Juhász István

PROGRAMOZÁS 2

mobiDIÁK könyvtár

Juhász István

Programozás 2

mobiDIÁK könyvtár

SOROZATSZERKESZTŐ
Fazekas István

Juhász István

Programozás 2

Egyetemi jegyzet
Első kiadás

mobiDIÁK könyvtár

Debreceni Egyetem
Informatikai Kar

Lektor

Espák Miklós
Debreceni Egyetem

mobiDIÁK könyvtár
Debreceni Egyetem
Informatikai Kar
4010 Debrecen, Pf. 12
http://mobidiak.inf.unideb.hu

A mű **A mobiDIÁK önszervező mobil portál** (IKTA, OMFB-00373/2003) és a **GNU Iterátor, a legújabb generációs portál szoftver** (ITEM, 50/2003) projektek keretében készült.

TARTALOMJEGYZÉK

ELŐSZÓ

Jelen jegyzet a Debreceni Egyetem Informatika tanár, Programozó matematikus és Programtervező matematikus szakán alapozó tárgy, a **Programozás 2** elméleti anyagát tartalmazza. A tantárgy előfeltétele a **Programozás 1** tárgy, vele együtt alkotnak szerves egészet. Ez a jegyzet teljes egészében felhasználja az ott elsajátított ismereteket, azok nélkül nem érthető és nem tanulható. Továbbá sokban támaszkodik és gyakran hivatkozik az **Operációs rendszerek 1** és az **Adatszerkezetek és algoritmusok** című tárgy témaköreire is.

A jegyzet megírásának időpontjában a tárgy gyakorlatán a Java a kötelező nyelv. A gyakorlaton Gábor András és Fazekas Imre **Java példatár** című elektronikus jegyzete használható.

1. AZ OBJEKTUMORIENTÁLT PARADIGMA

Az *objektumorientált* (OO) paradigma középpontjában a programozási nyelvek absztrakciós szintjének növelése áll. Ezáltal egyszerűbbé, könnyebbé válik a modellezés, a valós világ jobban leírható, a valós problémák hatékonyabban oldhatók meg.

Az OO szemlélet szerint az adatmodell és a funkcionális modell egymástól elválaszthatatlan, külön nem kezelhető. A valós világot egyetlen modellel kell leírni és ebben kell kezelni a statikus (adat) és a dinamikus (viselkedési) jellemzőket. Ez az *egységbezárás* elve.

Az OO paradigma az absztrakt adattípus fogalmán épül fel. Az OO nyelvek legfontosabb alapeszköze az absztrakt adattípust megvalósító *osztály*. Az osztály maga egy absztrakt nyelvi eszköz, ezen nyelvek implementációi gyakran egy osztályegyüttesként jönnek létre.

Az osztály rendelkezik *attribútumokkal* és *módszerekkel*. Az attribútumok tetszőleges bonyolultságú adatstruktúrát írhatnak le. A módszerek szolgálnak a viselkedés megadására. Ezek fogalmilag (és általában ténylegesen is) megfelelnek az eljárásorientált nyelvek alprogramjainak.

A másik alapeszköz az *objektum*, ami konkrét nyelvi eszköz. Egy objektum mindig egy osztály *példányaként* jön létre a *példányosítás* során. Egy adott osztály minden példánya azonos adatstruktúrával és azonos viselkedésmóddal rendelkezik.

Minden objektumnak van *címe*, az a memóriaterület, ahol az adatstruktúra elemei elhelyezkednek. Az adott címen elhelyezkedő értékegyüttest az objektum *állapotának* hívjuk. A példányosítás folyamán az objektum *kezdőállapotba* kerül.

Az OO szemléletben az objektumok egymással párhuzamosan, egymással kölcsönhatásban léteznek. Az objektumok kommunikációja *üzenetküldés* formájában történik. Minden objektum példányosító osztálya meghatározza azt az *interfészt*, amely definiálja, hogy más objektumok számára az ő példányainak mely attribútumai és módszerspecifikációi látszanak (erre szolgál a *bezárási* eszközrendszer – l. később). Tehát egy objektum küld egy üzenetet egy másik objektumnak (ez általában egy számára látható módszer meghívásával és az üzenetet fogadó objektum megnevezésével történik), ez pedig megválaszolja azt (a módszer visszatérési értéke, vagy változó paraméter segítségével). Az üzenet hatására lehet, hogy az objektum megváltoztatja az állapotát.

Az objektumnak van *öntudata*, minden objektum csak önmagával azonos és az összes többi objektumtól különbözik. Minden objektum rendelkezik egyedi *objektumazonosítóval* (OBject Identifier – OID), amelyet valamilyen nyelvi mechanizmus valósít meg.

Egy osztály attribútumai és módszerei lehetnek *osztály* és *példány szintűek.* A példány szintű attribútumok minden példányosításnál elhelyezésre kerülnek a memóriában, ezek értékei adják meg a példány állapotát. Az osztály szintű attribútumok az osztályhoz kötődnek, nem „többszöröződnek”. Például ilyen attribútum lehet az osztály *kiterjedése*, ami azt adja meg, hogy az adott osztálynak az adott pillanatban hány példánya van.

A példány szintű módszerek a példányok viselkedését határozzák meg. Ezen módszerek meghívásánál mindig meg kell adni egy konkrét objektumot. Azt az objektumot, amelyen egy módszer éppen operál, *aktuális példánynak* hívjuk.

Az osztály szintű módszereknél általában nincs aktuális példány, általában az osztály szintű attribútumok manipulálására használjuk őket.

A példány szintű módszerek lehetnek *beállító* és *lekérdező* módszerek. A beállító módszerek hatására az aktuális példány állapotot vált, valamelyik (esetleg mindegyik) attribútumának értéke megváltozik. Ezek eljárás jellegűek, az új attribútum-értékeket paraméterek segítségével határozhatjuk meg. A lekérdező módszerek függvény jellegűek. Az aktuális példány aktuális állapotával térnek vissza.

Példányosításkor lefoglalódik a memóriaterület az objektum számára, ott elhelyezésre kerülnek a példány szintű attribútumok, és beállítódik a kezdőállapot. Az objektum ettől kezdve *él* és tudja, hogy mely osztály példányaként jött létre. A kezdőállapot meghatározására az OO nyelvek általában egy speciális módszert, a *konstruktort* használják.

Az aktuális példány kezelését az OO nyelvek a példány szintű módszerekbe implicit paraméterként beépülő speciális hivatkozással oldják meg.

Az OO nyelvek az osztályok között egy aszimmetrikus kapcsolatot értelmeznek, melynek neve *öröklődés*. Az öröklődés az újrafelhasználhatóság eszköze.

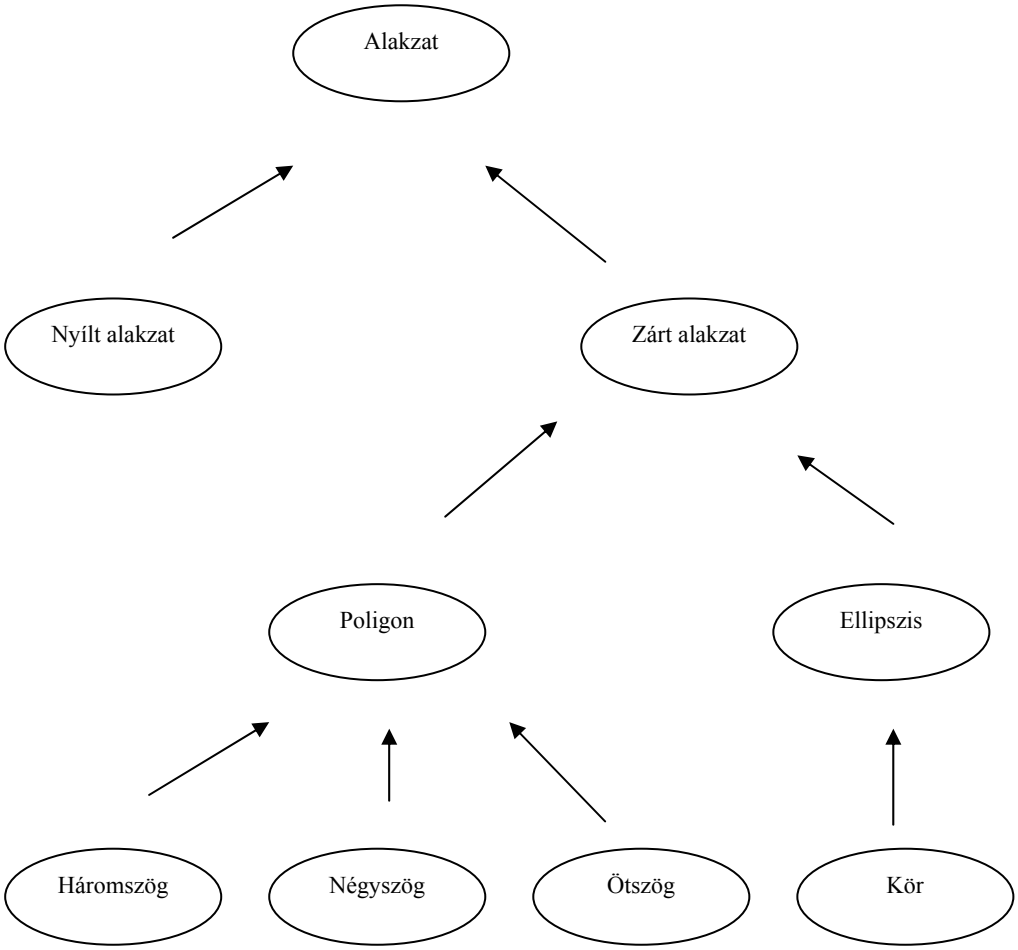
Az öröklődési viszonynál egy már létező osztályhoz kapcsolódóan − melyet *szuperosztálynak* (*szülő osztálynak, alaposztálynak*) hívunk − hozunk létre egy új osztályt, melynek elnevezése *alosztály* (*gyermek osztály, származtatott osztály*). Az öröklődés lényege, hogy az alosztály átveszi (örökli) szuperosztályának minden (a bezárás által megengedett) attribútumát és módszerét, és ezeket azonnal fel is tudja használni. Ezen túlmenően új attribútumokat és módszereket definiálhat, az átvett eszközöket átnevezheti, az átvett neveket újradeklarálhatja, megváltoztathatja a láthatósági viszonyokat, a módszereket újraimplementálhatja.

Az öröklődés lehet *egyszeres* és *többszörös*. Egyszeres öröklődés esetén egy osztálynak pontosan egy, többszörös öröklődés esetén egynél több szuperosztálya lehet. Mindkét esetben igaz, hogy egy osztálynak akárhány alosztálya létrehozható.

Természetesen egy alosztály lehet egy másik osztály szuperosztálya. Így egy *osztályhierarchia* jön létre. Az osztályhierarchia egyszeres öröklődés esetén fa, többszörös öröklődés esetén aciklikus gráf. A többszörös öröklődést valló nyelvek osztályhierarchiájában is van azonban általában egy kitüntetett „gyökér” osztály, amelynek nincs szuperosztálya, és léteznek olyan „levél” osztályok, amelyeknek nincsenek alosztályai.

A többszörös öröklődésnél gondot okozhat a különböző szuperosztályokban használt azonos nevek ütközése.

A következő ábra egy öröklődési fát szemléltet:



Az öröklődési hierarchiában az egy úton elhelyezkedő osztályok közvetlen vagy közvetett öröklődési viszonyban vannak. Az alosztályok irányába haladva az osztályok *leszármazott* osztályai helyezkednek el, a másik irányban viszont az *elől* osztályok találhatók. Példánkban a `Zárt alakzat`, a `Poligon` és a `Háromszög` az `Alakzat` leszármazottjai; az `Ellipszis`, a `Zárt alakzat` és az `Alakzat` a `Kör` elődei.

Az egymással elől-leszármazott viszonyban nem levő osztályokat *kliens* osztályoknak hívjuk.

Az osztályok eszközeinek láthatóságát szabályozza a *bezárás*. Az OO nyelvekben általában a következő bezárási szintek léteznek. *Publikus* szint esetén az eszközt látja az összes kliens osztály. *Védett* szintnél az eszközökhöz csak a leszármazott osztályok férhetnek hozzá. A *privát* szintű eszközök viszont csak az adott osztályban használhatók (pontosabban: egy alosztály természetesen örökli a privát attribútumokat és módszereket, de ezekre közvetlenül, explicit módon nem hivatkozhat – *láthatatlan öröklés*).

Több OO nyelv értelmez még egy negyedik szintet is, amely a nyelv programegység szerkezetén alapul.

