn i => (i + 1) mod n`
  - az `i` ún. kötött változó, a névtelen függvény argumentuma
  - az `n` ebben a kifejezésben szabad változó, és nincs értéke (!)
  - az `n`-et is le kell kötni mint a függvény argumentumát
- `fn n => fn i => (i + 1) mod n`
- A függvény néhány alkalmazása:
  - `(fn n => (fn i => (i + 1) mod n)) 128 111`
  - `(fn n => (fn i => (i + 1) mod n)) 4 ~7`
  - `(fn n => (fn i => (i + 1) mod n)) 128 6.0` – hiba!

Értékdeklaráció SML-ben: függvényérték deklarálása

- Név kötése függvényértékhez
  - `val incMod = fn n => fn i => (i + 1) mod n`
  - `val kovKod = fn 00 => 01 | 01 => 11 | 11 => 10 | 10 => 00`
- Szintaktikus édesítőszerrel
  - `fun incMod n i = (i + 1) mod n`
  - ```
    fun kovKod 00 = 01
      | kovKod 01 = 11
      | kovKod 11 = 10
      | kovKod 10 = 00
    ```
- Alkalmazásuk argumentumra
  - `incMod 128 111`
  - `kovKod 01`
    ```

Fejkomment

Írjunk *fejkommentet* minden (függvény)érték-deklarációhoz!

- ```
  (* incMod n i = (i+1) modulo n szerint
     PRE: n > i >= 0
  *)
  fun incMod n i = (i+1) mod n
  ```
- ```
  (* kovKod cc = az egyszeres Hamming-távolságú, kétbites,
                 ciklikus kódkészlet cc-t követő eleme
     PRE: cc in 00, 01, 11, 10
  *)
  fun kovKod 00 = 01
    | kovKod 01 = 11
    | kovKod 11 = 10
    | kovKod 10 = 00
  ```


LISTÁK

Lista: definíciók, konstruktorok

- Definíciók
  1. A *lista* azonos típusú elemek véges (de nem korlátos!) sorozata.
  2. A lista olyan *rekurzív* lineáris adatszerkezet, amely azonos típusú elemekből áll, és
     - ◇ vagy üres,
     - ◇ vagy egy elemből és az elemet követő listából áll.
- Konstruktorok
  - ◇ Az üres lista jele a `nil` *konstruktorállandó*. `nil` típusa `'a list`.
  - ◇ A `::` *konstruktoroperátor* új listát hoz létre egy elemből és egy (esetleg üres) listából (infix, 5-ös precedenciájú, jobbra köt, típusa `'a * 'a list -> 'a list`).
  - ◇ A `nil` helyett általában a `[]` jelet használjuk (szintaktikus édesítőszer).
  - ◇ A `::`-ot négyespontnak vagy *cons*-nak olvassuk (vö. *constructor*, ami a függvény hagyományos neve a λ-kalkulusban és egyes funkcionális nyelvekben).

Lista: jelölések, minták

- Példák
  - ◇ Lista létrehozása konstruktorokkal

```
[]          nil          #"" :: nil
3 :: 5 :: 9 :: nil     = 3 :: (5 :: (9 :: nil))
```

  - ◇ Szintaktikus édesítőszer lista jelölésére

```
[3, 5, 9]              =  3 :: 5 :: 9 :: nil
```

  - ◇ Vigyázat! A Prolog listajelölése hasonló, de vannak lényeges különbségek:

SML	Prolog		SML	Prolog	
`[]`	`[]`	azonos	`(x::xs)`	`[X|Xs]`	különböző
`[1,2,3]`	`[1,2,3]`	azonos	`(x::y::ys)`	`[X,Y|Ys]`	különböző

- Minták

  A `[]`, `nil` konstruktorállandóval és a `::` konstruktoroperátorral felépített kifejezések, valamint a `[x1, x2, ..., xn]` listajelölés mintában is alkalmazhatók.