Az R nyelv

Jeszenszky Péter
Debreceni Egyetem, Informatikai Kar
jeszenszky.peter@inf.unideb.hu

2019. június 18.

A dim attribútum (1)

- Tömbök és mátrixok megvalósítására szolgál.
- Az attribútum értéke adja meg tömbök illetve mátrixok kiterjedését az egyes dimenziókban.
  - Értéke egy megfelelő számú nemnegatív értékből álló egész vektor.
    - Mátrixoknál speciálisan egy kételemű vektor (az első elem a sorok, a második az oszlopok száma).
- Az attribútumot a tömböket és mátrixokat manipuláló függvények, operátorok automatikusan kezelik.

A dim attribútum (2)

- A `dim(`*x*`)` függvény használható a `dim` attribútum értékének lekérdezésére.
- A `dim(`*x*`) <-` *érték* kifejezés beállítja a `dim` attribútum értékét.
  - *érték* kötelezően olyan nemnegatív elemekből álló egész vektor, melyek szorzata egyenlő *x* hosszával.
    - Megadható valós vektor is, mely egésszé lesz konvertálva.
    - Akkor megengedett 0 az elemek között, ha *x* hossza is 0 (így teljesül a feltétel).
  - Az attribútum értékének törléséhez `NULL`-t kell megadni.

Tömbök és mátrixok

- Megvalósítás a `dim` attribútum segítségével.
- A mátrixok kétdimenziós tömbök.
  - A `dim` attribútum értéke mátrixoknál kételemű vektor.
- A legtöbb függvény és operátor tömbökre és mátrixokra alkalmazása elemenkénti végrehajtást jelent, az eredmény is tömb illetve mátrix.
  - Vannak azonban speciálisan mátrixok kezelésére szolgáló függvények, operátorok.
- Nem csupán vektorokból, hanem akár listákból is létre lehet hozni tömböket és mátrixokat.

Tömbök és mátrixok létrehozása (1)

- Tömb és mátrix létrehozható egy vektorból a `dim` attribútum megadásával.
  - Tömb feltöltése során először az első index futja be az összes lehetséges értéket, …
  - Ennek speciális eseteként mátrix feltöltése a vektor elemeivel oszlop-folytonosan történik.
- Egy tömb vagy mátrix alakja egyszerűen megváltoztatható a `dim` attribútum értékének megváltoztatásával.
- Törölve egy tömb vagy mátrix `dim` attribútumát visszakapjuk az alapul szolgáló vektort.

Tömbök és mátrixok létrehozása (2)

- Példa:

```
x <- 1:6

dim(x) <- c(2, 3) #  egy két sorból és három oszlopból álló mátrix
print(x)
     [,1] [,2] [,3]
[1,]    1    3    5
[2,]    2    4    6

dim(x) <- c(3, 2) #  egy három sorból és két oszlopból álló mátrix
print(x)
       [,1] [,2]
[1,]    1    4
[2,]    2    5
[3,]    3    6
```

Tömbök és mátrixok létrehozása (3)

- Kényelmesebben létrehozhatunk tömböket és mátrixokat az `array()` és `matrix()` függvényekkel.
  - Ezeknél az alapul szolgáló vektor hossza kisebb is lehet a kívánt mérethez szükségesnél (a vektor elemeinek ismétlése a feltöltés során) .

Tömbök és mátrixok létrehozása (4)

- Tömbök létrehozásához használható az `array(x = NA, dim = length(x), dimnames = NULL)` függvény.
  - Az *x* vektor elemei alkotják a tömböt.
  - Ha *x* hossza kisebb a megadott méretnél, akkor az elemek ismétlése.
    - Üres bináris vektor esetén `0`, az összes többi üres atomi vektor esetén megfelelő típusú `NA` értékekkel lesz feltöltve a tömb.
  - A tömbnek a vektor elemeivel feltöltése során először az első index futja be az összes lehetséges értéket, majd a második, …
  - A `dim` és `dimnames` argumentumok az azonos nevű attribútumok értékét szolgáltatják.

Tömbök és mátrixok létrehozása (5)

- Mátrixok létrehozásához használható a `matrix(x = NA, nrow = 1, ncol = 1, byrow = FALSE, dimnames = NULL)` függvény.
  - Az *x* vektor elemei alkotják a mátrixot.
    - Ha *x* hossza kisebb a megadott méretnél, akkor az elemek ismétlése (üres bináris vektor esetén 0, az összes többi üres atomi vektor esetén megfelelő típusú `NA` értékekkel lesz feltöltve a mátrix).
  - Az `nrow` és `ncol` argumentumok a sorok és oszlopok számát adják meg.
    - Elég az egyiket megadni, a másik meghatározható a vektor hosszából.
  - A vektor elemeivel a mátrix alapértelmezésben oszlop-folytonosan lesz feltöltve.
    - Ha a `byrow` argumentum értéke `TRUE`, akkor sor-folytonosan történik a feltöltés.

Vektorok és egydimenziós tömbök

- Az atomi vektorok és az egydimenziós tömbök különböznek!
  - Az atomi vektoroknak nincs `dim`, sem `dimnames` attribútuma.
  - Példa:

```
x <- 1:10
y <- x
dim(y) <- c(1, 10)
all(x == y)        #  TRUE, mivel x és y elemei megegyeznek
identical(x, y)    #  FALSE, mivel x vektor, y pedig
                   #  egy sorból álló mátrix
```

Függvények tömbök és mátrixok kezeléséhez

- Az `is.array(`*x*`)` és `is.matrix(`*x*`)` függvénnyel vizsgálható, hogy az adott objektum tömb-e illetve mátrix-e.
  - Az első függvény mátrixok esetén is `TRUE` értéket ad.
- Az `nrow(`*x*`)` és `ncol(`*x*`)` függvények az *x* objektum sorainak és oszlopainak számát adják.
  - Egy egyelemű egész vektor a visszatérési érték `dim` attribútummal rendelkező struktúrák (tömbök, mátrixok, adatkeretek) esetén, egyéb objektumok esetén pedig `NULL`.

