HASKELL

Tartalom – 1

1. előadás

- Bevezetés
- A Haskell mint funkcionális nyelv
  - típusok és értékek
  - függvények és operátorok
  - adatkonstruktorok tulajdonságai
  - mintaillesztés, őrök
  - vezérlési szerkezetek
  - a forráskód beosztása
- A Haskell mint lusta nyelv
  - végtelen adatszerkezetek
  - listák építése

Tartalom – 2

2. előadás

- A Haskell mint lusta nyelv (folyt.)
  - futási hiba jelzése (fenékérték)
  - szigorú kiértékelés kikényszerítése
- A típusnyelv kiterjesztése
  - típusosztályok, többszörös terhelés
  - beépített típusosztályok
  - származtatás

Tartalom – 3

3. előadás

- A típusnyelv kiterjesztése (folyt.)
  - számok kezelése
  - Peano-számok megvalósítása
  - többargumentumú típusosztályok
- A Haskell modulnyelve

4. előadás

- „Imperatív” elemek a Haskellben
  - hibakezelés
  - állapotkezelés
  - állapotkezelés hibakezeléssel kombinálva

Tartalom – 4

5.-6. előadás

- „Imperatív” elemek a Haskellben (folyt.)
  - monádok
  - a `do` jelölés
  - imperatív stílusú programozás
  - monádok aritmetikája
  - a lista mint monád
  - a `Monad` könyvtár
  - ki- és bevitel

Ajánlott olvasmány

- „A Haskell programozó evolúciója” (Fritz Ruehr)

BEVEZETÉS

Bevezetés

A Haskell eredete

- *Haskell* Brooks Curry matematikus tiszteletére (v.ö. *curry* és *uncurry*)
- 1987: az első Haskell – cél: egy szabványos, lusta kiértékelésű, tisztán funkcionális nyelv
- 1999: Haskell 98 – lényegében azonos a Haskell 1.4-gyel

Interaktív környezetek

- Hugs – kicsi és gyorsan fordít, tanuláshoz ideális
- GHC – nagyobb, sok kiegészítővel, nagyon gyors kódot fordít

Források, irodalom

- Haskell.org
- A Gentle Introduction to Haskell (Paul Hudak, John Peterson, Joseph H. Fasel)
  `http://www.haskell.org/tutorial`
- Haskell 98 Report & Library Report
  `http://www.haskell.org/onlinereport`

A HASKELL MINT FUNKCIONÁLIS NYELV

Típusok és értékek – 1

Szintaktika

- névadás egyenlet formájában: `név = érték`
- Church-féle típusmegkötés: `név|érték [, név|érték...] :: típus`
- a típus- és adatkonstruktorok nagybetűvel kezdődnek, és prefix pozícióban állnak

Egyszerű típusok

- logikai értékek: `True :: Bool`
- egész számok
  - korlátos: `5 :: Int`
  - „BigNum”: `9087893264590326459873264958192809 21 :: Integer`
- lebegőpontos számok
  - egyszeres pontosságú: `2.71828 :: Float`
  - dupla pontosságú: `3.14159 :: Double`
- karakterek: `'c' :: Char`

Típusok és értékek – 2

Összetett (polimorf) típusok

- listák: `3:6:1:2:[] == ([3,6,1,2] :: [Integer])`
- füzérek: `"haskell" == (['h','a','s','k','e','l','l'] :: [Char])`
- ennesek: `('a', 1.23, True) :: (Char, Double, Bool)`
- függvények: `take :: Int -> [a] -> [a]`

Felhasználói típusok

- típusszinonima
  - meglévő (összetett) típusok rövid neve
  - a típusnév bárhol felcserélhető a definíciójával
  - `type String = [Char]`
- típuskonstruktor
  - új típust hoz létre
  - mintaként illeszthető
  - `data Bool = True | False`
  - `data Tree a = Leaf | Node a (Tree a) (Tree a)`

Típusok és értékek – 3

Beépített típuskonstruktorok

- rendezettség: `data Ordering = LT | EQ | GT`
- feltételes típus: `data Maybe a = Nothing | Just a`
- diszjunktív unió: `data Either a b = Left a | Right b`

Felhasználói típusok (folyt)

- fedőtípus
  - a típusszinonimához hasonlóan egy meglévő típus átnevezése
  - a típusszinonimától eltérően, de a típuskonstruktorhoz hasonlóan:
    - új típust hoz létre
    - adatkonstruktora mintaként illeszthető
  - *nincs plusz memóriaigény, csak a típusellenőrzéskor van szerepe*
  - `newtype Natural = Natural Integer`
  - `Natural 15 :: Natural`

Típusok és értékek – 4

Felhasználói típusok (folyt)

- mezőnevek
  - egy adatkonstruktor argumentumai elnevezhetők (v.ö. rekord)
  - `data Tree a = L | N { value :: a,`
    `left :: Tree a,`
    `right :: Tree a }`
  - adatstruktúra megadása, mintaillesztés:
    - `N 1 L L`
    - `N { value = 1, left = L, right = L }`
  - kiválasztó függvények:
    - `value :: Tree a -> a`
    - `left, right :: Tree a -> Tree a`
    - `value (N 1 L L) == 1`
    - a hibás használat csak futási időben derül ki: `value L`
  - értékfelülírás: `(N 1 L L) { value = 2 } == N 2 L L`

Függvények és operátorok – 1

Lambda függvények

- `\arg1 [arg2 ...] -> törzs`
- `\x -> \y -> x+y`
- `\x y -> x+y`

Nevesített függvények

- a típusmegkötés explicit módon megadható
- általában *curried* (kaszkádosított, részlegesen alkalmazható) alakúak (ld. operátorok)
-
```
-- add x y = x és y összege
add     :: Integer -> Integer -> Integer
add x y = x+y
-- ugyanaz, mint: add = \x y -> x+y
```

Operátorok

- kétargumentumú, *curried* (kaszkádosított, részlegesen alkalmazható) függvények
- ha a függvény neve *szimbólumokból* áll, akkor operátor, ha *alfanumerikus,* akkor prefix függvény

Függvények és operátorok – 2

Operátorok (folyt)

- az operátorok prefix alakja: `(+) = \x y -> x+y`
- `(.) :: (b -> c) -> (a -> b) -> (a -> c)`
  `f . g = \x -> f (g x)`
- `f . g x = f (g x)` szintaktikusan hibás! (v.ö. *kétargumentumú*)
- szeletek (sections): az operátorok is részlegesen alkalmazhatók
  - `(x+)` ≡ `\y -> x+y` és `(x-)` ≡ `\y -> x-y`
  - `(+y)` ≡ `\x -> x+y` de `((-)y)` ≡ `\x -> x-y`
- `` `f` `` a függvények infix alakja, pl. `3 `add` 4 == 5`
- kötés megadása
  - balra kötő: `infixl 6 *`
  - jobbra kötő: `infixr 3 &&`
  - nem kötő: `infix 4 /=`
  - alapértelmezés: `infixl 9`

Adatkonstruktorok tulajdonságai

Infix adatkonstruktorok

- a nevük csak szimbólumokból áll, és kettősponttal kezdődik
- ugyanúgy van precedenciájuk, mint az infix függvényeknek
- pl. tört definiálása:
  - `data Fraction = Integer :/ Integer`
  - `3 :/ 5 :: Fraction`

Adatkonstruktorok mint függvények

- az adatkonstruktorok függvényként is használhatók
- `map Just [1,2] == ([Just 1, Just 2] :: [Maybe Integer])`
- ez igaz az ennesre is!
  - `(,) True 'x' == (True, 'x')`
  - `(,,) "ok" 2 :: a -> (String, Integer, a)`

Mintaillesztés, őrök

Mintaillesztés

- bármely adatkonstruktor használható mintában
- alternatív mintákat több egyenlettel adunk meg
- _ : univerzális minta, mindenesjel, mindenre illeszkedik
- réteges minta: *név @ minta*
-
```
take            :: Int -> [a] -> [a]
take 0 _        = []
take _ []       = []
take n (x:xs)   = x : take (n-1) xs
```

Őrök

- nem minden eset választható szét mintákkal
- őr = a klóztörzs kiértékelhetőségének feltétele
-
```
compare x y | x == y     = EQ
            | x <= y     = LT
            | otherwise  = GT
```