Az öröklődésen alapul és az újrafelhasználhatóságnak egy igen jellegzetes megnyilvánulása a *helyettesíthetőség*. Az OO paradigma azt mondja, hogy egy leszármazott osztály példánya a program szövegében minden olyan helyen megjelenhet, ahol az elől osztály egy példánya (az

utóbbi *helyettesíthető* az előbbivel). Egy konkrét `Kör` objektum egyben `Ellipszis` és `Zárt alakzat` is, tehát ezeknek az osztályoknak is objektuma. Viszont csak a `Kör` osztálynak a példánya.

Egy alosztály az örökölt módszereket újraimplementálhatja. Ez azt jelenti, hogy különböző osztályokban azonos módszerspecifikációkhoz különböző implementáció tartozik. Ezek után a kérdés az, hogy ha meghívunk egy objektumra egy ilyen módszert, akkor melyik implementáció fog lefutni. A választ egy nyelvi mechanizmus, a *kötés* adja meg.

Az OO nyelvek két fajta kötést ismernek. *Statikus kötés* esetén már fordításkor eldől a kérdés. Ekkor a helyettesíthetőség nem játszik szerepet. A forrásszövegben megadott objektum deklaráló osztályának módszere fog lefutni minden esetben.

Dinamikus kötés esetén a kérdés csak futási időben dől el, a megoldás a helyettesíthetőségen alapul. Annak az objektumnak a példányosító osztályában megadott (vagy ha nem írta fölül, akkor az öröklött) implementáció fog lefutni, amelyik ténylegesen kezelésre kerül.

Tehát ha a `Poligon` osztályban van egy `Kerület` módszer, amelyet újraimplementálunk a `Négyszög` osztályban, akkor statikus kötés esetén, ha egy poligon objektumra meghívjuk, akkor a `Poligon` implementáció fut le akkor is, ha a futás közben egy négyszög objektum kerületét határozzuk meg. Dinamikus kötés esetén viszont az utóbbi esetben a `Négyszög` implementációja fog futni.

Az OO nyelvek egy része a dinamikus kötést vallja. Másik részükben mindkettő jelen van, az egyik alapértelmezett, a másikat a programozónak explicit módon kell beállítania.

Az OO nyelvek általában megengedik a módszernevek túlterhelését. Ez annyit jelent, hogy egy osztályon belül azonos nevű és természetesen eltérő implementációjú módszereket tudunk létrehozni. Ekkor természetesen a hivatkozások feloldásához a specifikációknak különbözniük kell a paraméterek számában, vagy azok típusában (ez nem mindig elég).

Az OO nyelvek általában ismerik az *absztrakt osztály* fogalmát. Az absztrakt osztály egy olyan eszköz, amellyel viselkedésmintákat adhatunk meg, amelyeket aztán valamely leszármazott osztály majd konkretizál.

Egy absztrakt osztályban általában vannak *absztrakt módszerek*, ezeknek csak a specifikációja létezik, implementációjuk nem. Egy absztrakt osztályból származtatható absztrakt és konkrét osztály. A *konkrét osztály* minden módszeréhez kötelező az implementáció, egy osztály viszont mindaddig absztrakt marad, amíg legalább egy módszere absztrakt.

Az absztrakt osztályok nem példányosíthatók, csak örököltethetők.

Egyes OO nyelvekben létrehozhatók olyan osztályok, amelyekből nem lehet alosztályokat származtatni (ezek az öröklődési hierarchia „levelei” lesznek). Ezek természetesen nem lehetnek absztrakt osztályok, hiszen akkor soha nem lehetne őket konkretizálni.

Egyes OO nyelvek ismerik a *paraméterezett* osztály fogalmát. Ezek lényegében az OO világ generikusai.

Az OO nyelvekben az objektumok memóriában kezelt konstrukciók. Egy objektum mindig *tranziens*, tehát nem éli túl az őt létrehozó programot. I/O segítségével természetesen bármely

objektum állományba menthető és azután bármikor létrehozható egy *másik* objektum, amelynek állapota ugyanaz lesz. A nem nyelvi OO rendszerek (pl. adatbázis-kezelők) ismerik a *perzisztens* objektum fogalmát. Ekkor az objektum túléli az őt létrehozó alkalmazást, bármikor újra betölthető a memóriába, és *ugyanaz* az objektum marad.

Természetesen egy program működése közben is fel kell szabadítani a már szükségtelen objektumokhoz rendelt tárterületet. Erre az OO nyelvek kétféle megvalósítást tartalmaznak. Egy részük azt mondja, hogy a programozónak kell explicit módon megszüntetnie az objektumot. Más részük automatikus törlési mechanizmust biztosít (garbage collection). Ezeknél a háttérben, aszinkron módon, automatikusan működik a „szemétgyűjtögető" a szokásos algoritmusok valamelyike (pl. hivatkozásfigyelés) alapján.

Az OO nyelveknek két nagy csoportja van. A *tiszta* OO nyelvek teljes mértékben az OO paradigma mentén épülnek fel, ezekben nem lehet más paradigma eszközeinek segítségével programozni. Ezen nyelvekben egyetlen osztályhierarchia létezik. Ez adja a nyelvi rendszert és a fejlesztői környezetet is egyben. Ezen nyelvekben a programozás azt jelenti, hogy definiáljuk a saját osztályainkat, azokat elhelyezzük az osztályhierarchiában, majd példányosítunk.

A *hibrid* OO nyelvek valamilyen más paradigma (eljárásorientált, funkcionális, logikai, stb.) mentén épülnek fel, és az alap eszközrendszerük egészül ki OO eszközökkel. Ezen nyelvekben mindkét paradigma mentén lehet programozni. Általában nincs beépített osztályhierarchia (hanem pl. osztálykönyvtárak vannak), és a programozó saját osztályhierarchiákat hozhat létre.

Egyes tiszta OO nyelvek az *egységesség* elvét vallják. Ezen nyelvekben egyetlen programozási eszköz van, az objektum. Ezekben a nyelvekben tehát minden objektum, a módszerek, osztályok is.

Az OO paradigma imperatív paradigmaként jött létre. Tehát ezek a nyelvek algoritmikusak, és így eredendően fordítóprogramosak. A SIMULA 67 az első olyan nyelv, amely tartalmazza az OO eszközrendszert, de a paradigma fogalmait később a Smalltalk fejlesztői csapata tette teljessé. Aztán folyamatosan kialakultak a hibrid OO nyelvek, és megjelent a deklaratív OO paradigma (CLOS, Prolog++) is.

2. JAVA

A Java egy „majdnem” tiszta OO nyelv. A C++ egy továbbfejlesztett változataként jött létre a nyílt elosztott rendszerek programozási nyelveként. Szintaktikája nagyon hasonlít a C (C++) szintaktikájához. Tartalmaz eljárásorientált elemeket, de programozni benne csak az OO paradigma mentén lehet. Tervezésénél alapvető volt a biztonságos kód írásának követelménye.

A Java egyszeres öröklődést, késői kötést, automatikus memóriakezelést valósít meg. Vannak benne primitív típusok, ezek megfelelnek az eljárásorientált egyszerű típusoknak. Van változója, ami primitív típusú értéket, vagy objektumreferenciát vehet fel értékül. A referencia típusú változók mindig a hivatkozott objektumot adják. Kifejezésefogalma teljesen C-szerű. A módszereket C értelemben vett függvények segítségével, az attribútumokat változókkal lehet megadni. Ismeri a csomagot. Bezárási eszközrendszere négy szintű. A publikus, privát és védett szintet explicit módon kell megadni. Alapértelmezett a csomag szintű láthatóság.

A javának hatékony kivételkezelő és párhuzamos programozást lehetővé tevő eszközrendszere van, az 5-ös verzióba már beépítették a generikust is.

A Java fordítóprogram egy közbenső formára, az ún. bájtkódra fordít, amelyet aztán a Java Virtual Machine (JVM) interpretál. Ez egyrészről segíti a hordozhatóságot, másrészről viszont lassítja a futást.

A Java tanulásához *Nyékiné Gaizler Judit(szerk.): Java 2 útikalauz programozóknak* könyvet ajánlom.

3. SMALLTALK

3.1. Alapvető jellemzők

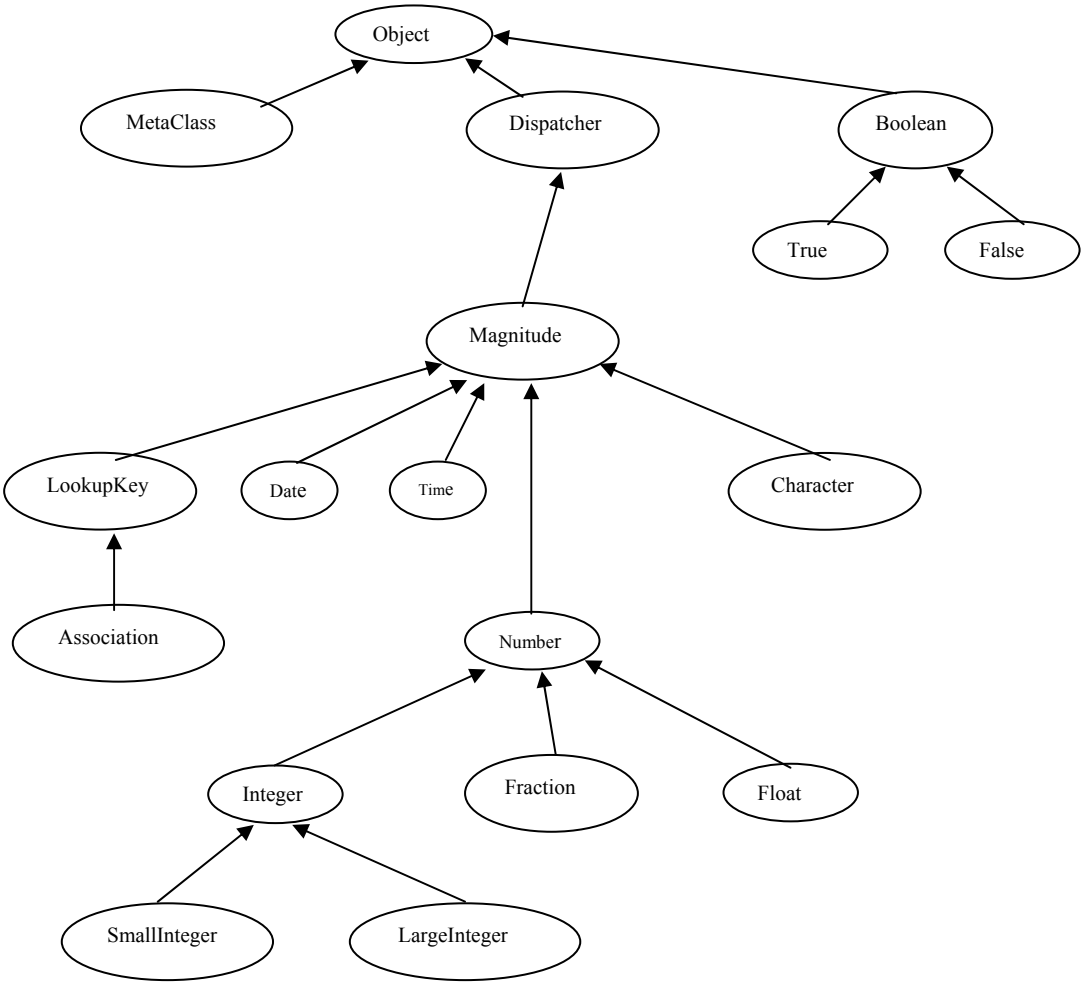
A Smalltalk egyszeres öröklődést, késői kötést megvalósító, az egységesség elvét valló, automatikus objektum megszüntetéssel rendelkező, üzenetalapú OO nyelv. Nem típusos, mivel benne minden objektum.

A Smalltalknál teljesen integrált a nyelv és a grafikus fejlesztői környezet. Az osztályhierarchia gyökerét az `Object` osztály adja.

A Smalltalk korai verzióiba nem építették be az absztrakt osztály és absztrakt módszer fogalmát, a maiakban azonban ez már megjelenik.

A továbbiakban az IBM Smalltalk verzió eszközeinek segítségével illusztráljuk a nyelv legalapvetőbb lehetőségeit.

A következő ábra az osztályhierarchia egy részletét mutatja:



Itt a `Magnitude` és `Number` osztályok például absztrakt osztályok. A `Magnitude` objektumok összehasonlíthatóak.

3.2. Literálok

A Smalltalk literáljai formálisan megfelelnek az eljárásorientált nyelvek literáljainak, programszövegbeli megjelenései általában a szokásosak, de maguk a megfelelő osztály példányai.

