



# Programozási nyelvek és módszerek

---

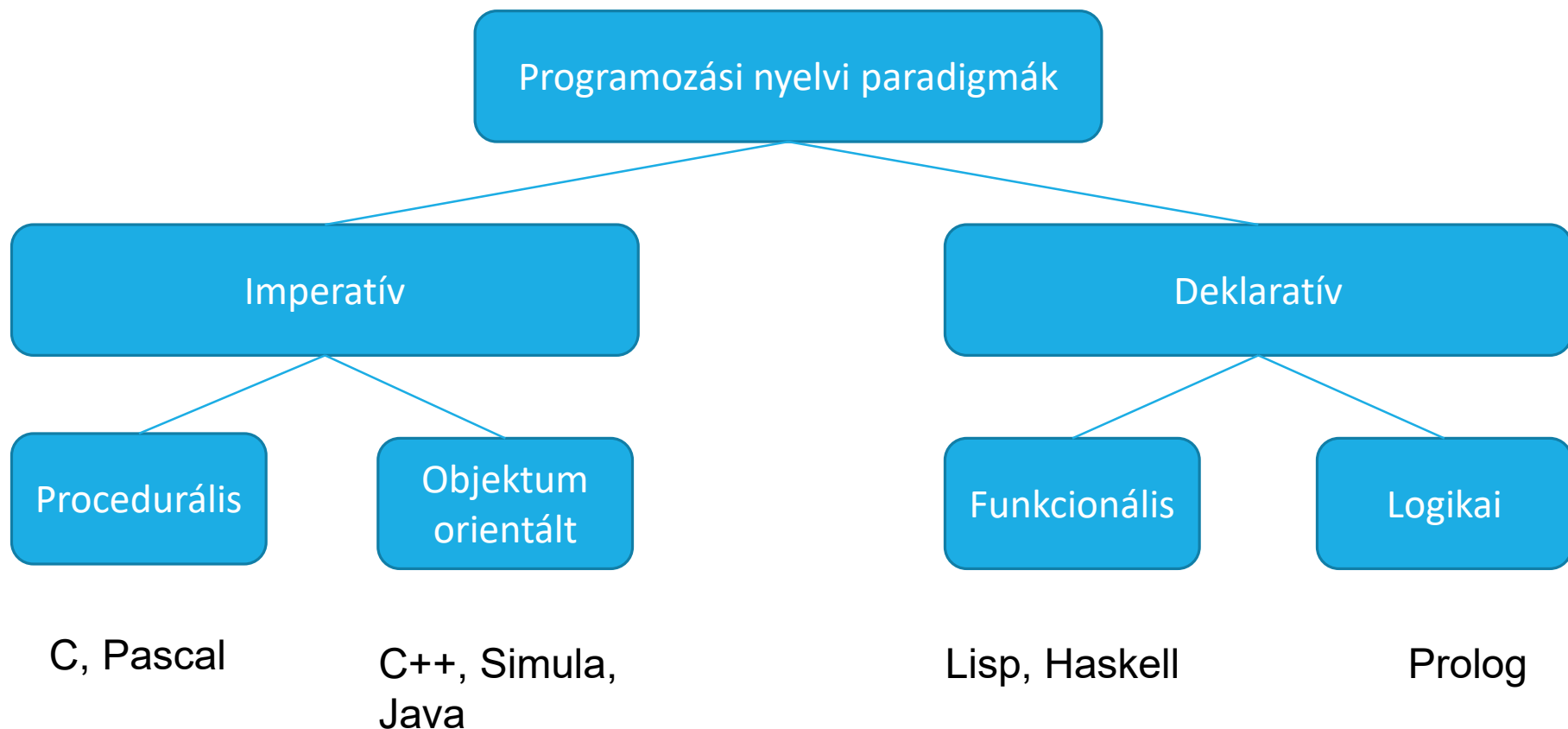
9. ELŐADÁS – FUNKCIONÁLIS ÉS LOGIKAI  
PROGRAMOZÁS

# Bevezetés

---

- Programozási nyelvi paradigmák
- Lambda kalkulus
- Funkcionális programozás
- Logikai programozás

# Programozási nyelvi paradigmák



# Paradigmák

---

## Az **imperatív** programozás sajátosságai

- felszólító mód
  - parancsok, utasítások
- a lényeg az algoritmus megtalálása
  - hogyan oldjuk meg a feladatot
  - pontosan követhetőek a végrehajtott lépések
- a változó egy adott memória helyen tárolt aktuális érték, mely ismételten újabb és újabb értékeket vesz fel

# Paradigmák

---

## A **deklaratív** programozás sajátosságai

- kijelentő mód
  - állítások, egyenletek
- a lényeg
  - a specifikáció leírása
  - mit kell megoldanunk
- a végrehajtás a nyelv értelmező, fordító programjától függ
  - nem mindig követhetőek a végrehajtott lépések
- a változó a matematikából ismert fogalomnak felel meg, egy konkrét érték lehet, mely a program írásakor még ismeretlen
- Alkalmazási területek
  - Mesterséges intelligencia
  - Telekommunikáció
  - ...