Vezérlési szerkezetek – 1

Esetszétválasztás

- mintaillesztéses esetszétválasztás

```
take       :: Int -> [a] -> [a]
take m xs = case (m,xs) of
            (0,_)     -> []
            (_,[])    -> []
            (m,x:xs) -> x : take (m-1) xs
```

- feltételes kifejezés
  - `max x y = if x >= y then x else y`
  - szintaktikus édesítőszer: `if e then e1 else e2` ekvivalens alakja:

```
case e of
  True  -> e1
  False -> e2
```

Vezérlési szerkezetek – 2

Lokális érvényű deklarációk

- let-kifejezés
  - a deklarációk egy *kifejezésen* belül érvényesek
  -
```
distance (x1,y1) (x2,y2) = let xd = x1-x2
                               yd = y1-y2
                           in sqrt(xd*xd + yd*yd)
```
- where-deklaráció
  - a deklarációk egy (esetleg több őrzött esetből álló) *deklaráción* belül érvényesek
  - tipikusan segédfüggvény definiálásakor használjuk
  -
```
gcd x y = gcd' (abs x) (abs y)
          where gcd' x 0 = x
                gcd' x y = gcd' y (x `rem` y)
```

A forráskód beosztása (layout)

Mi választja el az egyes deklarációkat, kifejezéseket egymástól? Ekvivalens-e a következő két kifejezés:

```
let y   = a*b
    f x = (x+y)/y
in f c + f d
```

```
let y   = a*b f
    x   = (x+y)/y
in f c + f d
```

A válasz: nem. A jelentés a *beosztástól* (layout) függ. A forráskód kétdimenziós elrendezésű:

- alapvetően intuitív, könnyen olvasható;
- a `where`, `let`, `of` kulcsszók utáni első nemszóköz karakter határozza meg a deklarációk, ill. minták kezdőoszlopát;
- egy *beágyazott* blokk kezdőoszlopa mindig beljebb legyen, mint a *beágyazó* blokké;
- egy deklarációnak, kifejezésnek vége, ha valami a blokk kezdőoszlopától balra kezdődik.

A tagolás *explicit* módon is megadható: `{ ; }`, pl. ha több deklarációt szeretnénk egy sorba írni.

```
let { y   = a*b
    ; f x = (x+y)/y
    }
in f c + f d
```

```
let y = a*b; f x = (x+y)/y
in f c + f d
```

A HASKELL MINT LUSTA NYELV

Kérdés

Mi a különbség a *függvényértékek* és az *egyéb értékek* között?

Válasz

Semmi!

egyéb érték = argumentum nélküli függvény

Végtelen adatszerkezetek

Deklaráció

- egyesek végtelen listája: `ones = 1 : ones`
- egészek n-től felfelé: `upFrom n = n : upFrom (n+1)`
- négyzetszámok: `squares = map (^2) (upFrom 0)`
- Fibonacci sorozat – 1. változat

```
fib = 1 : 1 : fib +: (tail fib)
    where (x:xs) +: (y:ys) = x+y : xs +: ys
```

- Fibonacci sorozat – 2. változat

```
fib @ (_:tfib) = 1 : 1 : zipWith (+) fib tfib
```

Felhasználás

- `take 5 ones == [1,1,1,1,1]`
- `take 7 squares == [0,1,4,9,16,25,36]`
- `take 10 fib == [1,1,2,3,5,8,13,21,34,55]`

Listák építése – 1

Listanézet (List Comprehension)

- a listaépítés és -transzformálás tömör, kifejező formája
- lefedi a `map` és a `filter` függvényeket, és még sokkal többet
- általános alak: `[ elemkif | minta <- listakif, őrkif, ... ]`
- `map f xs = [ f x | x <- xs ]`
- `filter p xs = [ x | x <- xs, p x ]`
- összes lehetséges pár (Descartes-szorzat):

```
cartesian       :: [a] -> [b] -> [(a,b)]
cartesian xs ys = [ (x,y) | x <- xs, y <- ys ]

cartesian [1,2] ['a','b'] == [(1,'a'),(1,'b'),(2,'a'),(2,'b')]
```

- gyorsrendezés – a lehető legtömörebben

```
quicksort []     = []
quicksort (x:xs) =     quicksort [ y | y <- xs, y <  x ] ++
                     x : quicksort [ y | y <- xs, y >= x ]
```

Listák építése – 2

Listanézet (folyt)

- Fibonacci sorozat – 3. változat

```
fib = 1 : 1 : [ a+b | (a,b) <- zip fib tfib ]
    where _:tfib = fib
```

Számtani sorozatok

- számtani sorozat függvénnyel

```
fromThenTo n n' m = nn'm
    where nn'm  = takeWhile p (n : map ((n'-n) +) nn'm)
          p | n' >= n   = (m >=)
            | otherwise = (m <=)

fromThenTo 1 3 10 == [1,3,5,7,9]
```

- számtani sorozat szintaktikai édesítőszerrel
  - `[3..15] == [3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]`
  - `['a','c'..'f'] == "ace"`
  - `[0.0, 1.1..]` $\Longrightarrow$ `[0.0, 1.1, 2.2, 3.3, ...]` végtelen lista

Futási hiba jelzése – 1 (Fenékérték – 1)

1. próbálkozás

- `bot = bot`
- Mi a típusa? `bot :: a`
- ha kiértékeljük, végtelen ciklusba esünk

2. próbálkozás

- `bot | False = bot`
- Mi a típusa? `bot :: a`
- ha kiértékeljük, futási hibát kapunk
- jelölése: $\perp$ (ejtsd: *fenékérték* vagy bottom)
- az okozott hiba *fatális,* a program leáll
- ha nem értékeljük ki, nem okoz gondot: `(\x -> 1) bot == 1`
- a Standard Prelude-ben `undefined`-nak hívják

Futási hiba jelzése – 2 (Fenékérték – 2)

Hibajelzés

- $\perp$ visszaadása: jó, de nem túl „bőbeszédű”
- `error` hibajelző függvény
  - `error :: String -> a`
  -
    ```
    head        :: [a] -> a
    head (x:_)  = x
    head []     = error "head{PreludeList}: head []"
    ```
  - szemantikai értelemben az `error` függvény értéke $\perp$

Szigorú kiértékelés kikényszerítése

Szigorú adatkonstruktorok

- általában előfordulhat, hogy egy adatszerkezet egy részét soha nem értékeljük ki

```
fst ("ok", undefined) == "ok"
```

- időnként szemantikailag indokolt lehet csak teljesen kiértékelhető struktúrák megengedése

```
data Fraction = !Integer :/ !Integer
(\(x :/ y) -> x) (1 :/ undefined) ⟹ undefined
```

- növeli a hatékonyságot

Szigorú kiértékelés

- `f $! x` hívás `x` *legfelső szintjét* kiértékeli, és alkalmazza rá `f`-et
- `(\x -> 1) undefined == 1`
- `(\x -> 1) $! undefined` ⟹ `undefined`
- `(\x -> 1) $! (undefined, undefined) == 1`

A TÍPUSNYELV KITERJESZTÉSE

Típusosztályok, többszörös terhelés – 1

A polimorfizmus változatai

- **Paraméteres ~**: ez a „megszokott”, típusváltozót használó. Az elvégzendő művelet mindig *ugyanaz,* nem (teljesen) használja ki az argumentum típusát.
- **Ad-hoc ~**: közismertebb néven többszörös terhelés vagy overloading. Itt csak a szintaktika azonos, a számítás teljesen különböző lehet minden típusra. Például
  - az 1, 2, ... állandók jelenthetnek egész és lebegőpontos számokat is
  - az aritmetikai operátorok, pl. a + vagy a * sokféle számtípuson működnek
  - az egyenlőségvizsgáló operátorok, pl. az == és a /= nagyon sokféle típusra működnek
- Jó hír:
  - a Haskellben a felhasználó is definiálhat többszörösen terhelt függvényeket, sőt,
  - a meglévő, többszörösen terhelt függvényeket *kiterjesztheti újabb típusokra*.
- Mi a `member_of` függvény típusa?