Például a `36` a `SmallInteger`, a `3.28` a `Float`, a `3/4` a `Fraction` példánya.

A karakter literál alakja $*karakter*, például `$a`, `$;`.

A sztring literál `'`[*karakter*]…`'` alakú.

3.3. Változók

A Smalltalkban van változó. Minden objektumot tud változó segítségével kezelni úgy, hogy a változó értékül az objektum OID-jét veszi fel (tehát referencia értékű). És minden változóhivatkozás az objektumot jelenti. Egy változó alapértelmezett kezdőértéke `nil`, ami az `UndefinedObject` osztály egyetlen példánya.

Az osztályok attribútumai a Smalltalkban változók, a módszerek pedig az üzenetek. A bezárás több szintű. A módszerek mindig publikusak, tehát mindenhonnan láthatók.

Az objektumok állapotát meghatározó *példány változók* bezárási szintje *objektumszintű*. Tehát csak az adott objektum példány módszerei hivatkozhatják őket közvetlenül, még ugyanazon osztály más példányainak módszerei sem. Egy ilyen változót más objektum csak úgy tud elérni, hogy az *objektumnak* küld üzenetet, tehát lennie kell a példány változót író (beállító) és olvasó (lekérdező) módszernek (üzenetnek).

Az *osztály változókat* látják az adott osztály, annak példányai, a leszármazott osztályok és ezek minden példánya.

Az *osztály példány változót* közvetlenül elérheti az osztály (pontosabban az osztály szintű módszerek), de példányai és leszármazott osztályai nem (ennek azért van értelme, mert az osztály maga is objektum).

A *globális változók* minden osztály minden módszere számára láthatók.

Az *ideiglenes változók* a módszerek lokális változói, hatáskörük csak az adott módszer, élettartamuk dinamikus.

A *megosztott változók* olyan változók, amelyeket minden egyes osztály explicit módon ilyennek definiál, és ekkor ezen osztályok közösen tudják használni őket.

3.4. Kifejezések

Egy Smalltalk program egymástól ponttal elválasztott *utasítások* sorozatából áll. Egy utasítás *kifejezésekből* épül fel. Egy kifejezés lehet *elsődleges kifejezés*, *üzenet kifejezés* vagy *kaszkád kifejezés*. Az elsődleges kifejezés lehet *változónév*, *literál* vagy kerek zárójelek közé zárt kifejezés.

Az üzenet kifejezés lehet *unáris*, *bináris* vagy *kulcsszó* kifejezés. Az üzenet kifejezés általános alakja:

fogadó_objektum üzenetnév [*argumentum*]

Az unáris üzenetnek nincsenek argumentumai, a binárisnak egy argumentuma van, a kulcsszó üzenet egy vagy több kulcsszóból és a kulcsszavakat követő egy-egy argumentumból áll.

A *fogadó_objektum* bármely olyan objektum, amely megérti az üzenetet.

Minden üzenet megfelel egy, a fogadó objektum példányosító osztályában definiált (vagy ott ismert) módszer meghívásának. Az üzenetnév a módszer neve, az argumentumok az aktuális paraméterek.

A fogadó objektum mindig válaszol az üzenetre, tehát az üzenetnek van visszatérési értéke, ami alapértelmezés szerint a fogadó objektum (pontosabban annak OID-je).

A kaszkád üzenet nem más, mint egy közös fogadó objektumnak küldött, egymástól pontosvesszővel elválasztott üzenetsorozat.

A Smalltalk a következő módon értékeli ki a kifejezést:

1. A kiértékelés balról jobbra történik.
2. A bezárójelezett részkifejezések értékelődnek ki először, a legbaloldalibb legbelső ilyennel kezdve.
3. Egy üzenet a kifejezésben helyettesítődik a visszatérési értékkel.
4. Egy literál értéke önmaga; változó értéke a hivatkozott objektum; az üzenet kifejezések végrehajtási sorrendje: minden unáris, majd minden bináris, végül minden kulcsszó üzenet.

Egy változónak értéket adhatunk az alábbi módon:

változó `:=` *utasítás*

A `:=` egy kulcsszó üzenet neve, hatására a változó az *utasítás* által meghatározott objektumot fogja címezni.

Példa értékadásokra:

```
x := 5.
y := 3.
a := x + y.
z := 'ez egy sztring'.
```

A Smalltalk bináris üzenetei az eljárásorientált nyelvek bináris operátorainak nyelvi megfelelői. Nézzük ezeket:

Aritmetikai üzenetek

A `Number` osztály módszerei.

`+` : összeadás
`-` : kivonás
`*` : szorzás
`/` : osztás
`//` : egészosztás
`\\` : maradékképzés

Hasonlító üzenetek

A `Magnitude` osztály módszerei:

`>` : nagyobb
`<` : kisebb
`=` : értékben egyenlő
`~=` : értékben nem egyenlő
`<=` : kisebb vagy egyenlő
`>=` : nagyobb vagy egyenlő
`==` : azonosságban egyenlő

Logikai üzenetek

A `Boolean` osztály módszerei:

`&` : és
`|` : vagy

Teljes kiértékeléssel rendelkeznek.

Logikai üzenet a `not` is, de az unáris.

Itt jegyezzük meg, hogy a `True` és a `False` osztálynak nincsenek példány változói és egyetlen példányuk a `true`, illetve a `false`. Tehát minden változó, amely a `true` objektumot hivatkozva, ugyanazt az objektumot hivatkozza. Tehát az

```
a := true.
b := true.
```

értékadások után az

```
a == b
```

kifejezés értéke `true`.

3.5. Blokk

A Smalltalk ismeri a blokk fogalmát. Ez egy olyan objektumnak tekinthető (példányosító osztálya a `Block`), amely végrehajtható kódot tartalmaz. Egy blokk egy módszerbe ágyazottan jelenhet meg, ezért értelmezhetjük egy módszerbe ágyazott módszerként is. A blokk lokális változóit (melyeknek hatásköre a blokk) a Smalltalk argumentumoknak hívja. Ezek neve kötelezően kettősponttal kezdődik. A blokk maga utasításokat és megjegyzéseket tartalmazhat. A megjegyzés a Smalltalkban idézőjelek közé zárt karaktersorozat. A blokkban használhatók azok a változók, amelyeket a tartalmazó módszer lát.

A blokknak is van visszatérési értéke.

A blokk formálisan a következőképpen néz ki:

[[*változó …* **|**] *kód* **]**

3.6. Vezérlési szerkezet

Feltételes végrehajtás

A `Boolean` kulcsszó üzenetei az `ifTrue:` és az `ifFalse:`, amelyek az alábbi módokon használhatók:

Boolean_objektum `ifTrue:` *blokk* `ifFalse:` *blokk*
Boolean_objektum `ifTrue:` *blokk*
Boolean_objektum `ifFalse:` *blokk*

A *blokk* argumentum nélküli. A *Boolean_objektum* egy kifejezés, melynek értéke `true` vagy `false`.

Az eljárásorientált nyelvek kétirányú elágaztató utasításának megfelelő konstrukció.

A következő utasítás kiválasztja `a` és `b` közül a nagyobbikat

```
(a > b) ifTrue: [y := a] ifFalse [y := b].
```

Ciklusok

A `timesRepeat:` az `Integer` osztály kulcsszó üzenete, formája:

Integer_objektum `timesRepeat` *blokk*

A blokk itt is argumentum nélküli. Hatása az, hogy az *Integer_objektum* értékének megfelelő számszor végrehajtja a blokkot.

Példa: Egy sztringben változtassuk az összes mássalhangzót kisbetűre, a magánhangzókat pedig nagybetűre.

```
string := 'Ez a sztring.'.
index := 1.
string size timesRepeat:
     [c := string at: index.
      string at: index put:
          (c isVowel ifTrue: [c asUpperCase]
                     ifFalse: [c asLowerCase]).
      index := index + 1]
```

A Smalltalk a sztringet karakterek egydimenziós tömbjének tekinti, ez index 1-ről indul. Az `at:` a megadott indexű elemet adja, a `put:` felülírja azt.

Az `asUpperCase` és `asLowerCase` az átalakító üzenetek. Az `isVowel` egy olyan üzenet, amely visszatérési értéke `true`, ha a karakter magánhangzó, `false`, ha mássalhangzó.

Az eljárásorientált nyelvek kezdőfeltételes ciklusainak felelnek meg a `whileFalse:` és `whileTrue:` `Boolean` módszerek, melyek kulcsszó üzenetek. Argumentumuk egy argumentum nélküli blokk, fogadó objektumuk egy `true` vagy `false` értéket adó blokk.

Példa:

```
x := 5.
y := 0.
[y <= x] whileTrue: [y := y +1]
```

Az eljárásorientált előírt lépésszámú ciklusnak felel meg a következő konstrukció:

k `to:` *v* [`by:` *l*] `do:` **[***cv* **|** *kód* **]**

Itt *k*, *v* és *l* `Number` (szokásos módon `Integer`) objektumok (rendre megadják a kezdőértéket, végértéket, lépésközt), a *cv* a ciklusváltozó. Az irányt a lépésköz előjele határozza meg. Ha `by:` hiányzik, a lépésköz 1.

Példa: Hány magánhangzó van egy adott sztringben?

```
m := 0.
s := 'No ebben mennyi van? '.
v := s size.
1 to: v do: [:i | c := s at: i. c isVowel ifTrue: [m := m+1]]
```

3.7. Osztályok

A Smalltalk legkisebb önálló egysége és fordítási egysége az osztály. Az osztályok mint objektumok a `MetaClass` osztály példányaként jönnek létre. Nevük globális változó.

Egy saját osztály létrehozásánál mindig meg kell adnunk a szuperosztály nevét és az öröklött eszközökhöz új példány, osztály, megosztott változókat adhatunk, az öröklött módszereket újraimplementálhatjuk és saját példány és osztály módszereket definiálhatunk.

Az új osztály létrehozásánál használhatjuk az integrált fejlesztői környezetet, vagy írhatunk forrásszöveget.

Az IBM Smalltalk névkonvenciója a következő. Egy programozói név felépítése az eljárásorientált azonosítónak felel meg. A példány, osztály példány és ideiglenes változók és a példány módszerek neve kisbetűvel, a globális, osztály és megosztott változók, valamint az osztály módszerek neve nagybetűvel kezdődik. Ha egy név több szóból áll a második, harmadik, stb. szó kezdőbetűje nagybetű, a többi kicsi. A blokk lokális változói nevének első és beállító módszerek nevének utolsó karaktere kettőspont.

A példány változók objektumszintű bezárása miatt ezekben célszerű egy-egy beállító és lekérdező módszert definiálni, ezek neve gyakran azonos a változó nevével.

Saját osztály létrehozásának alakja:

szuperosztály_név `subclass: #`*név*
[`classInstanceVariableNames:` *sztring*]
`instanceVariableNames:` *sztring*
`classVariableNames:` *sztring*
`poolDictionaries:` *szring*
módszerdefiníciók

A *sztring* rendre az osztály példány (ez hiányozhat a definícióból), példány, osztály és megosztott változók nevét tartalmazza szóközzel elválasztva. Az üres sztring azt jelenti, hogy olyan kategóriájú attribútuma nincs az osztálynak.

A *név* lesz az új osztály neve.

A `subclassInstanceVariableNames:instanceVariableNames:`

`classVariableNames:poolDictionaries:` kulcsszó üzenet hatására létrejön egy metaosztály, amely az új osztály jellemzőit leírja, majd ennek példányaként létrejön maga az új osztály.

Egy osztályt példányosítani az osztály nevének elküldött unáris `new` üzenettel lehet. A Smalltalk nem ismeri a konstruktor fogalmát, a példányosításkor létrejövő objektumnak viszont bármilyen üzenet küldhető, amely beállítja az állapotát.

A `new` egy osztályszintű módszer, az állapot beállító módszereknek viszont példányszintűeknek kell lenniük.

3.8. Módszerek

Egy módszer formája a következő:

interfész [*lokális_változók*] *kód*

Az interfész alakja:

név [*argumentum*] [*név argumentum*] …

Az argumentumok a módszer formális paraméterei. A paraméterek száma mindig fix.

A lokális változókat **|**jelek közé írva, egymástól szóközzel elválasztva kell felsorolni, ha vannak.

A kód egy tetszőleges utasítás és megjegyzés sorozat.

A kódban az aktuális példányt a `self` hivatkozza. Ezt használhatjuk akkor is, ha az objektum saját magának akar üzenetet küldeni.

A Smalltalk szemlélete szerint minden üzenetnek van visszatérési értéke, ez alapértelmezett módon a fogadó objektum (tehát a `self`).

Minden utasításnak van visszatérési értéke, ez az utolsónak kiértékelt kifejezés értéke.