# Funcckionális programozás

---

# Paradigmák

---

**Funkcionális programozási** eszközökkel minden olyan feladat megoldható, amelyik megoldható **imperatív** nyelven és viszont.

Általában funkcionális programozási stílusról beszélünk, ha a megoldó programokat mellékhatásoktól mentes összetevőkből, szabályos programkonstrukciókkal építjük fel.

---

„A funkcionális nyelvek matematikai számítási modellje a lambda-kalkulus.”

## Mi az a lambda kalkulus?

- Egy formális rendszer, amit matematikai függvények vizsgálatára vezettek be.
- Church 1936-ban ennek segítségével bizonyította be, hogy nem létezik megoldás a Russel-paradoxonra.

# Russel paradoxon

---

A múlt század elején tudatosodott, hogy a matematika addig használt halmazelméleti és logikai alapozása a Russel paradoxont is tartalmazza, belső ellentmondásai vannak.

Naiv halmazelméleti formában:

- Legyen
  - $R = \{X \mid X \text{ nem eleme } X\text{-nek}\}$ , akkor  $R \in R \Leftrightarrow (R \notin R)$

# Példák

---

## Borbély paradoxon

- Tegyük fel, hogy a laktanya katonai borbélyja a szolgálati szabályzatnak megfelelően csak azokat a katonákat borotválja, akik maguk nem borotválkoznak, de nem borotválhatja azokat, akik maguk borotválkoznak.
- Kérdés: magát megborotválhatja-e?
  - Ha megborotválja magát, akkor olyan katonának számít, aki maga borotválja magát, ergo a szolgálati szabályzat megtiltja, hogy megborotválkozzon.
  - Ha ennek megfelelően, nem borotválkozik, akkor a szolgálati szabályzat értelmében, olyan katonának számít, akit borotválnia kell.

# Példák

---

## Katalógus paradoxon

## Karinsky-paradoxon

- „Ohó álljunk csak meg. Ön azt mondja, a rögeszmém, hogy örült vagyok. De hiszen tényleg az vagyok, az imént mondtam. De hiszen akkor ez nem rögeszme, akkor az egy logikus gondolat. Tehát nincs rögeszmém. Tehát mégse vagyok örült. Tehát csak rögeszme, hogy örült vagyok, tehát rögeszmém van, tehát örült vagyok, tehát igazam van, tehát nem vagyok örült. Mégiscsak gyönyörű dolog a tudomány!”

---

A lambda kalkulusban egyfajta érték van – ez a függvény (ezt hívják lambda absztrakciónak is)

- és egyfajta művelet – a függvény alkalmazás, ez a változó behelyettesítés

## Érdekesség

- bebizonyították, hogy minden algoritmus, ami Turing gépen megvalósítható, megvalósítható tisztán lambda kalkulusban is.

## Vannak függvényeink:

- $x+5$
- $x^2+b*x+c$
- 4

# Minek a függvénye a kifejezés értéke?

## Jelölés:

- $x \rightarrow x+5$        $\lambda x.(x+5)$  - itt az x változó „kötött”
- $x \rightarrow x^2+b*x+c$ ,       $\lambda x.(x^2+b*x+c)$
- 4       $\lambda x.4$

# Érdekeség

---

Honnan jött a jelölés?

Jelölni akarták, ha egy változó „kötött” .

- Russell és Whitehead kezdetben a „kalap” jelölést használta
  - $t[\hat{a}]$ .
- Church módosította a jelölést
  - $\hat{a}.t[a]$
  - de ezt  $\lambda a.t[a]$  formában nyomtatták ki
- Végül – azt mondják, nyomdai tévedésből – kialakult a végleges forma
  - $\lambda a.t[a]$ .