```
x `member_of` []     = False
x `member_of` (y:ys) = x == y || x `member_of` ys
```

Nem egyszerűen `a -> [a] -> Bool`!

Típusosztályok, többszörös terhelés – 2

Típusosztály, példány, kontextus

- egy típus *példánya* egy *típusosztálynak,* ha a típushoz tartozó értékekre alkalmazható a típusosztályba tartozó összes függvény
- például: egyenlőségi osztály

```
class Eq a where (==), (/=) :: a -> a -> Bool
```

- `Eq a` fejezi ki azt a *kényszert,* hogy az `a` típusnak az `Eq` osztály egy példányának kell lennie
- egy típuskifejezésre vonatkozó kényszert (pl. `Eq a`) a kifejezés *kontextusának* nevezünk
- `(==) :: Eq a => a -> a -> Bool`
- ez alapján: `member_of :: Eq a => a -> [a] -> Bool`
- példányosítás:

```
data Fraction = !Integer :/ !Integer
instance Eq Fraction where
    (a:/b) == (x:/y) = a*y == x*b

(3 :/ 5 == 6 :/ 10) == True
```

Típusosztályok, többszörös terhelés – 3

További kontextusok

- lehet (kell, hogy legyen) kontextusa a példányosításnak:

```
data Tree a = Leaf | Node a (Tree a) (Tree a)
instance Eq a => Eq (Tree a) where
    Leaf           == Leaf           = True
    Node v1 l1 r1  == Node v2 l2 r2  = (v1,l1,r1) == (v2,l2,r2)
    _              == _              = False
```

- lehet saját kontextusa az egyes *metódusoknak:*

```
class MyClass a where method :: Eq b => b -> b -> a
```

Alapértelmezett metódusmegvalósítás

-
```
class Eq a where
    (==), (/=) :: a -> a -> Bool

    -- Minimal complete definition: (==) or (/=)
    x == y      = not (x/=y)
    x /= y      = not (x==y)
```

Típusosztályok, többszörös terhelés – 4

Öröklődés

- a típusosztályok *öröklődés* útján kiterjeszthetők
-
```
class Eq a => Ord a where
    compare                  :: a -> a -> Ordering
    (<), (<=), (>=), (>)     :: a -> a -> Bool
    max, min                 :: a -> a -> a

    compare x y | x==y      = EQ
                | x<=y      = LT
                | otherwise = GT
```
- a kontextusban elegendő az *alosztályt* megadni, az *ősosztály* kiírása redundáns

```
quicksort :: Ord a => [a] -> [a]
```

- a többszörös öröklődés megengedett, de a szokásos problémák nem jönnek elő, mivel egy név csak egy osztályba tartozhat, azaz átfedés eleve nem lehet

```
class (A a, B a) => C a where ...
```

Típusosztályok, többszörös terhelés – 5

Típuskonstruktorok osztályai

- egy típusosztály nemcsak típusállandók, hanem típuskonstruktorok osztálya is lehet
- ```
  class Functor f where
      fmap :: (a -> b) -> (f a -> f b)
  ```
  Itt `f` egy típuskonstruktor.
- ```
  instance Functor Tree where
      fmap f  Leaf         = Leaf
      fmap f (Node v l r) = Node (f v) (fmap f l) (fmap f r)

  instance Functor [] where
      fmap = map

  instance Functor Maybe where
      fmap f Nothing  = Nothing
      fmap f (Just x) = Just (f x)
  ```

Beépített típusosztályok – 1

- `Eq a`, `Eq a => Ord a` és `Functor f` már ismert
- korlátossági osztály

```
class Bounded a where
    minBound, maxBound :: a
```

- enumerációs osztály számtani sorozatok létrehozásához

```
class Enum a where
    succ, pred          :: a -> a
    toEnum              :: Int -> a
    fromEnum            :: a -> Int
    enumFrom            :: a -> [a]              -- [n..]
    enumFromThen        :: a -> a -> [a]         -- [n,m..]
    enumFromTo          :: a -> a -> [a]         -- [n..m]
    enumFromThenTo      :: a -> a -> a -> [a]    -- [n,n'..m]
```

- *monadikus* osztály: `Monad`, lásd később
- számosztályok, lásd később

Beépített típusosztályok – 2

A `Show` típusosztály

- értékek füzérré alakítására szolgál (kiíráshoz)
- `show (2,'a') == "(2,'a')"`
- fa kiírása:

```
showTree                :: Show a => Tree a -> String
showTree Leaf           = "<>"
showTree (Node v l r)   = "<" ++ showTree l ++ "|" ++
                                  show v    ++ "|" ++
                                  showTree r ++ ">"
```

Ezzel az a gond, hogy a költsége négyzetes, mivel ++ költsége arányos a lista hosszával.

- fa kiírása gyűjtőargumentummal:

```
showsTree               :: Show a => Tree a -> String -> String
showsTree Leaf          = ("<>"++)
showsTree (Node v l r)  = ('<':) . showsTree l . ('|':) .
                                  shows v     . ('|':) .
                                  showsTree r . ('>':)
```

Beépített típusosztályok – 3

A `Show` típusosztály (folyt)

- *hozzáíró függvény* (showing function): `type ShowS = String -> String`
- primitív hozzáíró függvények: `('|':)`, `("<>"++)`
- `showsTree` fából hozzáíró függvényt állít elő

```
showsTree :: Show a => Tree a -> ShowS
```

-
```
class Show a where
    show      :: a -> String
    showsPrec :: Int -> a -> ShowS
    showList  :: [a] -> ShowS
```

- `showsPrec` első argumentuma a különböző precedenciaszintek kezelésére használható
- `showList` azért, hogy a lista a szokásostól eltérő alakban is megjelenhessen, ld. `String`
-
```
instance Show a => Show (Tree a) where
    showsPrec _ = showsTree
```

-
```
instance Show a => Show [a]  where
    showsPrec _ = showList
```

Származtatás

Típusosztály példányainak automatikus származtatása

- bizonyos típusosztályok példányainak megírása unalmas, mechanikus munka
- az ilyen osztályok példányai automatikusan előállíthatók
-
```
data Tree a = Leaf | Node a (Tree a) (Tree a)
              deriving (Eq, Ord, Show)
```
- `Eq` származtatása: az intuíciónak megfelelő
- `Ord` származtatása: lexikografikus sorrend, balról jobbra
- `Show` származtatása: a Haskell szintaktikának megfelelő kiírás

Számok kezelése – 1

A Haskell által ismert, beépített számtípusok

- véges és korlátlan egészek
- egész típusokból képzett *arányok,* racionális számok
- egyszeres és dupla pontosságú, valós és komplex lebegőpontos számok

Ezek a típusok az átjárhatóság kedvéért *típusosztályok hierarchiájába* vannak szervezve.

A `Num` osztály

- minden számosztály őse
- azokat a műveleteket adja, amelyeknek minden számra értelmesnek kell lennie
- ha egy típus a példánya, akkor alapvető aritmetikai műveletek már végezhetők az értékein
-
```
class (Eq a, Show a) => Num a where
    (+), (-), (*)   :: a -> a -> a
    negate          :: a -> a        -- the '-' prefix operator
    abs, signum     :: a -> a
    fromInteger     :: Integer -> a
    fromInt         :: Int -> a
```

Számok kezelése – 2

Az `Integral` osztály

- egész számok ábrázolására
- példányai az `Int` és `Integer` típusok
-
```
class (Real a, Enum a) => Integral a where
    quot, rem, div, mod :: a -> a -> a
    quotRem, divMod     :: a -> a -> (a,a)
    even, odd           :: a -> Bool
    toInteger           :: a -> Integer
    toInt               :: a -> Int
```

A `Fractional` osztály

- törtek és lebegőpontos számok ábrázolására szolgáló ősosztály
-
```
class (Num a) => Fractional a where
    (/)          :: a -> a -> a
    recip        :: a -> a
    fromRational :: Rational -> a
    fromDouble   :: Double -> a
```

Számok kezelése – 3

A `Floating` osztály

- a `Fractional` osztály leszármazottja
- lebegőpontos számok ábrázolására
- példányai a `Float` és `Double` típusok
- metódusai szögfüggvények és -konstansok

Arányok ábrázolása

- a `Fractional` osztály példánya a `Ratio` típus
- az `Integral` osztály példányaiból képes arányokat létrehozni
- *absztrakt adattípus* az arányok ábrázolásához:

```
data Integral a => Ratio a = !a :% !a deriving (Eq)
```

- típusszinonima a racionális számokhoz: `type Rational = Ratio Integer`
- absztrakt adattípus, ezért a `:%` adatkonstruktor nem látszik ki