Minden blokknak van visszatérési értéke, ez az utoljára végrehajtott utasítás értéke.

Végül a módszer visszatérési értéke az utoljára végrehajtott utasítás értéke.

A módszerekben a visszatérési értéket meghatározhatjuk explicit módon is

^*utasítás*

formában. Ez megfelel az eljárásorientált nyelvek RETURN-utasításának. Tehát befejezteti a módszert és annak visszatérési értéke az utasítás értéke lesz.

Ha az interfész egyetlen nevet tartalmaz, akkor egy lekérdező módszert adunk meg, ha több név van, akkor kötelezőek az argumentumok, ekkor ez egy beállító kulcsszó üzenet lesz, ahol a nevek a kulcsszavak és az argumentumok a formális paraméterek.

Az `Integer` osztálynak van egy `factorial` unáris üzenete, melynek mint módszernek a kódja az alábbi:

```
factorial
    self > 1 ifTrue: [^(self - 1) factorial * self].
    self < 1 ifTrue: [^(self error: 'negative factorial'].
    ^1
```

Az `Object` osztály egyik unáris üzenete pedig a következő:

```
yourself
     "Answer the receiver."
     ^self
```

Példa: Hozzuk létre a Személy osztályt, melynek példány változói a név, cím, telefonszám, és adjuk meg a lekérdező és beállító példány módszereket.

```
Object subclass: #Szemely
     instanceVariables:'nev cim telefonszam'
     classVariableNames:''
     poolDictionaries:''
```

```
name
     ”Lekérdezi a nevet. ”
     ^nev

name: egyNev
     ”Beállítja a nevet. ”
     nev:= egyNev

cim
     ”Lekérdezi a címet. ”
     ^cim

cim: egyCim
     ”Beállítja a címet. ”
     cim:=egyCim

telefonszam
     ”Lekérdezi a telefonszámot. ”
^telefonszam

telefonszam: egyTelefonSzam
     ”Beállítja a telefonszámot. ”
     telefonszam:= egyTelefonSzam

nev: egyNev cim: egyCim
     ”Beállítja a nevet és a címet. ”
     self nev: egyNev.
     self cim: egyCim

nev: egyNev cim: egyCim telefonSzam: egyTelefonSzam
     ”Beállítja a nevet, címet, telefonszámot. ”
     self nev: egyNev.
     self cim: egyCim.
     self telefonSzam: egyTelefonSzam
```

Az utolsó módszer kódját egyszerűsíthetjük, ha kaszkád üzenetet használunk:

```
nev: egyNev cim: egyCim telefonSzam: egyTelefonSzam
     ”Beállítja a nevet, címet, telefonszámot. ”
     self
          nev: egyNev;
          cim: egyCim;
          telefonSzam: egyTelefonSzam
```

3.9. Szálak

Az IBM Smalltalk a párhuzamos programozás megvalósítására a Dijkstra-féle szemafor technikát alkalmazza (1. **Operációs rendszerek 1**). A szálak kezeléséhez négy osztályt definiál, ezek: `Process`, `ProcessorScheduler`, `Delay` és `Semaphore`.

Egy szálat létrehozni egy blokkból lehet. Tehát a szál példányosító üzenetei a `Block` osztály üzenetei. Hatásukra egy `Process` objektum keletkezik.

Egy blokknak küldött `fork` üzenet létrehoz egy szálat és az azonnal ütemezésre is kerül az aktív szállal azonos prioritással. A `forkAt:` üzenettel prioritást rendelhetünk a szálhoz, ezzel kerül ütemezésre.

A `newProcess` üzenet létrehoz egy szálat az aktív szállal azonos prioritással, a `newProcessWith:` pedig a megadott prioritással, de az csak akkor kerül ütemezésre, ha megkapja a `resume` üzenetet.

A szál befejezi a működését, ha a blokknak elfogynak az utasításai, vagy megkapja a `terminate` üzenetet.

Egy szál explicit módon felfüggesztett állapotba kerül, ha elküldjük neki a `suspend` üzenetet. Újraindítani a `resume` üzenettel lehet.

Egy szál működése közben szinkron módon lefuttathatunk egy `queueInterrupt:` üzenet argumentumaként megadott blokkot.

A `ProcessorScheduler` osztály egyetlen példánya a `Processor` globális változó, amely az ütemezést végzi. Ez az osztály egy abszolút prioritásos round-robin ütemezést implementál. Ez alapján egy szál mindaddig fut, azaz birtokolja a CPU-t (tehát ő az *aktív* szál), amíg a következők valamelyike be nem következik:

- olyan műveletet hajt végre, amely hatására a futása felfüggesztődik (pl. `suspend`, `wait`),
- egy nála magasabb prioritású szál ütemezésre, vagy továbbindításra kerül,
- véget ér.

Tehát a CPU-t mindig a legrégebben várakozó, legnagyobb prioritású futásra kész szál kapja meg.

Hét prioritási szint van, a `ProcessorScheduler` osztály módszerei ezeket kezelik.

A `Delay` példányai egy adott szál rendszerórával való szinkronizációját teszik lehetővé. Egy szálat várakoztatni lehet egy megadott időintervallum leteléséig, vagy egy megadott abszolút időpontig. Például a `wait` felfüggeszti a szál futását egy osztály változóban meghatározott, ezredmásodpercben megadott időintervallum leteltéig.

A `Semaphore` többértékű szemaforokat kezel. Egy szemaforhoz egy `signal` üzenet hozzáad egy jelet, a `wait` elvesz egyet.

Ha egy szemafornak nincs egyetlen jele sem és kap egy `wait` üzenetet, akkor a futó szál felfüggesztődik a következő `signal` üzenetig. Ha több szál vár ugyanarra a szemaforra és érkezik egy `signal`, akkor a legrégebben várakozó indul tovább.

3.10. Kivételkezelés

Az IBM Smalltalkban a kivételek kezelésére két osztály szolgál. Az `ExceptionalEvent` példányai a *kivételek*, ezek *kiváltása* esetén hívódik meg egy kivételkezelő. A `Signal` példányai a *kiváltott kivételek*, ezek paraméterként átadódnak a kivételkezelőnek.

Egy kivétel úgy jön létre, hogy a `newChild` üzenetet elküldjük egy már létező („szülő”) kivételnek. A legáltalánosabb kivétel az `ExceptionalEvent` egy példánya, az `ExAll`. Ő minden kivétel szülője, neki viszont nincs szülője. Ezáltal egy kivételhierarchia hozható létre, melynek gyökere az `ExAll`.

Az `ExceptionalEvent` példány változói a következők:

`description`	A kivételhez rendelt sztring (a „hibaüzenet”).
`parent`	A szülő kivétel, `ExAll` esetén `nil`.
`resumable`	`Boolean` objektumot kell tartalmaznia. Ha `true`, akkor a program futása folytatható azon a helyen, ahol a kivétel kiváltódott. `ExAll` esetén `false`.
`defaultHandler`	Egy argumentumú blokk, amelyik működésbe lép, ha explicit módon nem kezeljük a kivételt.

Példa:

```
| endOfFileException |
(endOfFileException := ExAll newChild)
     decription 'állomány vége'
```

Egy kivételt kiváltani a kivételnek küldött következő üzenetekkel lehet:

`signal`, `signalWith:`, `signalWith:with`, `signalWithArguments:`.

Ekkor rendre 0, 1, 2, akárhány argumentum adható át, az utolsó esetben az argumentumok egydimenziós tömböt alkotnak. Ezek hatására egy `Signal` példány keletkezik, amelyik információkat tartalmaz a kiváltódás körülményeiről.

Példa:

```
endofFileException signal
```

Saját kivételkezelőt úgy adhatunk meg, hogy egy blokknak elküldjük a `when:do:` üzenetet. A kivételkezelő ekkor a blokkban kiváltott kivételekre hatásos. A `when:` argumentuma egy kivételpéldány, a `do:` argumentuma egyargumentumú blokk, amely átadódik a kiváltott

kivételpéldánynak. A `when:do:` kivételkezelő ötszörös maximális értékig ismételhető egymás után.

Ha a fogadó blokkban kiváltódik egy kivétel, akkor a futtató rendszer a felírás sorrendjében megy végig a kivételkezelőkön és keres megfelelőt (olyat, amelyik `when:` utáni argumentuma megegyezik a kivétellel, vagy elődje annak). Az `ExAll` minden kivételnek elődje, tehát „elfog” bármilyen kivételt.

Ha van megfelelő kivételkezelő, akkor lefut a `do:` utáni blokk. Ebben többek között a következő üzenetek küldhetők a `Signal` példánynak:

`argument`	A kiváltáskor átadott első argumentum, vagy `nil` ha nincs ilyen.
`arguments`	A kiváltáskor átadott argumentumok.
`exitWith:`	A kivételkezelő blokk visszatérési értékét adja meg. Itt nem használható a `^`.
`signal`	Továbbadja a kivételt.
`signalWith:`	Egy paraméterrel továbbadja a kivételt.
`retry`	Újrafuttatja a kivételkezelő fogadó blokkját.
`handlesByDefault`	Lefuttatja az alapértelmezett kivételkezelőt.
`description`	Lekérdezi az értelmező sztringet. Értéke `'an exception has occured'`, ha nem volt `be`állítva.

A Smalltalk a kivételkezelőben bekövetkező kivételt ugyanúgy kezeli, mint ami bárhol máshol következett be. Viszont egy kivétel mindig kezelésre kerül explicit vagy implicit módon (az alapértelmezett kivételkezelő miatt).

Az `ExceptionalEvent` alapértelmezett kivételkezelője a következő:

```
|anException|
(anException:=ExAll newChild)
          deafultHandler: [:signal |
          self error:
              'The exception was not expected at this time.'].
anException signal
```

Az `ExAll` kivétel a rendszerkivételek közé tartozik. Ilyen összesen négy van. Itt most még egyet említünk. Az `Object` üzenete az `error:`, melynek argumentuma egy sztring. Ez az üzenet az `ExError` rendszerkivételt váltja ki. Hatására elindul a Smalltalk belövője.

4. EIFFEL

Az Eiffel egy olyan nyelv, amelyet teljesen az objektumorientált paradigma alapján hoztak létre Bertrand Meyer vezetésével az 1980-as évek második felében. Az Eiffel tehát tiszta OO nyelv, az egységesség elvét azonban nem vallja. Az Eiffelnél is igaz, hogy a nyelv elválaszthatatlan a fejlesztői környezettől, azzal egységes egészet alkot.

4.1. Lexikális elemek

Az Eiffel karakterkészlete az US-ASCII szabványon alapszik, tehát betű alatt az angol ABC betűit kell érteni. Az Eiffel a kis- és nagybetűket nem különbözteti meg.

Az Eiffelben a megjegyzés a `--` jelkombinációtól a sor végéig tart. Az Eiffel beszél *szabad* és *elvárt* megjegyzésről. A szabad megjegyzés a program szövegében bárhol elhelyezhető, szintaktikai jelentése nincs. Az elvárt megjegyzésnek szintaktikai jelentése van, bizonyos konstrukciók (l. később) elemeként jelenhet meg.

Az Eiffelben általános elhatároló jelek a szóköz, tabulátor és sorvége jelek. Értelmez speciális és többkarakteres szimbólumokat (pl. `:`, `--`, `!!`, `->`, `:=`), kötött szintaktikai jelentéssel, ezek egy részét a későbbiekben tárgyaljuk.

Az Eiffel a foglalt szavak három csoportját különbözteti meg, ezek a *kulcsszavak*, egyes *típusnevek* és az *előredefiniált nevek*. Az Eiffel foglalt szavai ábécé sorrendben a következők:

alias	**all**	**and**	**as**	*BIT*	*BOOLEAN*
CHARACTER	**check**	**class**	**creation**	*Current*	**debug**
deferred	**do**	*DOUBLE*	**else**	**elsif**	**end**
ensure	**expanded**	**export**	**external**	**false**	**feature**
from	**frozen**	**if**	**implies**	**indexing**	**infix**
inherit	**inspect**	*INTEGER*	**invariant**	**is**	**like**
local	**loop**	*NONE*	**not**	**obsolete**	**old**
once	**or**	*POINTER*	**prefix**	*REAL*	**redefine**
rename	**require**	**rescue**	*Result*	**retry**	**select**
separate	*STRING*	**strip**	**then**	**true**	**undefine**
unique	**until**	**variant**	**when**	**xor**	

Az Eiffel kódolási ajánlás szerint a kulcsszavakat kisbetűs félkövér alakban, a típusok nevét nagybetűs dőlt alakban, az előredefiniált egyedek nevét nagy kezdőbetűs dőlt alakban írjuk.