## Művelet: alkalmazás = változó behelyettesítés

- $\lambda x.(2*x+3)$  7 azt jelenti, hogy  $x$  minden előfordulásába behelyettesítjük a 7-t
  - $2*7+3$
  - 17
- $\lambda x.(2*x+3) (y-5)$  azt jelenti, hogy  $x$  minden előfordulásába behelyettesítjük az  $(y-5)$ -t
  - $2*(y-5)+3$

---

## Többváltozós függvények – egyváltozós függvények egymás utáni alkalmazásával

- $f(x,y) = x+y$
- $\lambda x.(\lambda y.(x+y))$

Ha alkalmazni akarjuk pl.  $x=3$ ,  $y=5$ -re:

- $\lambda x.(\lambda y.(x+y))\ 3\ 5$
- $\lambda y.(3+y)$
- $3+5$
- $8$

# Magasabbrendű függvények

A függvények alkalmazhatóak más függvényekre is

- $\lambda f.(\lambda z.(f (f z)))$  – ez az  $f$ -t kétszer alkalmazza egymás után

Ha ezt alkalmazzuk a  $\lambda x.(3 * x + 5)$  kifejezésre, akkor a következő kifejezést kapjuk:

- $\lambda f.(\lambda z.(f (f z))) \lambda x.(3 * x + 5)$

Behelyettesítés után

- $\lambda z.(\lambda x.(3 * x + 5) (\lambda x.(3 * x + 5) z))$

Ha ezt alkalmazzuk 2-re, akkor az helyébe 2-t írunk

---

$$\begin{aligned} & \lambda z. (\lambda x. (3 * x + 5) (\lambda x. (3 * x + 5) z)) 2 \Rightarrow \\ & \lambda x. (3 * x + 5) (\lambda x. (3 * x + 5) 2) \Rightarrow \\ & \lambda x. (3 * x + 5) (3 * 2 + 5) \Rightarrow \\ & \lambda x. (3 * x + 5) (6 + 5) \Rightarrow \\ & \lambda x. (3 * x + 5) 11 \Rightarrow \\ & 3 * 11 + 5 \Rightarrow \\ & 33 + 5 \Rightarrow \\ & 38 \end{aligned}$$

(Ez valóban az  $f(f(2))$ )

Ez a redukálás normál formához vezetett, ami már tovább nem redukálható.

# Szabad és kötött változók

---

Informálisan, egy változó akkor kötött egy  $\lambda$ -kifejezésben, ha tőle balra található egy  $\lambda$  amelyik „kiterjed rá.”

- Például a  $\lambda x.x$  kifejezésben nincs szabad változó, míg a  $\lambda x.y$  kifejezésben az  $y$  szabad változó.

Csak azt a  $\lambda$ -absztrakciót tekintjük függvénynek, amely nem tartalmaz szabad változókat.

Azt a  $\lambda$ -kifejezést amelyik nem tartalmaz szabad változókat zártnak nevezzük.

- (Formális definíciók nélkül)

# Béta konverzió

---

A  $\beta$ -konverzió a függvény-alkalmazás elnevezése a  $\lambda$ -kalkulusban.

Amikor egy  $\lambda$ -absztrakciót alkalmazunk egy  $\lambda$ -kifejezésre, akkor a  $\lambda$ -kifejezést behelyettesítjük a  $\lambda$ -val kötött változó szabad előfordulásainak helyeire.

Speciálisan, ha mindig a „nyíl irányában” haladunk, azaz végrehajtjuk a kijelölt függvény-alkalmazásokat, így redukálva a  $\lambda$ -kifejezést, akkor azt mondjuk, hogy  $\beta$ -redukciót hajtunk végre.

Legfontosabb szerepe a  $\lambda$ -kifejezések szisztematikus kiértékelésében van.

# Béta konverzió

---

A  $\beta$ -redukció esetén egy  $\lambda$ -kifejezésben egyszerre több kifejezés is várhat kiértékelésre. Ezeket redukálható részkifejezéseknek, röviden „redex”-nek (Reducible Expression) nevezzük.

A  $\beta$ -redukció definíciójában nincs megkötés arra, hogy ezeket milyen sorrendben kell elvégezni, de a választott sorrendnek jelentősége van. A választott kiértékelési sorrendet kiértékelési stratégiának nevezzük.

---

Tekintsük az alábbi  $\lambda$ -kifejezést például - két redexet is tartalmaz:

- $(\lambda x.(x + 5)) ((\lambda y.y) 2)$

Hogy értékeljük ki? Hol kezdjük?

- $((\lambda y.y) 2) + 5 \rightarrow 2 + 5 \rightarrow 7$  (lusta)
- $(\lambda x.(x + 5)) 2 \rightarrow 2 + 5 \rightarrow 7$  (mohó)

Az a  $\lambda$ -kifejezés amelyben nincs egyetlen redukálható részkifejezés sem, normál formában van.