Függvények mátrixok kezeléséhez (1)

- A `diag(`*x*`)` függvény visszatérési értéke:
  - Ha *x* egyelemű egész vektor, akkor egy *x* sorból és oszlopból álló egységmátrix.
    - Egyéb egyelemű atomi vektorok egésszé konvertálása.
  - Ha *x* legalább kételemű vektor vagy egydimenziós tömb, akkor egy olyan diagonális mátrix, melynek főátlójában *x* elemei szerepelnek.
  - Ha *x* mátrix, akkor a főátlóban lévő elemekből képzett vektor.

Függvények mátrixok kezeléséhez (2)

- Mátrixok és vektorok egymáshoz illesztésére szolgálnak az `rbind(…)` és `cbind(…)` függvények.
  - Tetszőleges számú atomi vektort és mátrixot át lehet adni argumentumként.
  - Az első függvény „egymás alá” illeszti az argumentumként adott mátrixokat (vektorok sorvektorokként történő kezelése).
  - A második „egymás mellé” illeszti az argumentumként adott mátrixokat (vektorok oszlopvektorokként történő kezelése).
  - Az argumentumként adott mátrixok azonos számú sorból/oszlopból kell, hogy álljanak, a vektorok azonban lehetnek rövidebbek (kiegészítés az elemek ismétlésével).

Függvények mátrixok kezeléséhez (3)

- A `t(`*x*`)` függvény transzponálást végez.
- Az `isSymmetric(`*x*`)` függvénnyel vizsgálható, hogy az adott mátrix szimmetrikus-e.
- A `det(`*x*`)` függvény az adott négyzetes numerikus mátrix determinánsát határozza meg.
- Az `eigen(`*x*`)` függvény az adott négyzetes numerikus vagy komplex mátrix sajátértékeit és sajátvektorait határozza meg.
- A `solve(`*a*`,`*b*`)` függvény az *a* `%*% x =` *b* lineáris egyenletrendszert oldja meg.
  - *x* négyzetes numerikus vagy komplex mátrix, *b* négyzetes numerikus vagy komplex mátrix vagy vektor lehet.
  - `solve(x)` speciálisan az x mátrix invertálását végzi.

Tömbök és mátrixok indexelése (1)

- Tömbök és mátrixok indexelése az `[]` operátorral hasonlóan történik a vektorokéhoz.
  - A korábban elmondottakat általánosítani lehet tömbökre és mátrixokra is.
- Különbségek vektorok indexeléséhez képest:
  - Az indexhatár-túllépés minden esetben hiba.
  - A `names` attribútum szerepét a `dimnames` attribútum veszi át (fejléc megjelenítésnél és karakter vektorokkal indexelésnél).

Tömbök és mátrixok indexelése (2)

- Az indexelés általában a dimenziókkal azonos számú index megadásával történik, T[*i*, *j*, *k*, …] módon.
  - Bármelyik dimenzióban el lehet hagyni az indexet, mely az összes elem kiválasztását jelenti a megfelelő dimenzióban
  - Mátrixoknál az első index sorindex, a második oszlopindex.
- Egyetlen index megadása esetén vektorként történő indexelés.

Tömbök és mátrixok indexelése (3)

- Speciálisan meg lehet adni indexként egy olyan numerikus mátrixot, melynek a dimenziókkal megegyező számú oszlopa van.
  - Nem egész értékek egésszé konvertálása.
  - Az eredmény egy vektor, az index mátrix valamennyi sora egy-egy kiválasztandó elem indexeit tartalmazza.
  - Az indexben nem megengedettek negatív értékek, 0 és NA viszont igen.
    - A nullákat tartalmazó sorok figyelmen kívül hagyása, NA értéket tartalmazó sorok NA értéket eredményeznek.

Tömbök és mátrixok indexelése (4)

- Elemek kinyerése esetén ha az indexelés eredményeként kapott struktúra mérete valamelyik dimenzióban 1, akkor a megfelelő dimenzió elhagyása.
  - Speciálisan ha az eredmény egydimenziós struktúra, akkor vektort kapunk.
    - Például mátrix egy sorát vagy oszlopát kiválasztva egy vektor az eredmény.

Példa mátrixok indexelésére (1)

- `m[1,2]`:
  - Egyetlen elem kiválasztása.
- `m[1,]`:
  - Az első sor kiválasztása. Elemek kinyerésénél az eredmény megfelelő elemszámú vektor.
- `m[,1]`:
  - Az első oszlop kiválasztása. Elemek kinyerésénél az eredmény megfelelő elemszámú vektor.
- `m[1:5,]`:
  - Az első öt sor kiválasztása. Elemek kinyerésénél az eredmény mátrix vagy megfelelő elemszámú vektor.

Példa mátrixok indexelésére (2)

- `m[1:2,3:1]`:
  - Az első két sorban és első három oszlopban lévő elemek kiválasztása az oszlopok felcserélésével. Elemek kinyerésénél az eredmény mátrix.
- `m[abs(m) > 1]`:
  - Az egynél nagyobb abszolút értékű elemek kiválasztása. A mátrix vektorként indexelése történik a kifejezésben. Elemek kinyerésénél az eredmény vektor.