```
(%) :: Integral a => a -> a -> Ratio a
3 % 6 ⟹ 1 % 2
```

Számok kezelése – 4

Kényszerítők és többszörösen terhelt konstansok

- számok konverziójára több többszörösen terhelt *kényszerítő* (coercion) függvény szolgál
-
```
fromInteger  :: (Num a) => Integer -> a
fromRational :: (Fractional a) => Rational -> a
toInteger    :: (Integral a) => a -> Integer
toRational   :: (RealFrac a) => a -> Rational
fromIntegral :: (Integral a, Num b) => a -> b
fromRealFrac :: (RealFrac a, Fractional b) => a -> b
```

  ahol

```
fromIntegral =  fromInteger . toInteger
fromRealFrac =  fromRational . toRational
```

- a Haskell kettőt közülük implicit konverzióra használ a számkonstansok polimorffá tételéhez
  - Egy egész szám (tizedespont nélkül) ekvivalens a `fromInteger` implicit alkalmazásával
  - Ezért pl. a 3 típusa `(Num a) => a` (v.ö. `fromInteger` eredményével)
  - Egy decimális szám (tizedesponttal) ekvivalens a `fromRational` implicit alkalmazásával
  - Ezért pl. a 3.0 típusa `(Fractional a) => a` (v.ö. `fromRational` eredményével)

Számok kezelése – 5

Kényszerítők és többszörösen terhelt konstansok (folyt.)

- típusmegkötéssel megadhatjuk egy polimorf számkonstans típusát
  - `3 :: Int` $\Longrightarrow$ `3`
  - `3 :: Integer` $\Longrightarrow$ `3`
  - `3 :: Double` $\Longrightarrow$ `3.0`
  - `3 :: Float` $\Longrightarrow$ `3.0`
  - `3 :: Rational` $\Longrightarrow$ `3 % 1`
  - `3.0 :: Double` $\Longrightarrow$ `3.0`
  - `3.0 :: Float` $\Longrightarrow$ `3.0`
  - `3.0 :: Rational` $\Longrightarrow$ `3 % 1`
- polimorf típus csak kontextussal adható meg számkonstanshoz
  - `3 :: Num a => a`
  - `3.0 :: Fractional a => a`
  - `3 % 5 :: Integral a => Ratio a`

Számok kezelése – 6

Konverziós függvények

- decimális szám konverziós függvényekkel alakítható át egésszé
  - `round 3.5` $\Longrightarrow$ `4`
  - `truncate 3.5` $\Longrightarrow$ `3`
  - `floor 3.5` $\Longrightarrow$ `3`
  - `ceiling 3.5` $\Longrightarrow$ `4`

Peano-számok megvalósítása – 1

Az adattípus deklarációja

```
data Peano = Zero | Succ Peano
               deriving (Eq, Ord, Show)
```

A Num osztályba tartozás

```
instance Num Peano where
    Zero   + m            = m
    Succ n + m            = n + Succ m

    n      - Zero         = n
    Succ n - Succ m       = n - m
    Zero   - m            = error "Peano.(-): negative number"

    abs                   = id
    signum Zero           = 0 -- a Haskell válasza mégis Zero lesz!
    signum n              = 1 -- erre meg Succ Zero! Magyarázd meg!

    fromInteger 0         = Zero
    fromInteger n | n > 0 = Succ (fromInteger (n-1))
```

Peano-számok megvalósítása – 2

Az `Integral` osztályba tartozás előkészítése

```
instance Real Peano where
    toRational            = toRational . toInteger
```

A `toInteger` függvényt az `Integral` osztály specifikálja. A Haskell lusta kiértékelése miatt használhatjuk fel előre `toInteger Peano`-példányát, amelyet majd később definiálunk.

```
    toInteger  :: Integral a => a -> Integer
    toRational :: Real a     => a -> Rational
```

A fenti definícióban `toInteger` egy, az `Integral` osztályba tartozó (`Int`, `Integer` vagy `Peano` !) típusú értékből egy `Integer` típusú értéket állít elő.
A fenti definíció jobb oldalán `toRational` ebből az értékből, amelynek típusa egyúttal a `Real` osztályba is beletartozik, egy `Rational` ≡ `Ratio Integer` típusú értéket állít elő, azaz olyat, amelynek a számlálója és a nevezője is `Integer` típusú.

Peano-számok megvalósítása – 3

Az `Integral` osztályba tartozás előkészítése (folyt.)

```
instance Enum Peano where
    succ n                  = Succ n

    pred  Zero              = error "Peano.pred: negative number"
    pred (Succ n)           = n

    toEnum                  = fromInteger . toInteger
    fromEnum                = fromInteger . toInteger
```

A két definíció azonos, de ez csak a látszat! Azt, hogy `fromInteger` és `toInteger` melyik példányát kell itt alkalmazni, `toEnum` és `fromEnum` `Enum` osztálybeli specifikációjából vezethető le:

```
    toEnum                 :: Int -> a
    fromEnum               :: a -> Int

    toInteger   :: Integral a => a -> Integer
    fromInteger :: Num a => Integer -> a
```

Az `Enum` osztály többi függvényének van alapértelmezett megvalósítása. Ha a hatékonyság cél lenne, külön meg kellene őket valósítani.

Peano-számok megvalósítása – 4

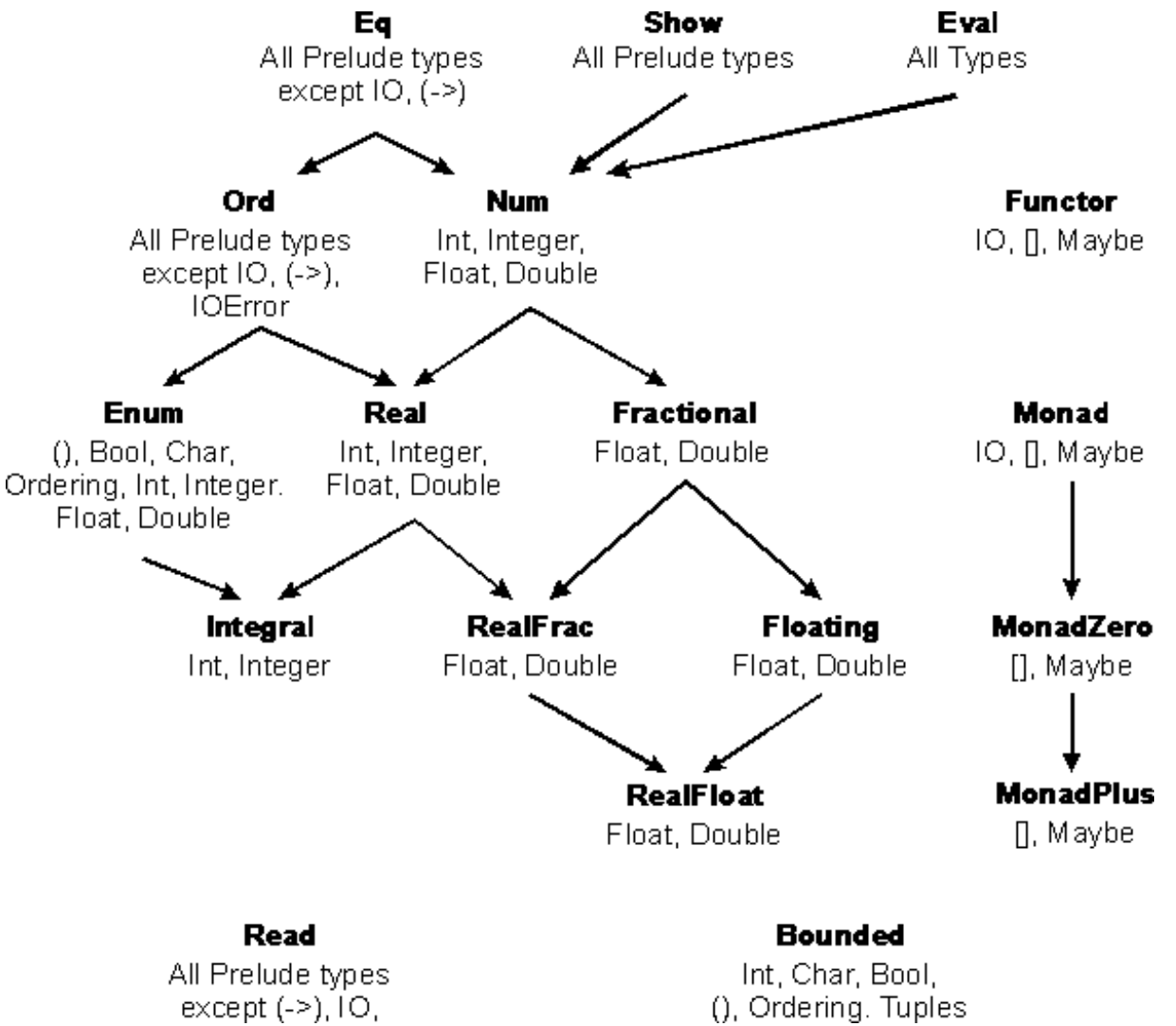
Az `Integral` osztályba tartozás