Az Eiffelben az *azonosító* betűvel kezdődik és betűvel, számjeggyel vagy aláhúzás (_) jellel folytatódhat. Hosszkorlátozás nincs.

Az Eiffel *konstansai* (*literáljai*) a következők:

Egész konstans: [*előjel*] *számjegy* [*számjegy*]…

Például: `-3`, `0`, `+222`.

Valós konstans: [*előjel*] {[*számjegy* [*számjegy*]…]`.`*számjegy* [*számjegy*]…|

számjegy [*számjegy*]…`.`[*számjegy* [*számjegy*]…]} [{`E`|`e`} *egész_literál*]

Például: `-1`, `0.`, `.0`, `-12E_12`, `36.28E3`.

Bit konstans: *bit* [*bit*]…{`B`|`b`}

Például: `011001B`.

Karakter konstans: `'`*karakter*`'`,

ahol *karakter* vagy egy látható karakter (pl. `'a'`, vagy `%`*karakter1* alakú, ahol a *karakter1* jelentése speciális (pl. `%N` - újsor, `%'` - aposztróf, `%B` - backspace), vagy `%/`*kód*`/`, ahol *kód* egy előjel nélküli egész, az ASCII decimális belső kódot jelenti (pl. `%/91/` - a `[` karakter).

4.2. Típusok

Az Eiffel egy szigorúan típusos nyelv.

A nyelvben minden programozói eszközt valamilyen típussal deklarálni kell. A típus általában egy osztály (pontosan l. 4.11.), amelynek módszerei meghatározzák a típus példányain végezhető műveleteket.

A típus lehet *referencia* vagy *kiterjesztett* típus. A referencia típusú eszközök értékül egy objektumhivatkozást, a kiterjesztett típusúak magát az objektumot vehetik föl. Az objektum viszont mindig egy típus példányaként jön létre.

A kiterjesztett típusok egy igen fontos csoportját képezik az ún. *alaptípusok*, ezek az ***INTEGER***, ***REAL***, ***DOUBLE***, ***CHARACTER***, ***BOOLEAN***, ***BIT*** és ***POINTER***. Ezen osztályok példányai atomiak.

A POINTER típussal külső (nem Eiffelben megírt) rutinok számára adható át a programbeli eszközök címe.

Az ***INTEGER***, ***REAL***, ***DOUBLE*** a ***COMPARABLE*** és a ***NUMERIC*** absztrakt osztályok alosztályai. A ***CHARACTER*** a ***COMPARABLE*** alosztálya.

A ***COMPARABLE*** példányai összehasonlíthatóak. Módszerei a szokásos hasonlítási műveletek.

A ***NUMERIC*** műveletei az összeadás, kivonás, szorzás, osztás infix, és a pozitív és negatív előjel, mint prefix műveletek. A módszerek formális paraméterei és visszatérési értékük ***NUMERIC*** típusú. Az öröklődés során a módszereket az alaposztályok implementálják, a formális paramétereket és a visszatérési típust újradeklarálják, a szükséges specifikus módszereket megadják.

Ennek köszönhetően az eljárásorientált nyelveknél megszokott módon, az aritmetikai kifejezések vegyes típusúak lehetnek az Eiffelben és az operátorok megszokott infix alakját használhatjuk.

Itt jegyezzük meg, hogy az egész és valós konstansok az Eiffelben valójában kifejezések, az előjel operátort alkalmazzák az előjel nélküli egészekre és valósokra.

A *CHARACTER* osztály példányainak attribútuma a belső kód (amely egy pozitív egész értékű) és a reprezentáló bitsorozat.

A *BOOLEAN* osztály módszerei a logikai *és* (rövidzár és teljes), *vagy* (rövidzár és teljes), *tagadás*, *kizáró vagy*, *implikáció* műveleteket realizálják. A két logikai értéket a beépített nevesített konstansként kezelhető **true** és **false** attribútumok képviselik.

A *BOOLEAN, CHARACTER, INTEGER, REAL, DOUBLE* kiterjesztett osztályok rendre a *BOOLEAN_REF, CHARACTER_REF, INTEGER_REF, REAL_REF, DOUBLE_REF* referencia osztályok alosztályai. A *_REF* osztályok teszik lehetővé, hogy az atomi értékek, mint objektumok, referenciával elérhetők legyenek.

Az alaptípusokhoz tartozik a fix hosszúságú bitsorozatok kezelését lehetővé tevő *BIT* típus, amely kiterjesztett típus. Deklarációnál a kezelendő bitek számát meg kell adni *BIT* `n` alakban, ahol `n` egy előjel nélküli egész vagy egy ilyen értékű nevesített konstans. Műveletei a bitenkénti logikai műveletek, az eltolás és a rotáció.

Az Eiffel öröklődési hierarchiája gráf, kitüntetett szerepű az *ANY* osztály. Az Eiffelben minden osztály ennek leszármazottja.

4.3. Változó

Az Eiffelben létezik változó, az eljárásorientált értelemben. A változó egy osztály attribútuma vagy pedig egy rutin lokális változója lehet. Értéke a típustól függően egy referencia, vagy egy objektum.

4.4. Kifejezések

Az Eiffel kifejezésfogalma hasonlít az eljárásorientált nyelvek kifejezésfogalmára. A kerek zárójelek használata ugyanaz. Operandus lehet konstans, attribútum, függvényhívás, tömb. Az Eiffel unáris operátorai prefixek, bináris operátorai infixek. A precedencia táblázat a következőképpen néz ki:

```
.                                   ←
old strip not + -                   ←
^                                   ←
* / // \\                           →
+ -                                 →
= /= < > <= >=                      →
and   and then                      →
or   or else   xor                  →
implies                             →
<< >>                               →
;                                   →
```

Az egyes operátorok jelentése:

`.`	a minősítés operátora
`old`, **`strip`**	(l. 4.13.)
`not`	logikai tagadás
+, −	előjelek
^	hatványozás
*	szorzás
/	osztás
//	egészosztás
\\	maradékképzés
+	összeadás
−	kivonás
=, \=	az *`ANY`* osztály egyenlőségvizsgáló műveletei. *`e`*=*`f`* azonos referencia típusok esetén azonosságbeli (ugyanazt az objektumot hivatkozzák), azonos kiterjesztett típusok esetén értékbeli egyenlőséget (a két objektum állapota azonos) vizsgál, különböző típusok esetén először konverzió megy végbe.
<, >, <=, >=	a *COMPARABLE* osztály hasonlító műveletei
`and`	teljes kiértékelésű logikai és
`and then`	rövidzár kiértékelésű logikai vagy
`or`	teljes kiértékelésű logikai vagy
`or else`	rövidzár kiértékelésű logikai vagy
`xor`	teljes kiértékelésű logikai kizáró vagy
`implies`	rövidzár kiértékelésű logikai implikáció
`<<`, **`>>`**	tömboperátorok
`;`	elhatároló

A kifejezések kiértékelése balról jobbra a precedencia táblázat figyelembevételével történik.

4.5. Végrehajtható utasítások

Az Eiffelben az algoritmusok kódolására végrehajtható utasításokat használunk. Az értékadó utasítás általános alakját l. a 4.8. alfejezetben. A következőkben a vezérlési szerkezetet realizáló utasításokat tárgyaljuk.

4.5.1. Összetett utasítás

Alakja:

[*utasítás*] [[`;`] *utasítás*]…]

Az összetett utasításnál a pontosvessző opcionális elhatároló jelként szerepel, kiírni csak akkor kell, ha a követő utasítás zárójellel kezdődik. Az Eiffel konvenció a szerepeltetését javasolja. Az utasítások szekvenciálisan, a fölírás sorrendjében kerülnek végrehajtásra.

4.5.2. Üres utasítás

Az Eiffelben nincs külön alapszava, tisztán szintaktikai, programozástechnikai jelentősége van.

4.5.3. Feltételes utasítás

Alakja:

`IF` *feltétel* `THEN` *összetett_utasítás*
[`ELSIF` *feltétel* `THEN` *összetett_utasítás*]…
[`ELSE` *összetett_utasítás*]
`END`

Szemantikája a szokásos eljárásorientált szemantika.

4.5.4. Többszörös elágaztató utasítás

Alakja:

`INSPECT` *kifejezés*
`WHEN` {*konstans* | *nevesített_konstans* | *intervallum*}
[`,` {*konstans* | *nevesített_konstans* | *intervallum*}]…
`THEN` *összetett_utasítás*

```
[WHEN {konstans | nevesített_konstans | intervallum}
      [, {konstans | nevesített_konstans | intervallum}]…
THEN összetett_utasítás]…
[ELSE összetett_utasítás]
END

intervallum: {karakter_konstans . .  karakter_konstans |
              egész_konstans . . egész_konstans}
```

A *kifejezés*, *konstans* és *nevesített_konstans* típusa egész vagy karakteres lehet és a típusuknak (beleértve az *intervallum* típusát is) meg kell egyezniük. A WHEN-ágakban szereplő értékeknek különbözniük kell. A *kifejezés* minden lehetséges értékére elő kell írni valamilyen tevékenységet.

Szemantikája a következő: kiértékelődik a kifejezés, az értéke a felírás sorrendjében összehasonlításra kerül a WHEN-ágak értékeivel. Ha van egyezés, akkor végrehajtódik a megfelelő THEN utáni összetett utasítás, és a vezérlés átadódik a következő utasításra. Ha egyetlen WHEN-ágban sincs megfelelő érték és van ELSE-ág, akkor az abban megadott összetett utasítás hajtódik végre és a vezérlés átadódik a következő utasításra, ha nincs ELSE-ág, akkor pedig egy kivétel váltódik ki.

4.5.5. Ciklus utasítás

Alakja:

```
FROM   [összetett_utasítás]
       [ciklus_invariáns]
       [ciklus_variáns]
UNTIL feltétel
LOOP   összetett_utasítás
END
```

A FROM utáni összetett utasítás a ciklus inicializáló része. A *feltétel* végfeltételként működik. A LOOP utáni összetett utasítás a ciklus magja. A ciklus invariáns és variáns rész magyarázatát l. 4.13. alfejezet.

4.5.6. Feltételes futtatás

A DEBUG-utasítás lehetőséget biztosít arra, hogy az Eiffel-környezet *debug* opciójának állapotától függően egy kódrészletet lefuttassunk vagy ne futtassunk le.

Alakja:

DEBUG *összetett_utasítás* END

Ha a *debug* opció be van kapcsolva, akkor az összetett utasítás lefut, ha ki van kapcsolva (ez az alapértelmezés), akkor nem.

4.6. Egy Eiffel program felépítése

Az Eiffel program legkisebb önálló része az *osztály*. A *klaszter* az összetartozó osztályok együttese. Az *univerzum* klaszterek olyan együttese, amelyekből egy Eiffel alkalmazás elkészíthető és egyben hatásköri egység. Végül a *rendszer* osztályoknak egy futtatható, végrehajtható egysége, amelynek van egy kitüntetett (*gyökér*) osztálya. Az összes többi osztály leszármazottja, vagy kliense a gyökérnek. A rendszer futtatása a gyökér osztály példányosításával történik.

A fentiek közül csak az osztály az, amely közvetlen nyelvi elemekkel kezelhető. A klaszter, univerzum, rendszer kezelésének feladata a környezet dolga, így ezekkel itt a továbbiakban nem foglalkozunk.

4.7. Osztályok létrehozása

Egy saját osztály definiálásának általános alakja a következő:

[INDEXING *index_lista*]
[DEFERRED | EXPANDED]
CLASS *név*
[*formális_generikus_lista*]
[OBSOLETE *sztring*]
[*öröklődés*]
[*konstruktorok*]
[*eszközdeklaráció*]
[INVARIANT *invariáns*]
END

A fenti sorrend kötött.

Az INDEXING-résznek nincs közvetlen szemantikai hatása az osztályra. Az osztály kísérő, dokumentációs információit (szerző, dátum, javallott felhasználás, stb.) lehet itt megadni ahhoz, hogy egy archiváló eszközt használva az osztály a tulajdonságai alapján is tárolható és visszakereshető legyen.

Az *index_lista* szerkezete:

index_bejegyzés [`;` *index_bejegyzés*]...

ahol az *index_bejegyzés* alakja:

[*azonosító*`:`] {*azonosító* | *konstans*} [`,` {*azonosító* | *konstans*}]…

Például:

```
indexing
    absztrakt_adatszerkezet, keresofa, piros_fekete_fa;
    szerzo: "Kiss Antal";
    irodalom: "Rivert, Leiserson: Algoritmusok"
              "Meyer: Eiffel, The Language";
    keszult: 2004, augusztus, 31;
    utolso_modositas: 2004, december, 10
```

A `DEFERRED` kulcsszó megadásával absztrakt osztályt tudunk létrehozni. A nem absztrakt osztályt az Eiffel *effektív* osztálynak hívja.