Infix és prefix operátorok (1)

- Az operátorok precedencia szerint csökkenő sorrendben:
  - `::`
  - `$ @`
  - `^`
  - `+ -` (egy operandusú)
  - `:`
  - *%xyz%*
  - `* /`
  - `+ -` (kétoperandusú)

Infix és prefix operátorok (2)

- Az operátorok precedencia szerint csökkenő sorrendben (folytatás):
  - `> >= <= < == !=`
  - `!`
  - `& &&`
  - `| ||`
  - `~` (egy és kétoperandusú)
  - `-> ->>`
  - `=`
  - `<- <<-`

Infix és prefix operátorok (3)

- A ^, (egy operandusú) `-`, `<-`, = és `<<-` operátor jobbról, az összes többi balról asszociatív.
- Precedencia előírására a programozási nyelvekben megszokott módon lehet használni a kerek zárójeleket.
- A felhasználó is definiálhat infix kétoperandusú operátorokat.
  - Az ilyen operátorok *%xyz%* alakúak, ahol xyz tetszőleges, a `'%'` karaktertől különböző nyomatható karakterekből álló karaktersorozat.

Aritmetikai operátorok (1)

- Kétoperandusú műveleteknél az eredmény:
  - Komplex, ha az egyik vagy mindkét operandus komplex típusú.
  - Valós, ha az egyik vagy valamelyik operandus valós típusú.
  - Egész, ha mindkét operandus egész típusú, a `^` és `/` operátorok kivételével, melyek minden esetben valós eredményt adnak.
- Az operandusok lehetnek logikai típusúak, melyek automatikusan egész típusúvá lesznek konvertálva.
  - `TRUE` érték 1 lesz, `FALSE` pedig 0.

Aritmetikai operátorok (2)

- Az aritmetikai operátorok vektorokra alkalmazása elemenként alkalmazást jelent.
  - Az operandusok azonos hosszra normalizálása.

Aritmetikai operátorok (3)

- A `+`, `-`, `*`, `/` operátorok jelentése a programozási nyelvekben megszokott.
  - Egészek osztásának eredménye valós.
- A `^` operátor hatványozást jelent.
- A `%%` operátor maradékos osztást jelent.
  - 0-val való maradékos osztás eredménye `NaN` (ha mindkét operandus egész, akkor `NA`).
- A `%/%` operátor egész osztást jelent.
  - 0-val való egész osztás eredménye `Inf` (ha mindkét operandus egész, akkor `NA`).

Aritmetikai operátorok (4)

- A %*% operátor szolgál mátrixok szorzására.
  - Hiba, ha a mátrixok mérete nem megfelelő.
  - Ha az egyik operandus vektor, akkor annak egy sorból vagy oszlopból álló mátrixszá alakítása, hogy a művelet elvégezhető legyen.
  - Ha mindkét operandus vektor, akkor azok belső szorzatát adja (az eredmény egy egy sorból és oszlopból álló mátrix).

Logikai operátorok (1)

- A logikai operátorok automatikusan logikai típusúvá konvertálják az operandusokat.
  - Komplex, valós és egész típusú értékek konvertálásakor minden nullától különböző érték `TRUE`, a 0 pedig `FALSE` értéket eredményez.
    - Kivétel a `NaN` érték, mely speciálisan `NA` értéket eredményez.
  - Bináris vektorok esetében a `!`, `&` és `|` operátoroknál nincs konverzió, bitenkénti műveletvégzés történik.
  - Karakter vektorok esetén hiba.
- Operandusként megjelenhet `NA`.

Logikai operátorok (2)

- A `!` operátor elemenkénti negációt végez.
- Az `&` és `|` operátorok elemenkénti logikai ÉS illetve logikai VAGY műveletet végeznek.
- Az `&&` és `||` operátorok ugyancsak logikai ÉS illetve VAGY műveletek.
  - Azonban kizárólag az operandusok első elemeit használják és rövidzár kiértékelést végeznek.
  - Használat vezérlési szerkezetekben (`if`, `while`).
- Az `xor(`*`x`*`,`*`y`*`)` függvény az elemenkénti kizáró VAGY logikai műveletet valósítja meg.

Néhány hasznos logikai függvény (1)

- Az `all(…)` függvény akkor, és csak akkor ad TRUE értéket, ha az argumentumként adott logikai vektorok minden eleme TRUE értékű.
  - Példa: `all(x > 0)`, `all(y > 0, z > 0)`
- Az `any(…)` függvény akkor, és csak akkor ad TRUE értéket, ha az argumentumként adott logikai vektorok elemei között van legalább egy TRUE értékű.
  - Példa: `any(x != 0)`
- Mindkét függvény logikai típusúvá alakítja az argumentumait.

Néhány hasznos logikai függvény (2)

- Az `ifelse(`*feltétel*`,`*igaz*`,`*hamis*`)` függvény egy *feltétel*-lel megegyező alakú értéket ad, melynek elemei az *igaz* és *hamis* argumentumokból lesznek kiválasztva *feltétel* alapján.
  - Az első argumentum logikai típusú vagy ilyen típusúvá konvertálható kell, hogy legyen.
  - Az eredmény hossza és attribútumai megegyeznek *feltétel*-évl (ha például feltétel mátrix, akkor az eredmény is az).
  - Szükség esetén *igaz* és *hamis* hosszának normalizálása feltétel hosszára.
  - Ha feltétel minden eleme hamis, akkor az *igaz* argumentum nem lesz kiértékelve, hasonlóan ha feltétel minden eleme igaz, akkor *hamis* nem lesz kiértékelve.
  - Ha *feltétel*-ben `NA` szerepel, az eredmény megfelelő eleme is `NA` lesz.