```
instance Integral Peano where
    n `quotRem` Zero        = error "Peano.quotRem: division by zero"
    n `quotRem` d           = qR n d Zero n
        where qR  Zero      Zero     q r = (Succ q, Zero)
              qR  Zero      d        q r = (q, r)
              qR  n         Zero     q r = qR n d (Succ q) n
              qR (Succ n) (Succ d) q r = qR n d q r

    toInteger Zero          = 0
    toInteger (Succ n)      = 1 + toInteger n
```

A többi metódus vissza van vezetve a `quotRem` függvényre.

Típusosztályok hierarchiája



Többargumentumú típusosztályok – 1

Haskell 98

- többargumentumú függvények
- többargumentumú adatkonstruktorok
- többargumentumú típuskonstruktorok
- *egy*argumentumú típusosztályok

A típusosztályoknak is lehessen több *típus*argumentuma!

Ez *nem* része a Haskell 98 szabványnak, de több interpreterben (Hugs, GHC) megtalálható kiegészítésként.

Definiálás, alkalmazás

- Tfh. szeretnénk egy *gyűjtő* osztályt:

```
class Collects e ce where ...
```

- felhasználási lehetőségek:

```
instance Eq e => Collects e [e] where ...
instance Eq e => Collects e (e -> Bool) where ...
instance Collects Char BitSet where ...
```

Többargumentumú típusosztályok – 2

Többértelműségi probléma

- ```
  class Collects e ce where
      empty  :: ce
      insert :: e -> ce -> ce
      member :: e -> ce -> bool
  ```
- problémák:
  - a típusellenőrzés túl szigorú:

    ```
    empty :: Collects e ce => ce
    ```

    Az `e` típusváltozó nem határozható meg!
  - a típus nem eléggé szigorú:

    ```
    f x y = insert x . insert y
    f True 'a' :: (Collects Bool c, Collects Char c) => c -> c
    ```

    Csak futási idejű hibát okoz!
    ```

Többargumentumú típusosztályok – 3

Típuskonstruktorok osztálya

- ```
  class Collects e c where
      empty  :: c e
      insert :: e -> c e -> c e
      member :: e -> c e -> bool
  ```
- megoldott problémák:
  - `empty :: Collects e c => c e` nem többértelmű
  - `f :: (Collects e c) => e -> e -> c e -> c e` nem engedi meg az `f True 'a'` jellegű felhasználást
- `instance Collects e [] where ...`
- rossz hír: a másik két felhasználási ötlet nem működik, `e -> Bool` és a `BitSet` nem típuskonstruktorok
  ```

Többargumentumú típusosztályok – 4

Explicit típusfüggőség

- az osztály egyes típusparaméterei egyértelműen meghatároznak másokat
- *függőségek* megadásával írható le
- általános alak: `x1 x2 ... xn -> y1 y2 ... ym`, $n > 0, m \geq 0$
- egy osztályhoz több függőség is megadható
- `class Collects e ce | ce -> e where ...`
- redundáns, nem megengedett függőségek:
  - `a -> a`
  - `a -> a a`
  - `a ->`
  - `a -> b, b -> c, a -> c`
- korlátozza a példányosítást
- megoldja a felmerült problémákat

Többargumentumú típusosztályok – 5

Típusnyelvi programozás

- írhatunk programot a típusellenőrzőre
- „adataink” típusok, nem értékek
- Prologszerű számítási modell
- példa: számábrázolás és műveletek

```
data Zero
data Succ n
type One = Succ Zero; type Two = Succ One

zero = undefined :: Zero; one = undefined :: One

class Add a b c | a b -> c where
    add :: a -> b -> c
instance              Add  Zero    b  b
instance Add a b c => Add (Succ a) b (Succ c)

add one one :: Succ (Succ Zero)
```

A HASKELL MODULNYELVE

A Haskell modulnyelve – 1

- egy Haskell program modulokból épül fel
- kettős cél:
  - névtér felosztása
  - absztrakt adattípusok létrehozása
- a modul törzse deklarációkból áll
- a modulnév alfanumerikus és nagybetűvel kezdődik
- a modulok és az állományok között nincs szigorú kapcsolat (egy modul több fájlban, egy fájlban több modul megengedett)
- általános alak: `module` *`Modulnév`* `(`*`exportlista`*`) where` *`deklarációk`*
- az exportlista elhagyható, ilyenkor minden kilátszik
-
```
module Tree ( Tree(Leaf,Node), isLeaf ) where
data Tree a = Leaf | Node a (Tree a) (Tree a)
            deriving (Eq, Ord, Show)
isLeaf      :: Tree a -> Bool
isLeaf Leaf = True
isLeaf _    = False
```

A Haskell modulnyelve – 2

- `Tree(Leaf,Node)` helyett írható `Tree(..)`
- megengedett az adatkonstruktorok csak egy részét exportálni
- szabad *tovább*exportálni importált neveket
- importálás:
  - `import` *`Modulnév`* `(`*`importlista`*`)`
  - csak a modul legelején állhat
  - az importlista elhagyható, ilyenkor minden exportált nevet importál
- minősített nevek: *`Modulnév.név`*
- importálás „megnyitás” nélkül: `import qualified` *`Modulnév`*
- explicit elrejtés: `import Tree hiding isLeaf`
- átnevezés: `import Tree as T`
- `Prelude` implicite importált, de explicit importálással felülbírálható:
  `import qualified Prelude as P hiding length`
- típusosztályok *példányai* automatikusan exportálódnak és importálódnak

„IMPERATÍV” ELEMEK A HASKELLBEN

Monádok – mottó

Carsten jelenleg Leibniz műveit tanulmányozza, kiváltképp a híres **monadológia** érdekli. Most is csak ez járt a fejében.

– Mindannyian csak **monádok** vagyunk, ahogy körülöttünk a világ is – közölte zavartan.

Teát ittunk, es én igyekeztem megnyugtatni Carstent.

– Az életet nem lehet elméletekbe csomagolni. Én például büszke vagyok rá, hogy **monád** vagyok. Igen, miért is ne?

Kinéztünk az ablakon: nyugaton egy nagy, kerek, tűzpiros **monád** olvadt össze a horizonttal, keleten egy másik, sárga színű, tintafoltokkal tarkított lebegett. Bekapcsoltam a rádiót. „Brahms **Monád** hangversenyét hallották” – susogta egy édes hang. Alkonyodott.

Wladimir Kaminer: *A szomszédaink*. (Kötetcím: Multikulti – Berlini történetek.) Budapest, 2006. Helikon Kiadó.

Monádok – 0

- bölcsőjük a kategóriaelmélet és a 1960-as évek
- monád ← monoid vagy *félcsoport* (zárt, asszociatív, egységelemes, de nincs inverz)
- a funkcionális programozásban alkalmas eszköz *mellékhatások* kezelésére:
  - állapotok
  - kivételkezelés
  - ki- és bevitel
  - nemdeterminizmus
- a Haskellben a monád: típuskonstruktor
- a minimálisan elvárt műveleteket a `Monad` osztály adja
- ismertetések:
  - What the hell are Monads? (Noel Winstanley)
  - Monads for the Working Haskell Programmer (Theodore Norvell)
  - All About Monads (Jeff Newbern)

Meghiúsulás kezelése – 1

Bizonyos számításoknál nem mindig adható értelmes eredmény (v.ö. füzér számmá alakítása). Ilyenkor az eredményt becsomagoljuk egy feltételes típusba (`Maybe a`).