Egy osztály absztrakt, ha legalább egy eszköze absztrakt. Ha szerepel a `DEFERRED`, akkor ennek kötelezően fenn kell állnia.

Az `EXPANDED` megadása esetén egy kiterjesztett osztály jön létre, ennek hiányában egy referencia típus keletkezik.

Egy osztályt mindig meg kell nevezni, a névnek egy univerzumon belül egyedinek kell lenni.

Ha szerepel a *formális_generikus_lista*, akkor egy *generikus* (*parametrizált*) osztály jön létre, ha nem szerepel, akkor egy *nem_generikus*.

A *formális_generikus_lista* alakja:

`[`*azonosító* [`,` *azonosító*]…`->` *típus* [`,` *azonosító* [`,` *azonosító*]…`->` *típus*]…**`]`**

A generikus osztály felhasználása esetén a deklarációban aktuális generikus listát kell megadni. Az aktuális generikus lista elemei számban és sorrendben megegyező olyan osztálynevek lehetnek, amelynek a formális generikus listán szereplő típusok leszármazottai.

A OBSOLETE-rész szerepeltetése arra szolgál, hogy jelezzük, az osztály egy korábbi Eiffel verzióban készült. Ekkor az osztályra való hivatkozás esetén egy olyan figyelmeztető üzenetet kapunk, amely tartalmazza a *sztring*-et.

Egy osztály *eszközei attribútumok* és *rutinok* lehetnek. Ez utóbbiak a módszerek. Az attribútum vagy *változó*, vagy *nevesített konstans*, a rutin pedig *eljárás* vagy *függvény*.

Az eszközök az Eiffelben *példányszintűek*. Az egyes példányokban az attribútumok *mezőkben* jelennek meg.

Az *eszközdeklaráció* alakja:

`FEATURE` *eszközök* [`FEATURE` *eszközök*]…

ahol az *eszközök*:

[*klienslista*]
[*megjegyzés*]
eszközdeklaráció [[`;`] *eszközdeklaráció*]…

A *klienslista* szerkezete:

{*osztálynév* [`,` *osztálynév*]…**}**

Itt az ún. *export státust* adjuk meg, vagyis felsoroljuk azon osztályok nevét, amelyek az *eszközdeklarációban* megadott eszközöket látják. Ha nem adunk meg osztályneveket, akkor publikusak az eszközök, ha itt a saját osztálynév áll, akkor pedig privátak. Az öröklődésnél az eszközök automatikusan átkerülnek az alosztály hatáskörébe.

A *megjegyzés* egy elvárt megjegyzés.

A nevesített konstans attribútum deklarációja a következő módon történik:

[`FROZEN`] *név* [`,` [`FROZEN`] *név*]…`:` *típus* `IS` *konstans*

A `FROZEN` megadásával olyan eszközt hozunk létre az osztályban, amely nem felüldefiniálható az alosztályban.

A nevesített konstans attribútum esetén a példányok megfelelő mezői mindig a *konstans* értékét tartalmazzák.

A változó attribútum deklarációja:

[`FROZEN`] *név* [`,` [`FROZEN`] *név*]…`:` *típus*

Tehát nem adható explicit kezdőérték.

Egy rutin deklarációja a következőképpen néz ki:

[`FROZEN`] *név* [, [`FROZEN`] *név*]…
[(*formális_paraméter_lista*)][`:` *típus*]
`IS` *rutin_le*írás

Ha szerepel a *típus*, akkor függvényről, egyébként eljárásról van szó. Egy implementációhoz több név is megadható, ezek szinonimák.

A *formális_paraméter_lista* alakja:

név [`,` *név*]…`:` *típus* [`;` *név* [`,` *név*]…`:` *típus*]…

A *rutin_leírás* felépítése a következő:

[`OBSOLETE` *sztring*]
[*megjegyzés*]
[*előfeltétel*]
[*lokális_deklarációk*]
törzs
[*utófeltétel*]
[*kivételkezelő*]
`END`

Az OBSOLETE szerepe ugyanaz, mint az osztálynál volt. A rutint hívó kap egy *sztring*-et tartalmazó figyelmeztető üzenetet.

A *megjegyzés* egy elvárt megjegyzés.

A *lokális_deklarációk* alakja:

LOCAL *név* [, *név*]…:*típus* [[;] *név* [, *név*]…:*típus*]…

Itt lényegében a rutin lokális változóit deklaráljuk. Ezeknek a hatáskörkezelése statikus, élettartamuk dinamikus.

A *törzs* szerkezete az alábbi:

{DEFERRED | EXTERNAL "*nyelv*" | {DO | ONCE} *összetett_utasítás*}

A DEFERRED kulcsszó azt jelzi, hogy a rutin absztrakt, nincs implementálva. Ekkor a tartalmazó osztály is szükségszerűen absztrakt.

Az EXTERNAL után a *nyelv* azt a programnyelvet adja meg, amelyen a rutint implementáltuk, ezáltal egy *külső* rutint meghatározva. Külső rutinoknál nem szerepelhetnek lokális változók és kivételkezelő.

Ha a törzs a DO kulcsszóval indul, akkor az összetett utasítás minden hívásnál lefut, ONCE esetén viszont egy adott objektumra csak a munkamenet első hívásakor fut le. A további hívások hatástalanok. Ha függvényről van szó, a visszatérési érték mindig az első hívás visszatérési értéke lesz.

Függvény esetén létezik egy speciális, előredefiniált egyed (l. 4.8.), a *Result*, ez hordozza a visszatérési értéket. A törzsben vagy az utófeltételben kell neki értéket adni.

Egy rutin hívásánál az Eiffel a paraméterkiértékelésnél sorrendi kötést, számbeli egyeztetést (ez alól kivétel, ha tömböt alkalmazunk – l. 4.12.), típusegyenértékűséget (l. 4.11.) alkalmaz. A paraméterátadás érték szerinti. Ez alól kivétel a ***POINTER*** típus, amivel egy eszköz címét tudjuk átadni egy külső rutinnak.

Az *előfeltétel* és *utófeltétel* szerepét l. 4.13. alfejezet, a *kivételkezelő* pedig 4.14.-ben szerepel.

Egy osztálybeli eszköz hivatkozható a rutinok törzséből, elő- és utófeltételéből és kivételkezelőjéből.

Az *öröklődés* formája:

INHERIT *szuperosztály_név* [*eszközadaptáció*]
[[;] *szuperosztály_név* [*eszközadaptáció*]]…

Az Eiffelben többszörös öröklődés van. Az Eiffel eszközt ad a névütközések kezelésére.

Ha az *öröklődés* hiányzik egy implicit

inherit *ANY*

rész épül be az osztálydefinícióba.

Az *eszközadaptáció* alakja:

[*átnevezés]*
[*export*]
[*érvénytelenítés*]
[*újradefiniálás*]
[*szelekció*]
END

A sorrend kötött.

Az *átnevezés* formája:

RENAME *örökölt_eszköznév* AS *új_eszkönév*
[, *örökölt_eszköznév* AS *új_eszköznév*]…

Bármely örökölt eszközt az alosztály átnevezhet. Ez szolgál a többszörös öröklődésből származó névütközések feloldására, illetve arra, hogy az osztály az átvett eszközöket a saját környezetének megfelelő néven adhassa tovább az örököseinek.

Az *export* az átvett eszközök láthatóságának újraszabályozására való, alakja:

EXPORT **{***kliens* [, *kliens*]…**}** {ALL | *eszközlista*}
[, **{***kliens* [, *kliens*]…**}**{ALL | *eszközlista*}]…

A *kliens* az univerzum egy osztályának a neve, az *eszközlista* az örökölt eszközök neveit tartalmazza, vesszővel elválasztva. A felsorolt eszközök, vagy minden eszköz (ALL) új export státusát adja meg.

Az *érvénytelenítés* örökölt effektív rutinok absztrakttá (*deferred*) minősítését, tehát az implementáció érvénytelenítését teszi lehetővé. Alakja:

UNDEFINE *rutinnév_lista*

Az újradefiniálás egy változó vagy rutin nevének újradefiniálását jelenti. Rutin esetén megváltozhat a specifikáció és az implementáció is. Itt csak jelezzük az újradefiniálás tényét, az eszközdeklarációban kell megadni a tényleges új definíciót. Egy absztrakt módszer implementálásánál nem kell a nevét újradefiniálni, hiszen ilyenkor a „definiálás” ebben az osztályban történik meg.

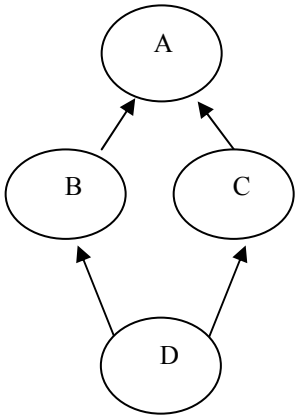
Az *újradefiniálás* alakja:

REDEFINE *eszköznév_lista*

A *szelekció* alakja:

SELECT rutin*név_lista*

Az Eiffel a polimorf rutinok kezelésénél a dinamikus kötést alkalmazza. Ez általában elegendő is, ha megfelelően minősítünk, de problémát jelenthet az alábbi (*rombusz*) öröklődésnél:



Tételezzük fel, hogy `A`-ban van egy `f` rutin, amelyet `B` és `C` újradefiniál, ezeket örökli `D` és átnevezi a névütközés elkerülése miatt `bf`-re és `cf`-re. Kérdés viszont ekkor, hogy melyik implementáció fut le, ha egy `A` objektumot helyettesítve egy `D` példánnyal, arra meghívjuk *f*-et? Ezt a problémát lehet úgy feloldani, hogy `D`-ben egy `select bf` „kitüntetett" implementációvá teszi a `bf`-et, és ekkor ez fog futni.

A *konstruktorok* az osztály konstruktorait határozza meg. Csak effektív osztályban lehet konstruktorokat létrehozni. Alakja:

`CREATION` *konstruktor* [`CREATION` *konstruktor*]...

ahol a *konstruktor* formája:

[*kliensek*][*megjegyzés*] *eljárásnév_lista*

A *kliensek* azon osztályok nevét tartalmazza, amelyek számára a konstruktorok exportálódnak.

A *megjegyzés* egy elvárt megjegyzés.

A konstruktorok eljárások, ezeket az eszközdeklarációban kell megadni.

Az INVARIANT-rész magyarázatát l. a 4.13. alfejezetben.

4.8. Objektum, érték, egyed

Egy Eiffel program futás közben *objektumokat* tud létrehozni és kezelni. Az Eiffel beszél *standard* és *speciális* objektumokról. A speciális objektum nem más, mint egy adott típussal kompatibilis értékek sorozata. Két fajtája van, a *sztring* és a *tömb* (l. 4.12.). A sztring értékei karakterek, a tömbben pedig vagy referenciák vagy egy egyszerű típus példányai helyezkednek el.

Egy standard objektum *példányosítással* vagy *klónozással* jön létre. Két fajtája az *alap* és a *komplex* objektum. Az alap objektum az alaptípusok példánya. A komplex objektum egy nem

alaptípus osztálynak a példánya, és az adott osztály attribútumai által meghatározott, kötött számú (ez lehet nulla is!) mezőből áll.

Egy *érték* lehet objektum vagy referencia.

A referencia vagy *void* (*érvénytelen*) vagy *csatoló* (*érvényes*) referencia. Az érvénytelen referencia segítségével nem érhető el semmiféle további információ. Azt, hogy egy referencia érvényes-e az `ANY` osztály `Void` attribútumához való hasonlítással dönthetjük el.

Az érvényes referencia mindig egy konkrét objektumot, a *csatolt* objektumot hivatkozza.

Egy objektumot vagy annak mezőit kifejezések segítségével tudjuk kezelni az Eiffelben. A kifejezés legegyszerűbb formáját jelentik az egyedek. Egy *egyed* egy olyan *név*, amellyel egy adott osztály példányainak az értékeit tudjuk elérni.

Az egyed lehet:

- egy osztály attribútuma,
- egy rutin lokális változója beleértve a `Result` előredefiniált egyedet a függvények esetén,
- rutin formális paramétere,
- a `Current` előredefiniált egyed, amely az aktuális példányt hivatkozza.

A lokális egyedek és az attribútumok *írhatóak* (értékük megváltoztatható), a formális paraméterek és a `Current` csak olvasható (értékük nem változtatható meg).

Az írható egyedek értéke megadható, illetve megváltoztatható *értékadással*, illetve *példányosítással*.