Néhány hasznos logikai függvény (3)

- Példa:

```
age <- c(11, 73, 38, 63, 13)
ifelse(age >= 18, "adult", "underage")
# "underage" "adult" "adult" "adult" "underage"

x <- runif(100, -1, 1)
x <- ifelse(abs(x) > 0.5, x, 0)
all(x == 0 | 0.5 < abs(x)) # TRUE

ifelse(-1 <= y & y <= 1,
  -abs(y) + 1,
  abs(y) - 1
)
```

Összehasonlító operátorok (1)

- A >, >=, <=, <, ==, != operátorok jelentése a programozási nyelvekben megszokott.
  - Karakterláncok hasonlítása lexikografikus rendezés szerint (a rendezés módja a környezettől függ).
- Az operandusok elemenkénti összehasonlítása.
- Legalább az egyik operandus atomi vektor kell, hogy legyen.
  - Ha a két operandus különböző típusú atomi vektor, akkor a művelet elvégzéséhez azonos típusúvá lesznek konvertálva (a céltípus a konverzió során a karakter, komplex, valós, egész és logikai típusok közül sorrendben az első).
  - Ha az egyik operandus lista, akkor annak az atomi vektor típusára konvertálása (hiba, ha ez nem végezhető el).
    - A konverzió elvégezhető, ha a lista valamennyi eleme egyelemű és a megfelelő típusúvá konvertálható.

Összehasonlító operátorok (2)

- `NA` értékkel összehasonlítás eredménye minden esetben `NA`!
- Az `if` és `while` utasításokban – melyekben a feltétel egyetlen logikai érték kell, hogy legyen – kerülni ajánlott az `==` és `!=` operátorok használatát, melyek végrehajtása elemenként történik.
  - Használjuk helyettük az `identical(`*x*`,`*y*`)` függvényt, mely `TRUE` értéket ad vissza, ha a két argumentum azonos, egyébként pedig `FALSE` értéket.
  - Gyakran még hasznosabb a megengedőbb `isTRUE(all.equal(`*x*`,`*y*`))`.

Értékadó operátorok (1)

- A *név* `<-` *érték*, *érték* `->` *név*, *név* `<<-` *érték* és *érték* `->>` *név* kifejezések egyaránt az adott nevű változónak adnak értéket.
  - *név* egy változó neve, *érték* egy tetszőleges kifejezés.
- A `<-` és `<<-` operátorok jobbról, a `->` és `->>` operátorok pedig balról asszociatívak.
- Minden esetben az *érték* kifejezés értéke az értékadó kifejezések értéke.
  - Tehát megengedettek például a `z <- y <- x <- 1` és `1 -> x -> y -> z` kifejezések

Értékadó operátorok (2)

- A `<-` és `->` operátorok esetében az értékadás abban a környezetben történik, melyben az értékadó kifejezés kiértékelésre kerül.
- A `<<-` és `->>` operátorok az adott nevű szimbólumot keresik abból a környezetből kiindulva, melyben végrehajtásra került az értékadás, kifelé haladva a bezáró környezetekben.
  - Ha valamelyik környezetben van ilyen szimbólum, akkor az értékének helyettesítése az értékadásban adott kifejezés értékével.
  - Ha nincs ilyen szimbólum, akkor az értékadás elvégzése globálisan, a globális környezetben.

Értékadó operátorok (3)

- Az *x* `<-` *érték*, *érték* `->` *x*, *x* `<<-` *érték* és *érték* `->>` *x* kifejezésekben *x* lehet egy objektum egy részét megadó kifejezés is.
  - Megengedettek például az `x[1:10] <- 0` és `x[10:19] <- 1:10` értékadások.

Környezetek (1)

- A környezeteket egy szimbólum-érték párokat tartalmazó úgynevezett keret (*frame*) alkotja, valamint egy mutató egy másik környezetre, amit bezáró környezetnek hívnak (*enclosure*).
- Ilyen módon a környezetek faszerkezetet alkotnak.
  - A fa gyökere egy üres környezet, mely az `emptyenv()` függvénnyel érhető el.
  - A fában egy környezet szülője a bezáró környezete.
- Szimbólumkeresés művelet (szimbólum értékének meghatározása).
  - Ha egy környezet nem tartalmazza a szimbólumot, a keresés a bezáró környezetben folytatódik.

Környezetek (2)

- A környezetek kezelése automatikusan történik.
  - Például minden függvényhívás során automatikusan létrejön egy környezet, mely a függvény lokális változóit és argumentumait tartalmazza.
- Vannak azonban környezetek kezelésére szolgáló függvények.
  - Például a `new.env()` függvény egy új, üres környezetet hoz létre.

Környezetek (3)

- Az úgynevezett globális környezet a felhasználó munkaterülete.
  - Minden parancssorban elvégzett értékadás a globális környezetben hozza létre a megfelelő objektumot.
  - Ez a keresési útvonal első eleme, a keresési útvonalban ezt követő környezet a bezáró környezete, és így tovább (lásd a keresési útvonalnál leírtakat).
- A `.GlobalEnv` változó és `globalenv()` függvény értéke egyaránt a globális környezetet szolgáltatják.

Környezetek (4)

- Példa környezetek használatára:

```
ls()
ls(pattern = "x")
ls(pattern = "^x")
rm(list = ls(all = TRUE))
exists("x")    # FALSE
x <- 1
exists("x")    # TRUE
exists("sin")  # TRUE
exists("sin", inherits = FALSE) # FALSE
if (! exists("f", mode = "function"))
  f <- function(x) 1 / (1 + exp(-x))
# ...
rm(f)
```

Keresési útvonal

- Környezeteket tartalmaz, melyekben a máshol nem megtalált szimbólumokat kell keresni.
- A keresési útvonal első eleme a globális környezet, utolsó eleme pedig mindig a `base` csomag.
- A keresési útvonalon szereplő valamennyi környezetnek az útvonalon őt követő környezet a bezáró környezete.
- Ha egy szimbólumkeresés sikertelen volt, akkor a keresési útvonalban adott környezetekben folytatódik a keresés.
- A `search()` függvény a keresési útvonalat adja vissza egy karakter vektor formájába.
- A keresési útvonalat manipulálják például az `attach()`, `detach()` és `library()` függvények.