Tfh. van egy adatbáziskezelő könyvtárunk egy lekérdezőfüggvénnyel:

```
doQuery :: Query -> DB -> Maybe Record
```

Több lekérdezésből álló szekvencia:

```
r :: Maybe Record
r = case doQuery q1 db of
     Nothing -> Nothing
     Just r1 -> case doQuery (q2 r1) db of
                  Nothing -> Nothing
                  Just r2 -> case doQuery (q3 r2) db of
                               Nothing -> Nothing
                               Just r3 -> ...
```

Hátrányok:

- sokszor kell leírni ugyanazt
- nem jól olvasható

Meghiúsulás kezelése – 2

Ötlet: vezessünk be egy *kombinátort,* amely elrejti ezt a mintázatot!

```
thenMB          :: Maybe a -> (a -> Maybe b) -> Maybe b
mB `thenMB` f = case mB of
                  Nothing -> Nothing
                  Just a  -> f a
```

A lekérdezési szekvencia kombinátorral felírva:

```
r :: Maybe Record
r = doQuery q1       db `thenMB` \r1 ->
    doQuery (q2 r1) db `thenMB` \r2 ->
    doQuery (q3 r2) db `thenMB` ...
```

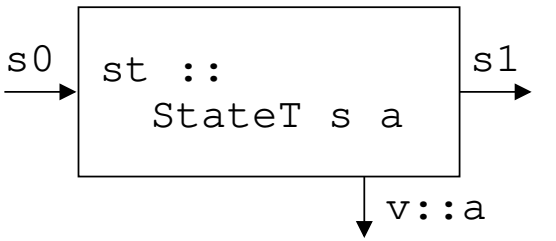
Előnyök:

- átláthatóbb, olvashatóbb kód
- típusa, viselkedése nem változott

Állapotkezelés – 1

Bizonyos számításoknál egy *állapotot* kell *láncszerűen* végigadogatni függvények egy sorozatának. Az ilyen függvényeket *állapottranszformátoroknak* nevezzük, a típusuk:

```
type StateT s a = s -> (a,s)
```



Tfh. az adatbázisunkat módosítani is akarjuk:

```
addRec :: Record -> DB -> (Bool,DB)
delRec :: Record -> DB -> (Bool,DB)
```

vagy ugyanez a fenti típusszinonimával leírva:

```
addRec :: Record -> StateT DB Bool
delRec :: Record -> StateT DB Bool
```

A használatuk:

```
newDB :: StateT DB Bool
newDB db = let (ok1,db1) = addRec rec1 db
               (ok2,db2) = addRec rec2 db1
               (ok3,db3) = delRec rec3 db2
           in (ok1 && ok2 && ok3, db3)
```

Számos hibalehetőség!

Állapotkezelés – 2

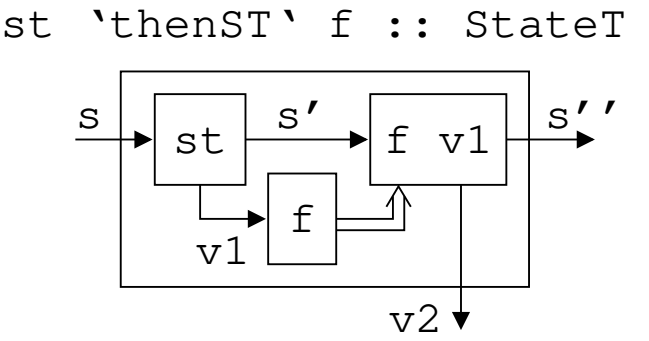
Ötlet: használjunk itt is kombinátort!

```
thenST          :: StateT s a -> (a -> StateT s b) -> StateT s b
st `thenST` f = \s -> let (v1,s') = st s
                          (v2,s'') = (f v1) s'
                      in (v2,s'')
```

Ez egy állapottranszformátort kombinál egy állapottranszformátort előállító függvénnyel. Az eredmény visszaadásához szükség van még egy kombinátorra:

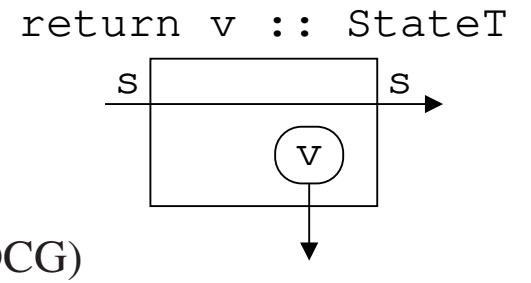
```
returnST   :: a -> StateT s a
returnST a = \s -> (a,s)
```

Ez egy értéket *beemel* egy identitás-állapottranszformátorba.



Az előző adatbázismódosítás a kombinátorokkal felírva:

```
newDB :: StateT DB Bool
newDB = addRec rec1 `thenST` \ok1 ->
        addRec rec2 `thenST` \ok2 ->
        delRec rec3 `thenST` \ok3 ->
        returnST (ok1 && ok2 && ok3)
```



Elrejtettük az állapotargumentum továbbadogatását! (v.ö. Prolog DCG)

Állapotkezelés meghiúsulás kezelésével kombinálva – 1

Elképzelhető, hogy egyszerre szeretnénk állapotot továbbadogatni *és* meghiúsulást kezelni:

```
type MbStateT s a = s -> Maybe (a,s)
```

Ehhez a típushoz új kombinátorokra van szükség:

```
thenMST :: MbStateT s a -> (a -> MbStateT s b) -> MbStateT s b
st `thenMST` f = \s -> case st s of Nothing     -> Nothing
                                    Just (v,s') -> f v s'
returnMST   :: a -> MbStateT s a
returnMST v = \s -> Just (v,s)
```

Használatuk:

```
addRec :: Record -> MbStateT DB ()
delRec :: Record -> MbStateT DB ()

newDB :: StateT DB ()
newDB = addRec rec1 `thenMST` \_ ->
        addRec rec2 `thenMST` \_ ->
        delRec rec3
```

A meghiúsulás-kezelés miatt nincs szükségünk az eredményre, ezért `()` az `MbStateT` második argumentuma.

Állapotkezelés meghiúsulás kezelésével kombinálva – 2

A `\_ ->` kiírása eléggé feleslegesnek tűnik. Vezessünk be egy újabb kombinátort:

```
then_MST :: MbStateT s a -> MbStateT s b -> MbStateT s b
st1 `then_MST` st2 = st1 `thenMST` \_ -> st2
```

Ennek használatával `newDB` nagyon egyszerűvé és kifejezővé válik:

```
newDB :: StateT DB ()
newDB = addRec rec1 `then_MST`
        addRec rec2 `then_MST`
        delRec rec3
```

Monádok – 1

Jó lenne ezeket a hasonló hatású kombinátorokat ugyanazzal a szintaktikával írni.
Ötlet: típusosztály bevezetése. Előnyök:

- azonos szintaktika minden monádhoz
- írhatók generikus monadikus függvények
- bevezethetők szintaktikus édesítőszerek

A `Monad` típusosztály

```
class Monad m where
    return :: a -> m a
    (>>=)  :: m a -> (a -> m b) -> m b
    (>>)   :: m a -> m b -> m b
    fail   :: String -> m a

    -- Minimal complete definition: (>>=), return
    p >> q  = p >>= \_ -> q
    fail s  = error s
```

Itt >>= (*kötés* vagy bind) felel meg a `then...` kombinátornak, >> a `then_...` kombinátornak. >>= felhasználja, >> pedig eldobja a bal oldali monadikus számítás eredményét. A típusosztály `m` paramétere: *típuskonstruktor*. `fail` és >> matematikailag nem kötelező, de hasznos.

Monádok – 2

Törvények

- nem minden szemantikai megkötés adható meg típusokkal
- ezeket ún. *törvényekkel* (laws) adjuk meg
- a törvények betartása a programozó felelőssége
- az `Eq` osztályban: `x /= y` ≡ `not (x == y)`
- a `Functor` osztályban:

```
fmap id       ≡ id
fmap (f . g)  ≡ fmap f . fmap g
```

- a `Monad` osztályban:

`return a >>= k`	≡ `k a`	`return` bal oldali egységelem
`m >>= return`	≡ `m`	`return` jobb oldali egységelem
`m >>= (\x -> k x >>= h)`	≡ `(m >>= k) >>= h`	`>>=` asszociativitási törvénye

Párhuzam a félcsoportokkal

- `>>=` a félcsoport művelete
- `return` a félcsoport egységeleme (v.ö. a `Monad`-típusosztály 1. és 2. törvényével)

A Maybe monád

A meghiúsulást kezelő Maybe monád része a Prelude-nek.