A  $\lambda$ -kifejezések kiértékelésének célja tehát a normál forma elérése, egymás utáni  $\beta$ -redukciókkal

---

Normál formában van

- $\lambda y.y$
- 42

Még redukálható

- $(\lambda x.(\lambda y.x + y - 18))\ 2\ 9$

Nincs normál formája

- $(\lambda x.x\ x)(\lambda x.x\ x)$   $\lambda$ -kifejezésnek nincs  $\beta$ -normál formája.

Bizonyítható, hogy ha egy  $\lambda$ -kifejezésnek van normál formája, akkor ahhoz véges redukciós lépések sorozatával eljuthatunk, ha mindig a legbaloldalibb redukálható részkifejezést redukáljuk.

# Lambda kifejezések

---

# Lambda kifejezések

---

Egyes programnyelvek lehetőséget biztosítanak lambda kifejezések írására

- Ennek legegyszerűbb formája lehet például névtelen objektumok/osztályok létrehozása, névtelen függvények készítése
- Kiegészíti a procedurális, vagy OOP megközelítés lehetőségeit
- Átláthatóbb kód írható, a műveletekre koncentrálna a szintaxis helyett
  - Redundancia csökkentése

# Java

---

## Java 8.0-tól érhető el

### Az anonymus belső osztályok, illetve a funkcionális interfészek használatakor írandó kód rövidítése

```
JButton testButton = new JButton("Test Button");
    testButton.addActionListener(new ActionListener(){
        @Override public void actionPerformed(ActionEvent ae){
            System.out.println("Click Detected by Anon Class");
        }
    });
```

```
public interface ActionListener extends EventListener {
    public void actionPerformed(ActionEvent e);
}
```

# Java

---

## Szintaktika

| Argumentum                    | Nyíl               | Törzs              |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|
| ◦ <code>(int x, int y)</code> | <code>-&gt;</code> | <code>x + y</code> |

## Példák

- `(int x, int y) -> x + y`
- `() -> 42`
- `(String s) -> { System.out.println(s); }`
  
- `Runnable r = () -> System.out.println("Hello");`
- `r.run();`

# Java

---

## Szintaktika

| Argumentum                    | Nyíl               | Törzs              |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|
| ◦ <code>(int x, int y)</code> | <code>-&gt;</code> | <code>x + y</code> |

## Példák

- `(x, y) -> (x + y);`
- `(int x, int y) -> { return x + y; }`
- `() -> 42`
- `(String s) -> { System.out.println(s); }`
  
- `Runnable r = () -> System.out.println("Hello");`
- `r.run();`

# Java

---

## Lambda és Collections

```
public static void main(String[] args) {  
    List<Person> pl = Person.createShortList();  
    pl.forEach(p -> p.printName() );  
    pl.forEach(Person::printName);  
    // Létező metódusra visszavezeti  
    pl.forEach(p -> { System.out.println(...); });  
}
```

# C++ 11

---

Anonim függvények, lambda kifejezések formájában

```
[capture](parameters) -> return_type { function_body }
```

Példa

```
[](int x, int y) -> int { return x + y; }
```

# C++ - capturing

---

`[]` //no variables defined.

`[x, &y]` //x érték szerint, y referencia szerint

`[&]` //minden külső változó referencia szerint

`[=]` //minden külső változó érték szerint

`[&, x]` //x érték szerint. Minden más referencia szerint

`[=, &z]` //z referencia szerint. Minden más érték szerint

`[this]` //this, pointer az objektumra

# C++ 14

---

Az `auto` kulcsszó használatával lambda kifejezések típusát a fordító határozza meg

```
auto my_lambda_func = [&](int x) { /*...*/ };
```

Ugyanez dinamikusan létrehozva a heap-en

```
auto my_lambda = new auto([=](int x) { /*...*/ });
```

# Template / auto

---

## C++ 11

- `template<typename T>`
- `[](T a, T b) -> T { return a + b };`

## C++ 14

- `[](auto a, auto b) { return a + b; }`

# Python 3

---

## Lambda kifejezés létrehozása – kulcsszóval

- `lambda arguments : expression`

## Például

- `x = lambda a : a + 10`
- `print(x(5))`

## Használhatók gyűteményekben

- Elemenként
  - `a = [1, 2, 3, 4, 5, 6]`
  - `print(list(map(lambda x: x*x, a)))`
- Inkább javasolt
  - `print([x*x for x in a])`