Függvények

- Minden függvényt az alábbi három komponens alkot:
  - Formális argumentumlista
  - Törzs
  - Egy a függvény környezetének nevezett környezet
- Egy függvényt és környezetét együtt lezárásnak (*closure*) nevezik.
- Függvények komponenseinek manipulálására szolgálnak a `formals(`*f*`)`, `body(`*f*`)` és `environment(`*f*`)` függvények.
  - Ezeket akár értékadó kifejezésben is lehet használni értékadó operátor bal oldalán.

Függvények definiálása (1)

- Egy névtelen függvényt definiál a `function(`*arglista*`)` *törzs* kifejezés.

Formális argumentumlista

- Olyan vessző karakterekkel elválasztott argumentumok alkotják, melyek az alábbiak lehetnek:
  - *név*
  - *név = kifejezés*
  - `...`
- A második alapértelmezett értéket ad az argumentumnak.
- A harmadik változó argumentumszámú függvényeknél és argumentumlista továbbadásnál használt.
- Az argumentumlista lehet üres.

Függvények törzse

- A törzs a függvény visszatérési értékét szolgáltatja, lehet egyetlen kifejezés vagy összetett utasítás.
- Kizárólag függvény törzsében használható a `return(`*x*`)` függvényhívás.
  - A függvény befejeztetésére szolgál, az argumentum értéke lesz a visszatérési érték.
  - A függvényt meg lehet hívni argumentum nélkül, `return()` módon is, ekkor `NULL` a visszatérési érték.
- Ha a függvény törzsében nem hajtódik végre egyetlen `return()` függvényhívás sem, akkor a visszatérési érték a törzsben utoljára kiértékelt kifejezés értéke.

Függvények definiálása (2)

- Példa:

```
p <- function(a, x) sum(x^((length(a) - 1) : 0) * a)

fibonacci <- function(n) {
  a <- (1 + sqrt(5)) / 2
  b <- (1 - sqrt(5)) / 2
  (a^n - b^n) / sqrt(5)
}

d <- function(x, y) {
  if (! is.vector(x) || ! is.vector(y)
      || ! is.numeric(x) || ! is.numeric(y))
    stop("both arguments must be numeric vectors")
  z <- sqrt((x - y) %*% (x - y))
  drop(z)
}
```

Függvények definiálása (3)

- Példa:

```
f <- function(beta = 1)
  function(x) 1 / (1 + exp(-beta * x))
```

Függvényhívás (1)

- A következő formában lehetséges:
  függvény-hivatkozás`(`arg_1`, ..., `arg_n`)`.
  - A kifejezésben szereplő *függvény-hivatkozás* legegyszerűbb esetben egy azonosító (a függvény neve), de lehet karakterlánc (ha a függvény neve nem azonosító) vagy egy függvény objektumot szolgáltató kifejezés.
  - Az argumentumokat meg lehet adni névvel is *név* = *kifejezés* módon, ekkor a paraméterkiértékelésnél név szerinti kötés történik.
  - Legegyszerűbb esetben *név* azonosító, de lehet karakterlánc is.
  - Továbbá argumentum helye hagyható üresen és megadható a speciális `...` karaktersorozat.
    - Utóbbi csak akkor megengedett, ha a hívás függvény törzsében történik.

Függvényhívás (2)

- Bizonyos speciális függvényhívások értékadó operátor bal oldalán is megjelenhetnek értékadó kifejezésben.
  - Lásd például az attribútumok értékének beállítása kapcsán leírtakat.
- Lásd a kiértékelési környezeténél leírtakat a függvények és környezetek kapcsán.

Függvényhívás (3)

- Példa:

```
f <- function(beta=1)
  function(x) 1 / (1 + exp(-beta * x))
f()
f()(0)
f(1)
f(1)(0)

"Hello, world!" <- function() cat("Hello, world!\n")
get("Hello, world!")
"Hello, world!"()

(function(n, k) factorial(n) / (factorial(k) *
  factorial(n - k))) (9, 3)
```

Rekurzió (1)

- Rekurzió megvalósításához használjuk a `Recall(...)` függvényt, mely a tartalmazó függvényt fogja meghívni.
  - Egyébként a függvény átnevezése hibát okoz.

Rekurzió (2)

- Rekurzió hibás megvalósítása (a függvény nem átnevezhető):

```
h <- function(n) {
  if (n == 1)
    return(1)
  else
    return(2 * h(n - 1) + 1)
}

h(3)
hanoi <- h    #  A függvény lemásolása
rm(h)         #  A h függvény törlése
Hanoi(3)      #  Hiba, mivel nincs h függvény!
```

Rekurzió (3)

- Rekurzió helyes megvalósítása:

```
f <- function(n) {
  if (n == 1)
    return(1)
  else
    return(2 * Recall(n - 1) + 1)
}
f(3)
hanoi <- f   #  A függvény átnevezése
rm(f)        #  Az f függvény törlése
hanoi(3)
```

Rekurzió (4)

- Rekurzió helyes megvalósítása (Ackermann-függvény):
  - Lásd: https://en.wikipedia.org/wiki/Ackermann_function

```
ackermann <- function(m, n) {
  if (m == 0)
    return(n + 1)
  else if (m > 0 && n == 0)
    return(Recall(m - 1, 1))
  else if (m > 0 && n > 0)
    return(Recall(m - 1, Recall(m, n - 1)))
  stop("Should never get here")
}
```

Függvények és környezetek (1)

- Egy függvény környezete az a környezet, mely a függvény létrehozásakor aktív volt.
  - A függvény környezetének szimbólumaihoz a függvény létrehozásának pillanatában aktuális értékeik kerülnek rögzítésre.
- A parancssorban létrehozott függvények környezete ilyen módon a globális környezet.
- Az `environment(`*`f`*`)` függvényhívás az argumentumként adott függvény környezetét szolgáltatja.