Deklaráció

```
instance Monad Maybe where
    Just x  >>= k = k x
    Nothing >>= k = Nothing
    return        = Just
    fail _        = Nothing
```

Használat

```
doQuery :: Query -> DB -> Maybe Record

r :: Maybe Record
r = doQuery q1 db      >>= \r1 ->
    doQuery (q2 r1) db >>= \r2 ->
    doQuery (q3 r2) db >>= ...
```

Az ST monád (állapottranszformátorok)

Gond: monadikus típus létrehozásához típuskonstruktorra van szükség; `StateT` típusszinonima, ezért nem használható.
Ötlet: az állapottranszformátort be kell csomagolni egy adatkonstruktorba.

Deklaráció

```
newtype ST s a = ST (StateT s a)
instance Monad (ST s) where
    ST st >>= f = ST (\s -> let (v,s') = st s
                                ST st' = f v
                            in st' s')
    return a    = ST (\s -> (a,s))
```

Használat

```
addRec :: Record -> ST DB Bool
delRec :: Record -> ST DB Bool
newDB :: ST DB Bool
newDB = addRec rec1 >>= \ok1 ->
        addRec rec2 >>= \ok2 ->
        delRec rec3 >>= \ok3 ->
        return (ok1 && ok2 && ok3)
```

A do jelölés - 1

A `>>=` és `>>` operátorok kényelmesebb használatához van egy szintaktikus édesítőszer, a `do`.
`newDB` egy újabb változata:

```
newDB :: ST DB Bool
newDB = do ok1 <- addRec rec1
           ok2 <- addRec rec2
           ok3 <- delRec rec3
           return (ok1 && ok2 && ok3)
```

Átalakítási szabályok:

- `do` *minta* `<-` *kifejezés* *parancsok* $\Longrightarrow$ *kifejezés* `>>=` (*minta* `->` `do` *parancsok*)
- `do` *kifejezés* *parancsok* $\Longrightarrow$ *kifejezés* `>>` `do` *parancsok*
- `do` `let` *deklarációk* *parancsok* $\Longrightarrow$ `let` *deklarációk* `in` `do` *parancsok*
- `do` *kifejezés* $\Longrightarrow$ *kifejezés*

A do jelölés - 2

- A do-jelöléssel a monadikus számításokat pszeudó-imperatív stílusban, változókat használva írhatjuk fel.
- A <- „értékadó” operátorral a monadikus számítás eredményét átadhatjuk egy változónak.
- A <- operátor jobb oldalán monadikus típusú kifejezésnek (`m a`) kell állnia.
- A do művelet a <- operátor bal oldalán álló *mintát* a monádon *belüli* a értékre illeszti (ami vagy sikerül, vagy meghiúsul – lásd alább.)

A `fail` függvénynek kitüntetett szerepe van a do-jelölésben: a do a `fail` függvényt hívja meg, valahányszor a mintaillesztés meghiúsul.

- Példa:

```
f :: Int -> Maybe [Int]
f ix = do let ls = [Just [1,2,3], Nothing, Just [], Just [7..10]]
          x:xs <- ls!!ix -- a pattern match failure calls "fail"
          return xs
```

- Mivel a `Maybe` típusosztályban `fail _ = Nothing`, ezért `f 0 = Just [2,3]` és `f 3 = Just [8,9,10]`, de `f 1 = Nothing` és `f 2 = Nothing`.

Alapértelmezés szerint `fail s = error s`, ahol az `s` szöveg célszerűen a hiba helyére utal.

Imperatív stílusú programozás az ST monáddal – 1

Feladat: legnagyobb közös osztó kiszámítása. Egy imperatív pszeudonyelven:

```
while x != y do
     if x < y
     then y := y-x
     else x := x-y
return x
```

Haskellben:

- `type ImpS = (Integer,Integer)`
- lekérdező transzformátorok:

```
getX, getY :: ST ImpS Integer
getX       = ST (\(x,y) -> (x, (x,y)))
getY       = ST (\(x,y) -> (y, (x,y)))
```

- módosító transzformátorok:

```
putX, putY :: Integer -> ST ImpS ()
putX x'    = ST (\(x,y) -> ((), (x',y)))
putY y'    = ST (\(x,y) -> ((), (x,y')))
```

Imperatív stílusú programozás az ST monáddal – 2

A transzformátorok használata:

```
gcdST :: ST ImpS Integer
gcdST = do x <- getX
           y <- getY
           case compare x y of
              EQ -> return x
              LT -> do putY (y-x)
                       gcdST
              GT -> do putX (x-y)
                       gcdST
```

Egy tanszformátor alkalmazása egy állapotra:

```
applyST          :: ST s a -> StateT s a
applyST (ST st) = st
```

Felhasználás:

```
gcd x y = fst $ applyST gcdST (x,y)

gcd 8 4 == 4 ; gcd 8 5 == 1 ; gcd 8 6 == 2
```

Monádok – 3

További tulajdonságok

- Absztrakt adatstruktúra definiálásával elérhetjük, hogy csak a `Monad` osztály kombinátoraival lehessen kezelni egy monád elemeit.
- A monádból a `Monad` típusosztályban definiált kombinátorokkal és függvényekkel nem lehet kilépni: ha egy függvényben, amely csak ilyen kombinátorokat és függvényeket alkalmaz, megjelenik a monád, akkor a függvény eredménye mindenképpen monadikus lesz.
- Azonban nincs akadálya annak, hogy a programozó olyan függvényeket hozzon létre a `Monad` típusosztály valamely példányában, amellyel értékek „hozhatók ki” a monádból.
- Például a `Maybe` monádból a `Just x` mintára való illesztéssel vagy a `fromJust` függvénnyel hozható ki érték.
- Az `IO` monád (lásd később) ún. egyirányú (one-way) monád: nincs mód arra, hogy az `IO` monádból értéket hozzunk ki. Másszóval az `IO` monád függvényeinek csak olyan eredménye lehet, amelynek típusában szerepel az `IO` típuskonstruktor.
- A kombinátorok egyértelműen megadják a kiértékelés *sorrendjét*.

Monádok – 4

További monadikus műveletek

- ```
  sequence          :: Monad m => [m a] -> m [a]
  sequence []       = return []
  sequence (c:cs) = do x  <- c
                       xs <- sequence cs
                       return (x:xs)

  fst ((applyST . sequence) [getY,getX,gcdST] (8,6)) == [6,8,2]
  ```
- ```
  sequence_          :: Monad m => [m a] -> m ()
  sequence_ []       = return ()
  sequence_ (c:cs) = do _ <- c ; _ <- sequence cs ; return ()
  ```
- ```
  mapM    :: Monad m => (a -> m b) -> [a] -> m [b]
  mapM f = sequence . map f
  ```
- ```
  mapM_    :: Monad m => (a -> m b) -> [a] -> m ()
  mapM_ f = sequence_ . map f
  ```

`sequence_`-nek és `mapM_`-nek nincs eredménye: akkor használjuk őket `_` nélküli változatuk helyett, ha csak a mellékhatásukra van szükségünk.

Monádok aritmetikája – 1

A félcsoport kibővítése

- a félcsoport kiegészíthető egy nullelemmel (`mzero`) és egy második művelettel (`mplus`)
- törvények:

```
mzero >>= k                ≡ mzero
p `mplus` mzero            ≡ p
mzero `mplus` p            ≡ p
p `mplus` (q `mplus` r)    ≡ (p `mplus` q) `mplus` r
```

- könnyű megjegyezni e törvényeket, ha gondolatban `mzero`-t 0-val, `mplus`-t az aritmetikai összeadással, >>=-t pedig az aritmetikai szorzással helyettesítjük
- `mzero` a >>= művelet bal és jobb oldali zéruseleme
- `mplus` két független számítás monadikus eredményét kombinálja egyetlen monadikus értékké
- a meghiúsulást kezelő monádok esetében (pl. `Maybe`) az `mzero` elem meghiúsulás jelzésére, az `mplus` kombinátor meghiúsulás kezelésére szolgál (v.ö. *try* `` `mplus` `` *catch*)

Monádok aritmetikája – 2

A `MonadPlus` osztály

```
class Monad m => MonadPlus m where
    mzero :: m a
    mplus :: m a -> m a -> m a

instance MonadPlus Maybe where
    mzero                = Nothing
    Nothing `mplus` ys = ys
    xs      `mplus` ys = xs
```

- A `Maybe` monádban definiált `mplus` két érték közül a másodikat adja vissza, ha az első `Nothing`, egyébként pedig az elsőt.