Az *értékadó utasítás* alakja:

egyed **:=** *kifejezés*

4.9. Példányosítás

A példányosításnál létrejön egy új objektum, kezdőállapotba kerül és egy írható egyed referencia értéke beállítódik. A példányosító utasítás alakja:

! [*típus*] ! *írható_egyed* [**.***konstruktorhívás*]

A konstruktorhívás csak akkor maradhat el, ha nincs konstruktora az osztálynak. Ekkor a mezők alapértelmezett értéket kapnak („nullázódnak”).

A *típus* akkor adandó meg, ha az az *írható_egyed* deklaráló típusának egy leszármazottja, és ennek konstruktorával akarunk példányosítani.

Az objektumok megszüntetésére az Eiffel egy automatikus szemétgyűjtögetőt alkalmaz. Ennek megvalósítása implementációfüggő.

4.10. Objektumok duplikálása és összehasonlítása

Futás közben egy új objektum létrehozásának alapvető eszköze a példányosítás. Néha viszont szükség lehet arra, hogy egy már létező objektum tartalmát másoljuk át egy másik, már létező objektumba. A *másolás* lehet *sekély*, amikor csak egyetlen objektumot másolunk és *mély*, amikor a hivatkozott objektumokat is másoljuk.

A másolás speciális esete a *klónozás*, amikor egy adott objektumot duplikálunk, és így keletkezik egy új objektum. Ez is lehet sekély és mély.

Kapcsolódó probléma az objektumok összehasonlításának kérdése. Itt is beszélhetünk sekély és mély egyenlőségről.

Azok az eszközök, amelyek megvalósítják a fentieket, az *ANY* osztályban találhatók.

Az *Y* egyed által hivatkozott objektum másolása *X*-be a következő módon történhet:

```
X.COPY(Y)
```

Ekkor az *Y* által hivatkozott objektum minden mezője átmásolódik az *X* által hivatkozott objektum mezőibe. Ha a mezőben referencia van, akkor csak az másolódik át, tehát a mező által hivatkozott objektum nem. A másolás előtt mind *Y*-nak, mind *X*-nek rendelkeznie kell csatolt objektummal.

A klónozás esetén egy új objektum keletkezik. Az érvénytelen referencia is klónozható. Általában értékadásnál használjuk

```
X:=CLONE(Y)
```

alakban. *Y* típusának *X* valamely leszármazott típusának kell lennie.

A mély másolás és klónozás a `DEEP_COPY` és `DEEP_CLONE` rutinokkal történhet.

Annak meghatározására, hogy az *X* és *Y* egyedek által hivatkozott objektumok mezőről mezőre megegyeznek-e, az

```
EQUAL(X,Y)
```

logikai visszatérési értékkel rendelkező rutin használható. A mély egyenlőségvizsgálat rutinjának neve: `DEEP_EQUAL`.

4.11. Típusok kezelése

Az Eiffelben egy típus a következő konstrukciókban fordulhat elő:

- függvény visszatérési típusa
- rutin paramétereinek típusa
- rutin lokális egyedének típusa
- szuperosztály
- formális generikus paraméter típusa

- aktuális generikus paraméter
- példányosítás

Egy típus általánosságban a következő lehet:

- osztály
- kiterjesztett osztály
- átvett típus
- bit típus
- formális generikus paraméter

Nem minden típus szerepelhet minden konstrukcióban, a részleteket az egyes konstrukciók tárgyalásánál láthatjuk.

Az osztályról (beleértve a generikus osztályt is) és a bit típusról már volt szó. Egy kiterjesztett osztály az

EXPANDED *osztálynév*

segítségével keletkezik. Például

```
X : expanded Y
```

Itt `Y` egy kiterjesztett vagy referencia osztály neve.

Az *átvett típus* arra szolgál, hogy egy már ismert egyed típusát használhassuk fel a megadott konstrukcióban. Formája:

LIKE *egyed*

Az Eiffel öröklődési gráfjának van „kezdete” és „vége”. Azt már láttuk, hogy az Eiffelben az ősosztály az `ANY`, azonban a teljes hierarchiában fölötte még van két olyan osztály, amely platformfüggő eszközöket tartalmazza. Az `ANY` szuperosztálya a *PLATFORM* és az ő szuperosztálya a `GENERAL`, amelynek már nincs szuperosztálya.

A `GENERAL` a platformfüggő általános eszközök (pl. a `clone`) osztálya. A `PLATFORM` nevesített konstans attribútumokat vezet be a platformfüggő ábrázolásokhoz. Az `ANY` már csak platformfüggetlen eszközöket tartalmaz.

A hierarchia alján helyezkedik el a `NONE` osztály, amely **minden** osztálynak leszármazottja. Egy virtuális osztálynak tekinthető, amelynek nincs konkrét forrásszövege (hiszen azt minden új osztály létrehozása esetén újra kellene írni), amely az osztályhierarchia teljessé tételéhez szükséges. Természetesen egyetlen példánya sem létezik és nem lehet alosztálya. Egyetlen eszköze sem hivatkozható.

Az `ANY` osztály `Void` eszköze `NONE` típusú.

Minden `T` típus közvetve vagy közvetlenül egy osztályból származik, ezt a típus *alaposztályának* hívjuk.

Ha `T` egy osztály, akkor a származtatás közvetlen, `T` vagy egy nem generikus osztály neve, vagy egy generikus osztálynév, aktuális generikus paraméterekkel. Tehát ekkor az alaposztály `T`.

A többi esetben a származtatás indirekt. Ekkor a felhasznált (kiterjesztett, átvett, bit) típust *bázistípusnak* nevezzük és a bázistípus alaposztálya lesz `T` alaposztálya.

Az Eiffeilben a típusegyenértékűség az osztályhierarchián alapul. Általánosságban azt mondhatjuk, hogy egy `V` típus egyenértékű a `T` típussal, ha

1. `V` alaposztálya leszármazottja `T` alaposztálynak.
2. Ha `V` generikusa származtatott, akkor aktuális generikus paraméterei típusegyenértékűek `T`-évl.
3. Ha `T` kiterjesztett, akkor `V` maga `T`, vagy `T` alaptípusa.

A pontos esetek tárgyalása ennél sokkal finomabban történhet, de ez meghaladja jelen jegyzet kereteit.

A típusegyenértékűség a kifejezésekben, a paraméterkiértékelésnél és az értékadásnál játszik alapvető szerepet az Eiffelben.

4.12. Tömbök és sztringek

A tömb értékek egy homogén sorozata, amely elemeit egész indexértékeken keresztül érhetjük el. A sztring egy speciális tömb, melynek értékei karakterek. Az `ARRAY` és a `STRING` osztályok eszközeivel kezelhetjük őket. Ezek egyike sem kiterjesztett, tehát a tömb és sztring objektumok mindig referenciával hivatkozhatók.

Az `ARRAY` egy generikus típus, paramétere mindig az értékek közös típusát adja. Lényegében egydimenziós dinamikus tömböt kezel. Többdimenziós tömböt úgy tudunk létrehozni, hogy az aktuális generikus típus tömb.

Az indexhatárokat a `make` rutin paramétereiként adhatjuk meg, amely konstruktorként van megírva.

Átméretezhetünk egy tömböt a `resize`(*alsó_határ*,*felső_határ*) rutin segítségével.

Tömbelemet az `item`(*index*)-el érhetünk el, felülírásra a `put`(*érték*,*index*) szolgál. A `force`(*érték*,*index*) rutin esetén, ha *index* nem esik az indexhatárok közé, akkor a tömb kiterjesztődik az adott indexig.

Tömb konstanst tudunk létrehozni explicit módon a << , >> operátorok segítségével úgy, hogy felsoroljuk a tömb értékeit:

$<< k_1, \ldots, k_n >>$

ahol k_i-k kifejezések, amelyek típusa egyenértékű.

A sztring lényegében egy `ARRAY[CHARACTER]` típusú tömb, ahol az alsó határ értéke 1. A `make` itt csak a felső határt rögzíti.

Egy sztring literál alakja:

" [karakter]…"

Például: `"Ez egy sztring"`.

4.13. Programhelyesség

Az Eiffelben az osztályok és a rutinok szövegében elhelyezhetünk *programhelyességi előírásokat*. Ezek formális specifikációk, amelyek

- automatikus dokumentációs eszközök,
- segítségével a programfejlesztő leírhatja az egyes programelemek tulajdonságait és helyes működését,
- teljesülése futás közben ellenőrizhető és a kivételkezelésen keresztül lehet reagálni a problémákra.

Egy programhelyességi előírás szerepelhet:

- egy rutin elő- és utófeltételében,
- egy osztály invariánsában,
- egy ciklus invariánsában,
- a CHECK-utasításban.

A programhelyességi előírás alakja:

[*címke*`:`]{*feltétel* | *megjegyzés*}[`;` [*címke*`:`]{*feltétel* | *megjegyzés*}]…

A *megjegyzés* szerepeltetése csak dokumentációs célokat szolgál. A `;` az **`and then`** logikai műveletnek felel meg. A *címke* egy azonosító.

Egy rutin elő- illetve utófeltételének alakja a következő:

`REQUIRE` *programhelyességi_előírás*
`ENSURE` *programhelyességi_előírás*

Az elő- és utófeltételekben az adott osztály eszközeire és a lokális egyedekre lehet hivatkozni. Az előfeltételnek a rutin működésének kezdetekor, az utófeltételnek a működés befejeződésekor teljesülnie kell. Az utófeltételben szerepelhet az **`old`** unáris operátor, amely operandusának a rutinba való belépésénél meglevő értékét adja meg.

Az utófeltételben általában azt határozzuk meg formálisan, hogy milyen változásokat okoz a rutin lefutása. Hasznos lehet viszont az is, hogy leírjuk, mi **nem** változik meg. Erre szolgálhat speciális esetben a **`strip`** operátor.

Ha *`x, y, z`* egy *`A`* osztály attribútumai és *`A`* egy rutinjában használjuk a **`strip`**`(x,y)` kifejezést, akkor tulajdonképpen egy olyan tömböt kapunk, amely a **`strip`** után felsorolt mezőkből áll. **`strip`**`()` az összes mezőt tartalmazó tömböt eredményezi. Ekkor az

`equal``(`**`strip`**`(x,y), `**`old strip`**`(x,y))`

igaz értéke azt jelenti, hogy a rutin nem változtathatja meg az *`x`* és *`y`* attribútum értékét. Az *`equal`* itt két tömb elemről elemre történő egyezőségének vizsgálatára szolgál.

Példa: Egy tetszőleges objektumokat tartalmazó sor absztrakt adatszerkezetet realizáló osztály egy rutinjának elő- és utófeltétele lehet például a következő:

```
put(c:ANY) is
require
     nincs_tele: not tele
do
   -- írás a sorba
ensure
     szamlalo=old szamlalo+1;
     old ures implies elem=e;
     not ures
end
```

Egy osztály és egy ciklus invariánsának alakja:

INVARIANT *programhelyességi_előírás*

Osztály esetén az invariánsnak az osztály minden példányára teljesülnie kell.

Példa: A lista absztrakt adatszerkezetet realizáló **deferred class** *LISTA* osztály invariánsa lehet az alábbi:

invariant
ures = (szamlalo = 0);
elso = (pozicio = 1);
utolso = (**not** ures **and** (pozicio = szamlalo));
kivul = (pozicio = 0) **or** (pozicio = szamlalo + 1));
pozicio >= 0;
pozicio <= szamlalo + 1;
ures = (pozicio = 0);
(elso **or** utolso) **implies not** ures

Egy ciklus invariánsának a ciklus működésének befejezése után kell teljesülnie. A ciklus *variánsa* viszont arra szolgál, hogy a ciklus futása garantáltan befejeződjön. A variáns alakja:

VARIANT [*címke*:] *egész_kifejezés*

Az *egész_kifejezés* értékét a ciklus inicializáló része nem negatívra kell, hogy állítsa. Ezután a ciklusmag minden lefutásával értéke 1-el csökken. Ha a variáns negatívvá válik, a ciklus befejezi a működését, függetlenül a feltétel értékétől.

Egy rutin törzsében bárhol elhelyezhető a CHECK-utasítás, amellyel egy adott feltétel teljesülését ellenőrizhetjük a program adott pontján. Alakja:

CHECK *programhelyességi_előírás* END

4.14. Kivételkezelés

Az Eiffelben a kivételek a „szokásos” események, de a programhelyességi előírások megsértése is kivételt vált ki.

Az Eiffelben a kivételek objektumok. Az ős kivételosztály, az *EXCEPTIONS*. A kivételkezelés csak rutinhoz köthető, kisebb egységhez (pl. utasítás, kifejezés) nem.