Függvények és környezetek (2)

- Minden függvényhívás során automatikusan létrejön egy kiértékelési környezetnek nevezett új környezet, amely a függvény lokális változóit és argumentumait tartalmazza.
  - Ebben a környezetben történik a függvény törzsét alkotó kifejezések kiértékelése.
  - Ennek a környezetnek a bezáró környezete a függvény környezete.

Függvények és környezetek (3)

- Példa:

```
rm(list = ls())

f <- function(x) {
  g <- function(y) x + y
  return(g)
}

h <- f(3)
ls(envir = environment(f))          # "f" "h"
ls(envir = environment(h))          # "g" "x"
get("x", envir = environment(h))    # 3
```

Paraméterkiértékelés (1)

- Az aktuális paraméterek formális paraméterekhez való hozzárendelése név szerinti és sorrendi kötés alapján történik.
- Mivel formális argumentumokhoz meg lehet adni alapértelmezett értéket, a hívásnál megadott argumentumok száma lehet kevesebb a formális argumentumok számánál.
- Függvény lehet változó argumentumszámú is.

Paraméterkiértékelés (2)

- Az aktuális és formális argumentumok megfeleltetése három lépésben történik az alábbiak szerint:
  1. Teljes névegyezés alapján
  2. Részleges névegyezés alapján
  3. Sorrendi kötés alapján
- Hiba, ha az algoritmus végén nem lesz párja egy aktuális argumentumnak, vagy egy olyan formális paraméternek, melynek nincs alapértelmezett értéke.

Paraméterkiértékelés (3)

- Teljes névegyezés alapján:
  - Minden névvel megadott aktuális argumentumot meg kell feleltetni az azonos nevű formális argumentumnak.
  - Hiba, ha egy formális argumentum nevével több aktuális argumentum neve is megegyezik.
  - Azaz minden formális argumentum értéke legfeljebb egyszer adható meg.

Paraméterkiértékelés (4)

- Részleges névegyezés alapján:
  - Az előző lépésben formális argumentumoknak nem megfeleltetett névvel megadott aktuális argumentumok mindegyikéhez olyan formális argumentumot kell keresni a megmaradtak közül, melynek neve az adott aktuális argumentum nevével kezdődik.
  - Hiba, ha egy aktuális argumentumhoz több ilyen formális argumentum van.
  - Tehát név szerinti paraméterátadásnál nem kötelező kiírni egy formális argumentum teljes nevét, ha az egyértelműen rövidíthető.
  - Ha a formális argumentumok között van `...`, akkor a részleges névegyezés vizsgálata csak az ezt megelőző formális argumentumoknál.

Paraméterkiértékelés (5)

- Sorrendi kötés alapján:
  - Az előző két lépésben kimaradt formális argumentumok megfeleltetése a megmaradt aktuális argumentumoknak a megadásuk sorrendjében.
  - Ha van a formális argumentumlistában `...`, akkor ennek megfeleltetni az összes kimaradt aktuális argumentumot.

Paraméterkiértékelés (6)

- Az aktuális argumentumok és az alapértelmezett argumentumok kiértékelése másként történik.
  - Az aktuális argumentumok kiértékelése a hívó függvény környezetében történik.
  - Az alapértelmezett argumentumok kiértékelése pedig a függvény környezetében.
- Egy argumentum kiértékelése csak akkor történik meg, ha szükség van az értékére.
  - Elképzelhető, hogy egyáltalán nem is értékelődik ki egy aktuális argumentum.
  - Ezért ne adjunk aktuális paraméterként olyan mellékhatásos kifejezést, mint például az értékadás.

Paraméterkiértékelés (7)

- Az aktuális és formális argumentumok megfeleltetése egymásnak nem a leírtak szerint történik a primitív függvények esetében.
  - Ezek tipikusan nem veszik figyelembe a névvel megadott aktuális argumentumok neveit, hanem sorrendi kötés alapján feleltetik meg egymásnak a formális és aktuális argumentumokat.
- A paraméterátadás érték szerint történik.

Függvények vektorizálása (1)

- Számos operátor és függvény vektorokra alkalmazása elemenkénti végrehajtást eredményez.
  - Ilyenek például az aritmetikai operátorok és a matematikai függvények egy része (`abs(`*x*`)`, `sin(`*x*`)`, `sqrt(`*x*`)`, …).
- A `Vectorize(`*f*`)` függvénnyel lehet vektorizálni az argumentumként adott *f* függvényt.
  - A visszatérési érték egy az *f* függvénnyel egyező formális argumentumlistájú függvény, mely azonban vektorokra is alkalmazható.
  - Vektorokra való alkalmazás *f* elemenkénti alkalmazását jelenti.