A lista mint monád

- ```
  instance Monad [] where
      (x:xs) >>= f = f x ++ (xs >>= f)
      []     >>= f = []
      return x     = [x]
      fail _       = []
  ```

  Fontos, hogy továbbolvasás előtt megértsük a `[]` monádban definiált >>= kombinátor működését!

- ```
  instance MonadPlus [] where
      mzero = []
      mplus = (++)
  ```

- a listanézet tkp. egy édesítőszere a monadikus kombinátoroknak!

```
[ (x,y) |
   x <- [1,2,3],
   y <- [1,2,3],
   x /= y ]
```

```
do x    <- [1,2,3]
   y    <- [1,2,3]
   True <- return (x /= y)
   return (x,y)
```

Ha a mintaillesztés nem sikerül a `True <- ...` sorban, akkor a sor egy `fail _ = []` hívással lesz ekvivalens, vagyis *üres lista* lesz az eredménye!

A Monad könyvtár

- a MonadPlus osztály és két implementációja (Maybe, listák)
- további hasznos függvények:
  - ```
    msum      :: MonadPlus m => [m a] -> m a
    msum      = foldr mplus mzero
    ```
  - ```
    when      :: Monad m => Bool -> m () -> m ()
    when p s  = if p then s else return ()
    ```
  - ```
    guard     :: MonadPlus m => Bool -> m ()
    guard p   = if p then return () else mzero
    ```
  - ```
    liftM     :: Monad m => (a -> b) -> (m a -> m b)
    liftM f   = \a -> do { a' <- a; return (f a') }
    ```
  - ```
    liftM2    :: Monad m => (a -> b -> c) -> (m a -> m b -> m c)
    liftM2 f  = \a b -> do { a' <- a; b' <- b; return (f a' b') }
    ```
  - ```
    ap        :: Monad m => m (a -> b) -> m a -> m b
    ap        = liftM2 ($)
    ```

Ki- és bevitel – 1

Alapok

- tisztán funkcionális világ ⇒ ugyanaz a kifejezés mindig ugyanazt az értéket adja
- ha I/O-t szeretnénk, kell egy argumentum, amely a világ állapotát képviseli: `World`
- az I/O függvények a `World` állapot transzformátorai
- monád használatával el lehet rejteni az állapot továbbadogatását

```
data IO a = IO (StateT World a)
```

- az `IO a` típus *absztrakt,* nem lehet kibontani ⇒ csak monadikusan lehet kezelni
- az `IO a` típusú értékeket *akciónak* nevezzük

Akciók kezelése

- ha az interpreternek akciót kell kiértékelnie, *végrehajtja,* azaz átadja neki a világ állapotát
- önálló program írásához definiálni kell a `Main.main :: IO a` (általában `IO ()` típusú) függvényt
- az `IO` könyvtár tartalmazza a fájlkezeléshez szükséges függvényeket

Ki- és bevitel – 2

Egyszerű I/O függvények

- beolvasás:
  - `getChar :: IO Char`
  - `getContents :: IO String`
  - `getLine :: IO String`

```
getLine      = do c <- getChar
                  if c=='\n' then return ""
                    else do cs <- getLine; return (c:cs)
```

- kiírás:
  - `putChar :: Char -> IO ()`
  - `putStr :: String -> IO ()`
  - `putStrLn :: String -> IO ()`

```
putStrLn s = putStr s >> putChar '\n'
```

- kommunikáció:

```
interact  :: (String -> String) -> IO ()
interact f = getContents >>= (putStr . f)
```

Ki- és bevitel – 3

Egy teljes példa: a wc Unix program

```
import System (getArgs)
main :: IO ()
main = do
  args <- getArgs
  case args of
      [fname] -> do fstr <- readFile fname
                    let nWords = length . words $ fstr
                        nLines = length . lines $ fstr
                        nChars = length fstr
                    putStrLn . unwords $ [ show nLines
                                         , show nWords
                                         , show nChars
                                         , fname]
      _       -> putStrLn "usage: wc fname"
```

Ki- és bevitel – 4

Hibakezelés

- az `IO` monádba hibakezelés is be van építve (ld. `MBStateT`)
- a hibák `IOError` típusúak
- hiba jelzése: `ioError :: IOError -> IO a`
- felhasználói hiba: `userError :: String -> IOError`
- a kettő együtt: `fail = ioError . userError`
- hibakezelés: `catch :: IO a -> (IOError -> IO a) -> IO a`

```
getChar' :: IO Char
getChar' =  getChar `catch` (\e -> return '\n')
```

szebben ugyanez:

```
getChar' :: IO Char
getChar' =  getChar `catch` eofHandler
    where eofHandler e = if isEOFError e
                         then return '\n'
                         else ioError e
```

„A HASKELL PROGRAMOZÓ EVOLÚCIÓJA”

Egyszerű megoldások

Az elsőéves:

```
fac n = if n == 0 then 1
        else n * fac (n-1)
```

A kezdő:

```
fac 0 = 1
fac n = n * fac (n-1)
```

A haladó (jobb, ill. baloldali érzületű, és aki mást mutat, mint ami):

```
fac n = foldr (*) 1 [1..n]
fac n = foldl (*) 1 [1..n]
fac n = foldr (\x g n -> g (x*n)) id [1..n] 1
```

A „memoizer”:

```
facs  = scanl (*) 1 [1..]

fac n = facs !! n
```

Valamivel komplikáltabb megoldások

Az akkumuláló:

```
facAcc a 0 = a
facAcc a n = facAcc (n*a) (n-1)

fac = facAcc 1
```

A fixpontos:

```
y f = f (y f)

fac = y (\f n -> if (n==0) then 1 else n * f (n-1))
```

A kombinátoros:

```
s f g x       = f x (g x)
k x y         = x
b f g x       = f (g x)
c f g x       = f x g
y f           = f (y f)
cond p f g x = if p x then f x else g x

fac  = y (b (cond ((==) 0) (k 1)) (b (s (*)) (c b pred)))
```

A „statikus”

```
data Zero
data Succ n

class Add a b c | a b -> c where
  add :: a -> b -> c
instance                Add  Zero    b  b
instance Add a b c => Add (Succ a) b (Succ c)

class Mul a b c | a b -> c where
  mul :: a -> b -> c
instance                           Mul  Zero    b Zero
instance (Mul a b c, Add b c d) => Mul (Succ a) b d

class Fac a b | a -> b where
  fac :: a -> b
instance                                 Fac  Zero    One
instance (Fac n k, Mul (Succ n) k m) => Fac (Succ n) m
```

A Ph.D. fokozatot szerzett – 1

```
-- explicit type recursion based on functors
newtype Mu f = Mu (f (Mu f))  deriving Show
in      x  = Mu x
out (Mu x) = x

-- cata- and ana-morphisms for *arbitrary* (regular) base functors
cata phi = phi . fmap (cata phi) . out
ana  psi = in  . fmap (ana  psi) . psi

-- base functor and data type for natural numbers,
-- using a curried elimination operator
data N b = Zero | Succ b  deriving Show
instance Functor N where
  fmap f = nelim Zero (Succ . f)
nelim z s  Zero    = z
nelim z s (Succ n) = s n

type Nat = Mu N
```

A Ph.D. fokozatot szerzett – 2

```
-- conversion to internal numbers, conveniences and applications
int = cata (nelim 0 (1+))
instance Show Nat where
  show = show . int

zero   = in   Zero
suck   = in . Succ  -- pardon my "French" (Prelude conflict)
plus n = cata (nelim n     suck   )
mult n = cata (nelim zero (plus n))

-- base functor and data type for lists
data L a b = Nil | Cons a b  deriving Show
instance Functor (L a) where
  fmap f = lelim Nil (\a b -> Cons a (f b))
lelim n c  Nil        = n
lelim n c (Cons a b) = c a b

type List a = Mu (L a)
```

A Ph.D. fokozatot szerzett – 3

```
-- conversion to internal lists, conveniences and applications
list = cata (lelim [] (:))

instance Show a => Show (List a) where
  show = show . list

prod = cata (lelim (suck zero) mult)

upto = ana (nelim Nil (diag (Cons . suck)) . out)

diag f x = f x x

fac = prod . upto
```

A professzor

```
fac n = product [1..n]
```