# Mathematica

---

## Pontosabban Wolfram nyelv

- #0 a függvényre magára hivatkozik
- #1 ... #n az egyes argumentumokra hivatkozik
- & lezárja a kifejezést

## Példa

- `f := #1^2&`
- `f[8]`

## Rekurzív anonim függvény

- `If[#1 == 1, 1, #1 * #0[#1-1]]&`

## Példa

- `If[#1 == 1, 1, #1 * #0[#1-1]]&[6]`

# Funkcionális programok

---

## Egy funkcionális program felépítése:

- függvény definíciók, kezdeti kifejezés, operátorok, adatszerkezetek, ...
- típus definíciók

## Például – néhány egyszerű függvénydefiníció:

- nulla  $x = 0$
- id  $x = x$
- inc  $x = x + 1$
- square  $x = x * x$
- squareinc  $x = \text{square } (\text{inc } x)$  - kompozíció
- kezdeti kifejezés: squareinc 7

---

## A funkcionális program végrehajtása:

- a kezdeti kifejezés értékének meghatározása, kiértékelése, redukálása
- a normál forma meghatározása, - egyértelmű, nincs lehetőség további redukciós lépésre

A program végrehajtása a kezdeti kifejezésből kiinduló redukciós vagy más néven átírási lépések sorozata.

# Néhány kezdeti kifejezés

---

- Cleanben
  - `Start = sqrt 5.0;`
- Haskellben
  - `main = product $ [1..10]`
- A normál formák
  - 2.236068
  - 3628800
  - 64

---

Egy-egy redukciós lépésben egy – valamely kiértékelési stratégia szerint kiválasztott – redukálható részkifejezésben, a redex-ben szereplő függvényhívás helyettesítődik a függvény törzsében megadott kifejezéssel a formális és aktuális paraméterek megfeleltetése mellett.

Normál formájú egy kifejezés, ha további redukcióra nincs lehetőség.

- Ez az átírási lépéssorozat végeredménye.

# Kiértékelési stratégiák

---

## Lusta kiértékelés

- A kifejezések kiértékelésekor először a legbaloldalibb legkülső redexet helyettesíti
  - Ha a kifejezés függvény megadással kezdődik, előbb a függvény definíció lesz alkalmazva
  - Az argumentumok kiértékelését csak szükség esetén végzi el.
- A lusta kiértékelés normalizáló kiértékelési módszer
  - Mindig megtalálja a normál formát, ha az létezik
    - Pl. Clean, Haskell, Miranda

# Kiértékelési stratégiák

---

## Mohó kiértékelés

- a legbaloldalibb, legbelső redex, az argumentumok helyettesítése történik meg először
  - hatékonyabb, mint a lusta rendszer
  - de: nem mindig ér véget a kiértékelési folyamat
    - Lisp, SML, Hope

A két stratégia kombinálható

# Példák

---

## Mohó kiértékelés:

- `squareinc 7`
- `-> square ( inc 7 )`
- `-> square ( 7 + 1 )` - először az argumentum(ok)
- `-> square 8`
- `-> 8*8`
- `-> 64`

## Lusta kiértékelés:

- `squareinc 7`
- `-> square ( inc 7 )`
- `-> ( inc 7 ) * ( inc 7 )` - először a függvény
- `-> ( 7 + 1 ) * ( 7 + 1 )`
- `-> 8*8`
- `-> 64`

# Függvény definíciók:

---

Nem mindegy, hogy milyen a kiértékelés, pl.:

- $f\ x = f\ x$
- $g\ x\ y = y$  – ezek függvény definíciók
- $g\ 1\ 2 \Rightarrow 2$
- $g\ (f\ 3)\ 5 \Rightarrow$

**5** csak a lusta!

Milyen kiértékelés jó?

# A modern funkcionális nyelvek fő jellemzői

---

## Hivatkozási átláthatóság (referential transparency)

- A kifejezések értéke hivatkozásuk előfordulási helyétől független
  - ugyanaz a kifejezés a program szövegében mindenhol ugyanazt az értéket jelöli.
- A függvények kiértékelésének nincs mellékhatása
  - egy függvény kiértékelése nem változtathatja meg egy kifejezés értékét!
- Példa:
  - $f(x) + 2 * f(x) = 3 * f(x)$  – biztosan!