Függvények vektorizálása (2)

- Példa: a korábban definiált függvények vektorizálása

```
Vectorize(hanoi)(1:10)
# 1 3 7 15 31 63 127 255 511 1023

Vectorize(ackermann)(0:3, 0)
# 1 2 3 5

outer(0:3, 0:3, Vectorize(ackermann))
#      [,1] [,2] [,3] [,4]
# [1,]    1    2    3    4
# [2,]    2    3    4    5
# [3,]    3    5    7    9
# [4,]    5   13   29   61
```

Összetett utasítás

- Blokknak vagy összetett utasításnak nevezik az alábbit:
  { *kifejezés*$_1$; *kifejezés*$_2$; … ; *kifejezés*$_n$ }
- Az összetett utasításban tetszőleges kifejezéseket meg lehet adni, melyeket el lehet választani új sor karakterekkel is.
- A kifejezések kiértékelése, az összetett utasítás értéke a benne utoljára kiértékelt kifejezés értéke.
- Az összetett utasítás kiértékelése csak akkor történik meg, ha a végét jelző `'}'` karakter után beolvasásra került egy új sor karakter.

Vezérlési szerkezetek

- Elágaztató utasítások:
  - `if (` *kifejezés*$_1$ `)` *kifejezés*$_2$ `else` *kifejezés*$_3$
  - `if (` *kifejezés*$_1$ `)` *kifejezés*$_2$
- Ciklusszervező utasítások:
  - `repeat` *kifejezés*
  - `while (` *kifejezés*$_1$ `)` *kifejezés*$_2$
  - `for (` *név* `in` *kifejezés*$_1$ `)` *kifejezés*$_2$
  - `break`
  - `next`

Az if utasítás (1)

- Használat:
  `if (` *kifejezés*$_1$ `)` *kifejezés*$_2$ `else` *kifejezés*$_3$
  `if (` *kifejezés*$_1$ `)` *kifejezés*$_2$
  - *kifejezés*$_1$ értéke olyan logikai vagy azzá konvertálható vektor lehet, melynek első eleme `NA` értéktől különböző kell, hogy legyen.
  - *kifejezés*$_2$ és *kifejezés*$_3$ tetszőleges kifejezések.
  - Figyelmeztetést eredményez, ha *kifejezés*$_1$ értéke egynél hosszabb vektor (csak az első elem lesz felhasználva).

Az if utasítás (2)

- Végrehajtáskor először kiértékelődik az első kifejezés.
  - Ha *kifejezés*$_1$ értéke olyan logikai vektor, melynek első eleme `TRUE`, akkor kiértékelődik *kifejezés*$_2$ és annak értéke az utasítás visszatérési értéke.
  - Egyébként:
    - Ha van `else` ág, akkor kiértékelődik *kifejezés*$_3$ és annak értéke az utasítás visszatérési értéke.
    - Ha nincs `else` ág, akkor `NULL` az utasítás visszatérési értéke.

Az if utasítás (3)

- Ha az `if` utasítás nem összetett utasításban szerepel, akkor az `else` egy sorban kell, hogy szerepeljen *kifejezés*$_2$-vel.
  - Speciálisan ha *kifejezés*$_2$ összetett utasítás, akkor a végét jelző `'}'` és az `else` között nem megengedett új sor karakter.
- Az `if` utasításokat tetszőleges mélységig egymásba lehet ágyazni.

Az if utasítás (4)

- Példa:

```
med <- function(x) {
  x <- sort(x)
  if (length(x) %% 2 == 1)
    x[ceiling(length(x) / 2)]
  else
    (x[length(x) / 2] + x[length(x) / 2 + 1]) / 2
}

med(1:10) # 5.5
```

A repeat utasítás (1)

- Használat:
  `repeat` *kifejezés*
  - Az utasításban szereplő kifejezés tetszőleges lehet.
  - A kifejezés kiértékelése újra és újra, melyet egy `break` utasítás végrehajtása szakít meg.
  - A kifejezés tipikusan egy feltételes `break` utasítást is tartalmazó összetett utasítás (lehet önmagában egyetlen `break` utasítás, de ez nem túl hasznos).
- Végtelen ciklus megvalósítására szolgál.
- Az utasítás visszatérési értéke `NULL`.

A repeat utasítás (2)

- Példa:

```
env <- new.env()
repeat {
  line <- readLines(n = 1)
  line <- trimws(line)
  if (line == "")
    next
  try(print(eval(parse(text = line), envir = env)))
}
```

A while utasítás (1)

- Használat:
  `while (` *kifejezés*$_1$ `)` *kifejezés*$_2$
  - Az utasításban szereplő *kifejezés*$_1$ kifejezésre pontosan ugyanazok a feltételek kell, hogy teljesüljenek, mint az `if` utasítás esetében.
  - *kifejezés*$_2$ hasonlóan tetszőleges kifejezés lehet.
- A programozási nyelvekben megszokott kezdőfeltételes ciklus.

A while utasítás (2)

- Végrehajtáskor először kiértékelődik az első kifejezés.
  - Ha *kifejezés*$_1$ értéke olyan logikai vektor, melynek első eleme TRUE, akkor kiértékelődik *kifejezés*$_2$, majd újból *kifejezés*$_1$, …
  - Az utasítás végrehajtása akkor fejeződik be, ha *kifejezés*$_1$ kiértékelése FALSE értéket eredményez.
- Az utasítás visszatérési értéke NULL.

A while utasítás (3)

- Példa:

```
gcd <- function(m, n) {
  r <- m %% n
  while (r != 0) {
    m <- n
    n <- r
    r <- m %% n
  }
  n
}

gcd(51877827, 26314496) # 7907
```

A for utasítás (1)

- Használat:
  `for (` *név* `in` *kifejezés*$_1$ `)` *kifejezés*$_2$
  - *kifejezés*$_1$ olyan kifejezés lehet, melynek értéke atomi vektor, lista, kifejezés objektum vagy `NULL`.
  - *kifejezés*$_2$ tetszőleges kifejezés lehet.