---

Emlékeztető példa, hogy ez nem mindig igaz:

```
int x = 1;
int f( int a ){
    ++x;
    return a+x;
}
int main(){
    int y = f(x) + 2*f(x);
    int z = 3*f(x);
}
```

$y \neq z$

# A modern funkcionális nyelvek fő jellemzői

---

## Feltételek megadási lehetősége (definition by cases)

- A függvény értékét az első, igaz egyenlőséghez tartozó kifejezés adja, mely kifejezést az aktuális paraméter értéke alapján kapjuk
- Példa: az argumentum előjelének a meghatározása:

```
elojel :: Int -> Int
elojel x | x < 0 = -1
elojel x | x > 0 = 1
elojel x | x == 0 = 0
main = print (elojel (-10))
```

# A modern funkcionális nyelvek fő jellemzői

---

## Rekurzivitás lehetősége (definition by recursion):

- A függvények hivatkozhatnak önmagukra és kölcsönösen egymásra
- Példa: két egész szám legnagyobb közös osztója:

```
Inko :: Int -> Int -> Int
Inko a b | (a == b) = a
Inko a b | (a > b) = Inko (a-b) b
Inko a b | (a < b) = Inko a (b-a)
main = print $ Inko 18 56
```

# A modern funkcionális nyelvek fő jellemzői

---

A függvények ugyanolyan értékek, mint az elemi típusértékthalmazok elemei.

Magasabbrendű függvénynek nevezzük azokat a függvényeket, amelyeknek valamelyik argumentuma vagy értéke maga is függvény.

- Példa

`Twice f x = f ( f x )`

# A modern funkcionális nyelvek fő jellemzői

---

## Mintaillesztés

- Azt vizsgálja a kiértékelő rendszer, hogy az aktuális paraméterek értéke vagy alakja megfelel-e valamelyik egyenlőség bal oldalán megadott mintának.
  - A minták sorrendje meghatározza az eredményt
  - Az első illeszkedést keresi
- Példa: faktoriális (mintaillesztés és feltétel, rekurzióval):

fakt 0 = 1

fakt n | n > 0 = n \* fakt (n-1)

# A modern funkcionális nyelvek fő jellemzői

---

## Szigorú, statikus típusosság

- Típusdeklarációk megadása nem kötelező, de megköveteljük, hogy a kifejezések típusa a típuslevezetési szabályok által meghatározott legyen.
- Ez azt jelenti, hogy egy adott kifejezés legáltalánosabb típusát a fordítóprogram általában még akkor is meg tudja határozni a benne szereplő részkifejezések típusa alapján, ha a programszöveg készítője nem deklarálta a kifejezés típusát.

# A modern funkcionális nyelvek fő jellemzői

---

Iteratív adatszerkezet elemeinek és azok sorrendjének megadására alkalmas, a matematikában halmazok megadásánál alkalmazott jelölésrendszernek megfelelő nyelvi eszköz a Zermelo-Fraenkel halmazkifejezés.

A végtelen adatszerkezetek (listák, halmazok, sorozatok, vektorok) kiértékelése lusta kiértékelési módszerrel történik.

Például:

```
negyzetek n = [x^2 | x <- [1..n]]
```

# A modern funkcionális nyelvek fő jellemzői

---

A függvények típusát értelmezési tartományuk és értékkészletük megadásával határozzuk meg.

- Például

```
fakt: int -> int
```

Többváltozós függvények → minden függvénynek egyetlen argumentuma lehet, de ez esetleg egy függvény!

## Egyszerű típuskonstrukciók

- Rendezett n-esek
- Iterált – véges vagy végtelen sorozatok

## Sorozatok

- Konstruktor – egy elemből és egy sorozatból új, az adott sorozatot balról kiterjesztő sorozatot készít – mintában is használhatóak
- Első elem (fejelem, head), lista fejelem nélküli maradéka (tail),...

## Például: sorozat elemeinek összege:

`ossz :: [Int] -> Int`

`ossz [] = 0`

`ossz (x:xs) = x + ossz xs`

## Sorozatok generálhatók is

Például: Párosak valamедdig:

```
paros n= [x | x <- [1..n], even x]
```

- (az `x <- [ 1 .. n]` generátorral előállítjuk az összes értéket 1-től n-ig, majd az `even x` szűrővel kiválogatjuk a megfelelőeket)

## Példák magasabb rendű függvényekre

- Filter – adott tulajdonságot teljesítő elemek leválogatása

```
filter :: (a -> Bool) -> [a] -> [a]
```

```
filter p [] = []
```

```
filter p (x:xs)
```

```
  | p x = x : filter p xs
```

```
  | otherwise = filter p xs
```

```
even x = x `mod` 2 == 0
```

```
evens = filter even [0..]
```

```
filter even [3,2,2,1] → [2,2]
```

---

map: Elemenként alkalmazza a paraméterül kapott függvényt

Példa:

```
map inc [2,1,7] → [3;2;8]
```

Definíció:

```
map :: (a -> b) -> [a] -> [b]
```

```
map f [] = []
```

```
map f (x:xs) = f x : map f xs
```

Példa:

```
odds = map (+1) evens
```

## Példa:

```
gyorsRendezes :: [Int]->[Int]
gyorsRendezes [] = []
gyorsRendezes (x:xs) = gyorsRendezes kisebbElemek ++
    [x] ++ (gyorsRendezes nagyobbElemek)
where
    kisebbElemek    = filter (<x) xs
    nagyobbElemek   = filter (>x) xs
```

# Logikai programozás

---

# Logikai programozás

---

Ha adott egy rendszer logikai formulákkal definiált modellje, kiegészítendő vagy eldöntendő kérdéseket fogalmazhatunk meg bizonyítandó állítások formájában.

Kiegészítendő kérdés esetén a megfelelő tulajdonságú objektumok, tervek stb. meghatározása számítási folyamatnak tekinthető.

Ez a logikai programozás (LP) alapgondolata.

# Logikai programozás

---

A logikai program egy modellre vonatkozó állítások (axiómák) egy halmaza.

- Az állítások a modell objektumainak tulajdonságait és kapcsolatait, (relációit) írják le.

Ha például adottak állítások, amelyek arra vonatkoznak, hogy ki kinek az apja, ezek együtt a apja nevű, kettő aritású relációt írják le.

Ha megmondjuk, hogy kik a férfiak, vagy kik a nők, akkor az erre vonatkozó állítások együtt a férfi, ill. nő nevű, egy aritású relációt írják le.

## Tények: (a legegyszerűbb logikai programok – atomi formulák)

```
apja('Ábrahám', 'Izsák').  
apja('Ábrahám', 'Ismáel').  
apja('Ábrahám', 'Ismeretlen').  
apja('Izsák', 'Jákob').  
apja('Izsák', 'Ézsau').
```

```
anyja('Sára', 'Izsák').  
anyja('Hágár', 'Ismáel').  
anyja('Rebeka', 'Jákob').  
anyja('Rebeka', 'Ézsau').
```

```
férfi('Ábrahám').  
férfi('Izsák').  
férfi('Ismáel').  
férfi('Jákob').  
férfi('Ézsau').
```

```
nő('Sára').  
nő('Hágár').  
nő('Rebeka').  
nő('Ismeretlen').
```

# Logikai programozás

---

Az állítások egy adott relációt meghatározó részhalmazát predikátumnak nevezzük.

- A program futtatása minden esetben egy, az állításokból következő tétel konstruktív bizonyítása, azaz – a logikai programozásban szokásos szóhasználattal – a programnak feltett kérdés vagy más néven cél megválaszolása.
- Ennek során a predikátumok eljárásokként működnek.

A ma használatos LP nyelvekben minden, a predikátumokat alkotó állítás tény vagy szabály lehet.

Prolog: Programming in logic (1972-től)

---

Kérdéseket tehetek fel:

```
|?- apja('Ábrahám','Izsák').
```

```
yes
```

```
|?- anyja('Sára','Jákob').
```

```
no
```

```
- Van-e olyan X, akinek az apja Izsák?
```

```
|?- apja('Izsák',X).
```

```
X = 'Jákob' ;      X = 'Ézsau' ;
```

Összetett célok:

- |?- apja('Ábrahám',X), nő(X).

- X = 'Ismeretlen' ;

Ilyenkor a célsorozat megoldásai a részcélok közös megoldásai.

# Horn Klózok

---

A logikai programok állításait Horn klózoknak is nevezik.

Egy Horn klóz azt fejezi ki, hogy egy adott állítás igaz, ha nulla vagy több másik állítás igaz. Pl.:

- ha (if) egy személy öreg és bölcs,  
akkor (then) ez a személy boldog
- ha (if) X az apja Y-nak és Y az apja Z-nek,  
akkor (then) X a nagyapja Z-nek

Nulla vagy több állítás lehet az if-részben, és pontosan egy következtetés a then-részben.

Egy feltétel nélküli Horn klóz egy tényt ír le.

---

Egy Horn klóz a következő formában írható:

- $G_0 \leftarrow G_1, G_2, \dots, G_n$ .

Ennek a jelentése:

- Ha (If)  $G_1 \dots G_n$  mind igazak, akkor (then)  $G_0$  is igaz.