A for utasítás (2)

- Végrehajtáskor az adott nevű változó sorban felveszi értékül *kifejezés*$_1$ értékének elemeit és minden elemre kiértékelődik *kifejezés*$_2$.
  - Csak egyszer kerül kiértékelésre *kifejezés*$_1$!
  - Ha *kifejezés*$_1$ értéke `NULL`, akkor egyszer sem értékelődik ki *kifejezés*$_2$.
  - *kifejezés*$_2$-ben meg lehet változtatni a változó értékét, de az ettől függetlenül felveszi *kifejezés*$_1$ értékének minden elemét.
- Az utasítás visszatérési értéke `NULL`.

A for utasítás (3)

- Az utasítás végrehajtása után mellékhatásként a változó értéke az lesz, melyet a kiértékelés során utoljára felvett.
  - Speciálisan a változó értéke `NULL` lesz akkor, ha *kifejezés*$_1$ értéke 0 hosszú vagy pedig `NULL`.

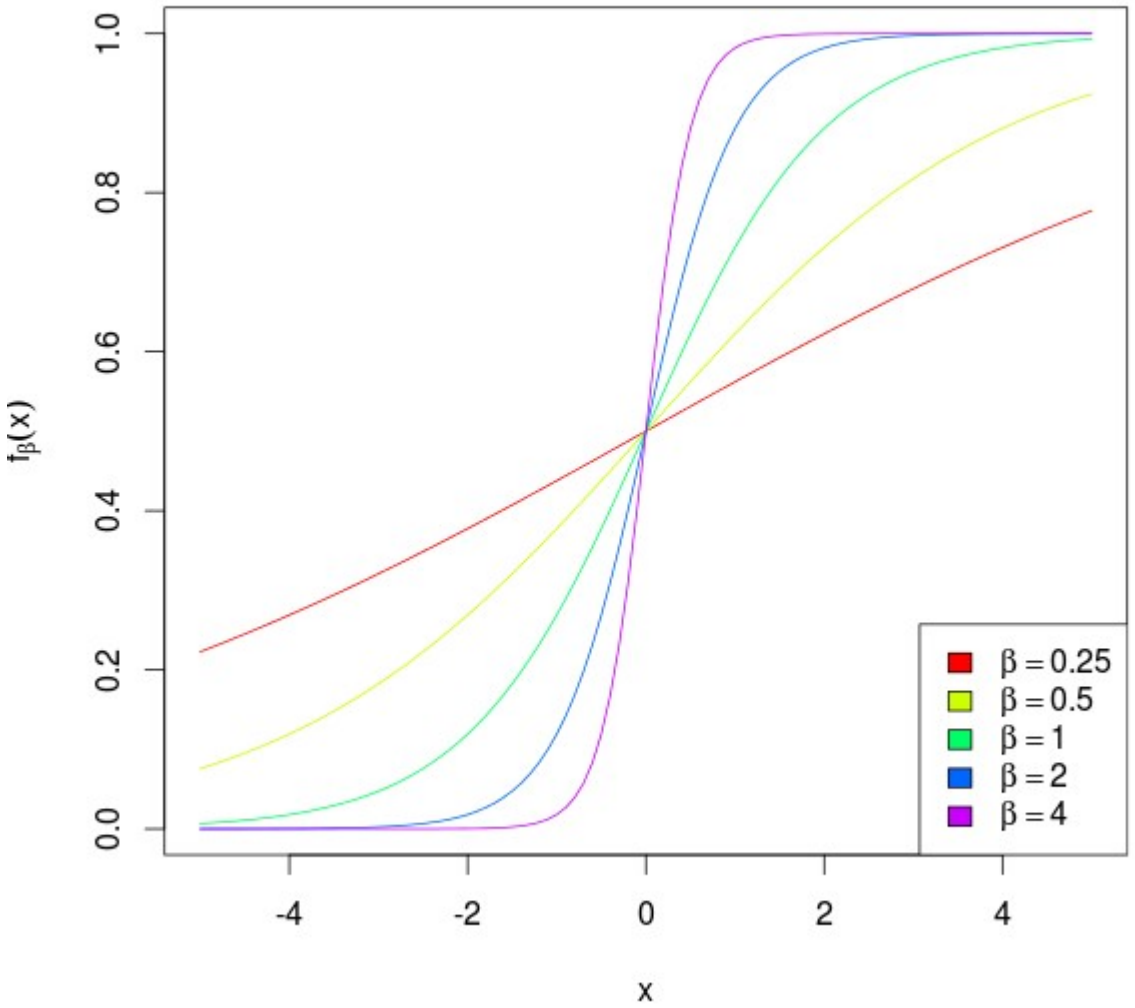
A for utasítás (4)

- Példa:

```
f <- function(beta) function(x) 1 / (1 + exp(-beta * x))
plot(f(1), -5, 5,
  type = "n",
  ylab = expression(f[beta](x)))
title(main = expression(f[beta](x) ==
  frac(1, 1 + exp(-beta * x))))
beta <- 2^(-2:2)
palette <- rainbow(length(beta))
for (i in 1:length(beta)) {
  plot(f(beta[i]), -5, 5, col = palette[i], add = TRUE)
}
legend <- as.expression(lapply(beta,
  function(x) substitute(beta == value, list(value = x))))
legend("bottomright", legend = legend, fill = palette)
```

A for utasítás (5)

$$f_\beta(x) = \frac{1}{1+\exp(-\beta x)}$$



A break és next utasítások

- Mindkét utasítás csak ciklusszervező utasításokban használható.
- A `break` utasítás megszakítja a legbelső tartalmazó ciklusszervező utasítás végrehajtását.
- A `next` utasítás megszakítja a ciklus aktuális iterációjának végrehajtását és a végrehajtás következő iterációját idézi elő.
- Nincs visszatérési értékük.