A szabály baloldala a feje (head); a jobboldala a törzse (body)

- $G_0 \dots G_n$  a célok

## A törzsben lévő célokat alcéloknak (subgoals) hívjuk

- A vesszőket logikai AND szimbólumként kell olvasni
- Megjegyzés:  $a \leftarrow$  csak azt jelenti, hogy „ha” (“if”) - nem pedig azt, hogy „akkor és csak akkor” (“if and only if”) – lehetnek más szabályok is  $G_0$  –ra!
  - ( $a \leftarrow$  jelölése :- )
  - Speciális eset, ha  $n=0$ , ekkor  $G_0$  egy egyszerű tény, ami mindig igaz.

---

A logikai programozás lehetővé teszi, hogy a programozó megadja tények és if-then szabályok egy listáját, és azután a rendszer automatikusan el tudja dönteni, hogy egy állítás igaz-e, vagy meg tudja mondani, mire igaz, stb.

### Szabályok:

- 'Ábrahám lánya'(X) :- apja('Ábrahám',X), nő(X).
- szülője(X,Y) :- anyja(X,Y).
- szülője(X,Y) :- apja(X,Y).

---

A szülője reláció az állítások által definiált relációk uniója.

$\text{fia}(X,Y) \text{ :- szülője}(Y,X), \text{férfi}(X).$

$\text{lánya}(X,Y) \text{ :- szülője}(Y,X), \text{nő}(X).$

A fia reláció a szülője és a férfi relációk metszete, és hasonlóan adódik a lánya reláció is.

---

$\text{nagyszülője}(X,Y) \text{ :- } \text{szülője}(X,Z), \text{szülője}(Z,Y).$

Ez eltér az előzőektől abban, hogy a jobb oldalán új változó is előfordul. Így kétféle olvasata is van:

- Minden  $X,Y,Z$ -re  $\text{nagyszülője}(X,Y)$ , ha  $\text{szülője}(X,Z)$  és  $\text{szülője}(Z,Y)$ .
- Minden  $X,Y$ -ra  $\text{nagyszülője}(X,Y)$ , ha van olyan  $Z$ , hogy  $\text{szülője}(X,Z)$  és  $\text{szülője}(Z,Y)$ .

Ezek a deklaratív olvasatai a szabálynak. Ezzel szemben áll a procedurális olvasat, ami a logikai programok futtatásához, vagyis a konstruktív bizonyítási eljáráshoz kapcsolódik.

Minden esetben felteszünk egy kérdést.

- Ez a bizonyítandó cél(sorozat).
- Ezután a részcélok bizonyítása, és így kiejtése a feladat. Felülről lefelé érdemes ...

# Keresési fa a részcélokhoz

```
?- nagyszülője('Ábrahám',X).
    szülője('Ábrahám',Z),szülője(Z,X).
        anyja('Ábrahám',Z),szülője(Z,X).    % megghiúsul
        apja('Ábrahám',Z),szülője(Z,X).
            { Z <- 'Izsák' }
                szülője('Izsák',X).
                    anyja('Izsák',X).          % megghiúsul
                    apja('Izsák',X).
                        { X <- 'Jákób' }        % 1. megoldás
                        { X <- 'Ézsau' }        % 2. megoldás
            { Z <- 'Ismáel' }
                szülője('Ismáel',X).
                    anyja('Ismáel',X).          % megghiúsul
                    apja('Ismáel',X).          % megghiúsul
            { Z <- 'Ismeretlen' }
                szülője('Ismeretlen',X).
                    anyja('Ismeretlen',X).      % megghiúsul
                    apja('Ismeretlen',X).      % megghiúsul
```

# Rekurzív szabályok

---

Tegyük fel, hogy azt szeretnénk leírni,  $X$  mikor őse  $Y$ -nak.

- Világos, hogy akkor őse, ha szülője, vagy valamelyik ősének a szülője.

Látható, hogy a relációnak két esete van, és az egyik eset rekurzív.

- Ezt ennek megfelelően egy nem rekurzív és egy rekurzív szabállyal fejezhetjük ki:
  - $\text{őse}(X,Y) :- \text{szülője}(X,Y).$
  - $\text{őse}(X,Y) :- \text{szülője}(X,Z), \text{őse}(Z,Y).$
  - kérdés: ?- $\text{őse}('Ábrahám',X)$

A keresőfa előállításához célszerű a legbal részcélkiválasztási módszert alkalmazni

- Általában is érdemes a nem rekurzívvval kezdeni...

# Felhasználási területek

---

- mesterséges intelligencia
- számítógépes nyelvészet
- adatbáziskezelés ...