Egy kivételnek az Eiffelben *neve* és *kódja* van, ezek az `EXCEPTIONS` attribútumai. A beépített kivételek kódja pozitív, a sajátoké negatív. A név a hibaüzenet szerepét játssza, ez egy sztring.

Az Eiffelben egy rutin törzse után helyezhető el a kivételkezelő, amely a következőképpen néz ki:

```
RESCUE összetett_utasítás
```

A rutinban bekövetkező bármely kivétel hatására a vezérlés erre adódik át.

Az `ANY` osztályban van egy

```
default_rescue is
    do
    end
```

alapértelmezett kivételkezelő módszer, amelyet minden osztály örököl és átdefiniálhat. Így tehát az Eiffelben minden osztályban van alapértelmezett kivételkezelő. Amennyiben egy rutinban nem adunk meg explicit kivételkezelőt, akkor implicit módon kiegészül egy

```
rescue
    default_rescue
```

résszel. Tehát az Eiffelben minden rutinban van kivételkezelő.

Csak a kivételkezelőben használható a RETRY-utasítás. Ennek hatására a rutin újraindul, a paraméterátadás és a lokális egyedek inicializálása nélkül. Alakja:

```
RETRY
```

Egy felhasználói kivétel kiváltható a következő eljáráshívással:

```
RAISE(kód, név)
```

A felhasználói kivétel nevét a `developer_exception_name` attribútum, kódját az `exception` attribútum tartalmazza.

Egy rendszerkivétel figyelése letiltható az

```
IGNORE(kód)
```

eljáráshívással.

Szintén az operációs rendszer által kiváltott kivételekhez kapcsolódóan az Eiffel lehetőséget ad *általános*, rutintól független kivételkezelésre.

A

CONTINUE(*kód*)

eljáráshívás után a *kód* kódú kivétel bekövetkeztekor az `EXCEPTIONS` osztályban megadott (és természetesen bárhol újraimplementálható) üres törzsű `CONTINUE_ACTION` eljárás hívódik meg. Ennek egyetlen paramétere a *kód*. Az eljárás lefutása után a program a kivétel bekövetkezésének helyén folytatódik.

Az `ignore`, illetve a `continue` meghívása után az alapértelmezett viselkedés visszaállítása a

CATCH(*kód*)

eljáráshívás hatására következik be.

A viselkedésmódot a

STATUS(*kód*)

függvény adja meg, melynek visszatérési értéke `Caught`, `Continued`, `Ignored` lehet.

A kivételkezelőben a bekövetkezett kivétel kategóriáját az alábbi logikai függvények segítségével kérdezhetjük le:

```
IS_ASSERTION_VIOLATION(kód)
IS_DEVELOPER_EXCEPTION(kód)
IS_SIGNAL(kód)
```

Ezek rendre akkor térnek vissza igaz értékkel, ha programhelyességi előírás megsértése, felhasználói kivétel vagy operációs rendszer által kiváltott kivétel következik be.

A kivétel típusát az `EXCEPTIONS` különböző, egész típusú, a bekövetkezett kivétel kódját tartalmazó attribútumai segítségével dönthetjük el. Például ilyenek a `Precondition` (előfeltétel megsértése), `No_more_memory` (elfogyott a memória), `Void_call_target` (érvénytelen referenciára való hivatkozás).

Programhelyességi előírás megsértése esetén az előírásban szereplő, a kivételt okozó feltétel címkéjét tartalmazza a `tag_name` attribútum.

A kivételkezelés alapértelmezett szemantikája az Eiffelben a következő:

Ha egy rutin futása közben valahol bekövetkezik egy kivétel, akkor

- a hátralevő utasítások nem hajtódnak végre,
- elindul a kivételkezelő,
- ha van benne RETRY-utasítás, akkor a rutin újra lefut (természetesen újra bekövetkezhet valamilyen kivétel és akkor ez ismétlődik rekurzívan),
- ha nincs RETRY-utasítás vagy kivétel következik be, akkor a kivételkezelő befejezi a működését és a rutin sikertelenül véget ér. Ez a hívó rutinban egy kivételt vált ki és ennek a kivételnek a kezelése történik a beírt módon. Ha nincs hívó rutin, a vezérlés (sikertelen programfutással) visszatér az operációs rendszerhez.

Az Eiffel tehát a sikeres rutinvégrehajtást kényszeríti a programozóra.

Példa: Egy olyan rutin, amely mindig sikeresen ér véget.

```
-- A lehetetlen egy BOOLEAN típusú attribútum, alapértéke
-- false. Akkor lesz true, ha egyik meghívott rutin sem fut le
-- sikeresen.
mindig_sikeres is
local
     nem_elso:BOOLEAN -- értéke induláskor false
do
     if not nem_elso then rutin_1
     elsif not lehetetlen then rutin_2
     end
rescue
     if nem_elso then lehetetlen:=true
     end;
     nem_elso:=true;
     retry
end
```

A rutinunk először meghívja a *rutin_1*-et, ha az sikeresen fut le, ő is visszatér sikeresen, ha kivételt okoz (sikertelenül tér vissza), akkor meghívja a *rutin_2*-t. Ha *rutin_2* sikeresen lefut, akkor ő is visszatér sikeresen, egyébként a *lehetetlen*-t igazra állítja és sikeresen visszatér.

4.15. I/O

Az input-outputot a *STANDARD_FILES* és a *FILES* osztályok valósítják meg. Az *ANY* osztálynak vannak olyan rutinjai, amelyek bármely objektum standard outputon való megjelenítését lehetővé teszik. Az Eiffel I/O eszközrendszere közepesnek mondható.

5. A LOGIKAI PARADIGMA ÉS A PROLOG

A paradigma az 1970-es évek elején születik meg az első logikai programozási nyelv, a Prolog megkonstruálásával. A logikai paradigma a matematikai logika fogalom- és eszközrendszerén épül fel. A Prolog alapjait az elsőrendű predikátumkalkulus és a rezolúciós algoritmus képezi (l. **Matematikai logika** című tárgy).

Egy logikai program nem más, mint egy absztrakt modellre vonatkozó *állítások* egy halmaza. Az állítások a modell elemeinek tulajdonságait és a közöttük levő kapcsolatokat formalizálják.

Az állítások egy konkrét kapcsolatot leíró részhalmazát *predikátumnak* nevezzük. Általánosságban egy logikai program lefuttatása egy, az állításokból következő tétel konstruktív bizonyítását jelenti. Ekkor a program állításai egy megoldási környezetet definiálnak, és ebben a környezetben tesszük fel a programnak a *kérdést* (vagy fogalmazzuk meg a *feladatot*), amire a választ egy *következtető gép* keresi meg.

A logikai programozási nyelvekben az állítás *tény* vagy *szabály* lehet. Az állításokat és a kérdéseket közös néven *mondatoknak* nevezzük. Egyes logikai nyelvekben a szigorúan vett logikai eszközökön túlmutató mondatok is lehetnek. A *deklarációk* a predikátumok alkalmazását pontosítják, a *direktívák* a program futtatási környezetét határozzák meg.

A Prolog egy általános célú magasszintű programozási nyelv. A teljes Prolog a logikai eszközrendszeren kívül tartalmaz *metalogikai* és *logikán kívüli* nyelvi elemeket is, továbbá be van ágyazva egy interaktív fejlesztői környezetbe. Mi most először a *tiszta* (*absztrakt*) Prolog általános működési mechanizmusát tárgyaljuk, és a fejezet végén teszünk egy kitekintést az egyéb elemekre. A Prolog nyelvvel részletesebben a **Mesterséges intelligencia 2** tantárgy foglalkozik.

Egy tiszta Prolog program felhasználói predikátumok együttese, amelyekben sehol sincs hivatkozás beépített predikátumra.

A Prolog egy nem típusos, interpreteres nyelv. Karakterkészlete a szokásos, a betűk közé az egyes változatok beleértik a nemzeti nyelvi betűket is. A kis- és nagybetűk különböznek.

Megjegyzést a `%` jel után helyezhetünk el, a sor végéig.

A Prologban a mondatokat `.` zárja.

A Prolog nyelv alapeleme a *term*, amely lehet *egyszerű* és *összetett*. Egy egyszerű term az vagy *állandó* vagy *változó*. Az állandó az *név* vagy *szám*.

A név egy kisbetűvel kezdődő azonosító, vagy a `+`, `-`, `*`, `/`, `\`, `^`, `<`, `>`, `=`, `~`, `:`, `.`, `?`, `@`, `#`, `&`, `$` karakterekből álló karaktersorozat. Van négy foglalt név: `;`, `!`, `[]`, `{}`.

A szám egy olyan karaktersorozat, amely formálisan megfelel az eljárásorientált nyelvek *egész* és *valós* numerikus literáljának.

A változó speciális változó. Típusa nincs, címe nem hozzáférhető. Neve aláhúzásjellel vagy nagybetűvel kezdődő azonosító. Értékkomponensének kezelése speciális. A változó a

matematikai egyenletek *ismeretlenjének* felel meg. Rá az *egyszeres értékadás* szabálya vonatkozik. Egy változónak tehát vagy nincs értéke és ekkor a neve önmagát, mint karaktersorozatot képviseli hatáskörén belül mindenütt, vagy van értéke és ekkor a név mindenütt ezt az értékkomponenst jelenti. Az értékkomponens nem írható felül. A tiszta Prologban egy változónak értéket a Prolog következtető gép adhat.

A változó hatásköre az a mondat, amelyikben szerepel a neve. Kivétel ez alól az a változó, amelynek neve _ (ún. *névtelen változó*), amelynek minden előfordulása más-más változót jelöl.

Egy tiszta Prolog program futtatásának célja általában a kérdésekben szereplő változók lehetséges értékeinek meghatározása.

Általános Prolog konvenció, hogy az eredmény szempontjából érdektelen változók nevét aláhúzásjellel kezdjük.

Az összetett term alakja:

név (*argumentum* [, *argumentum*]…)

ahol az *argumentum* egy tetszőleges term, vagy egy aposztrófok közé zárt tetszőleges karaktersorozat lehet.

A tény egy összetett term és mint olyan, egy igaz állítás.

Egy szabály áll *fejből* és *törzsből* és közöttük valamilyen elhatároló áll (nálunk ez a :- lesz). A fej egy összetett term, a törzs egy vesszőkkel elválasztott összetett term sorozat (ezek predikátumok).

A szabály egy következtetési szabály: a fej akkor igaz, ha a törzs igaz. A vessző tehát itt egy rövidzár *és* műveletnek felel meg.

A kérdésnek csak törzse van.

A Prologban a deklarációk és direktívák

:- *törzs*

alakúak.

A Prolog állításaiban szereplő változók *univerzálisan*, a kérdésben szereplők viszont *egzisztenciálisan kvantáltak*.

Tehát a tények törzs nélküli szabályok, vagyis a törzs mindig *igaznak* tekinthető. A kérdés viszont fej nélküli szabály, azaz vagy azt kérdezzük, hogy a megoldási környezet mely elemei teszik igazzá a predikátumokat, vagy pedig csak egy „igen-nem” típusú kérdést teszünk föl.

A szabályok lehetnek rekurzívek.

Akárhány olyan szabály lehet, ahol a fej azonos, ilyenkor az argumentumok közötti kapcsolatot az egyes állítások által definiált kapcsolatok uniója határozza meg.

Példa:

```
apja(János,ferenc). % ez egy tény
apja(ferenc,péter). % ez egy tény
nagyapja(X,Z):- apja(X,Y),apja(Y,Z). % ez egy szabály

nagyapja(Valaki,péter). % ez egy kérdés
```

A Prolog következtető gép a program futtatása során a memóriában egy *keresési fát* épít föl és jár be preorder módon. A fát teljes mértékben soha nem építi föl, mindig csak az aktuálisan kezelt út áll rendelkezésre, a bejárt csúcsot törli a feldolgozás után. A fa csúcsaiban a kérdés aktuális alakja áll, az éleket viszont az adott lépésben végrehajtott változóhelyettesítések címkézik.

A kérdés megválaszolásánál a tényeket és szabályokat a felírásuk sorrendjében használja fel, a megoldásnál alkalmazott technika pedig az *illesztés* és a *visszalépés*.

A megoldás lépései a következők:

1. A keresési fa gyökerében az eredeti kérdés áll. Induláskor ez az aktuális csúcs.
2. Ha az aktuális csúcsban a kérdés törzse üres, akkor megvan egy megoldás. Ezt kiírja a rendszer, és rákérdez, hogy a felhasználó akar-e további megoldásokat. Ha nem, akkor a programnak vége, ha igen, akkor folytatás 4-től.
3. Ha az aktuális csúcsban a kérdés törzse nem üres, akkor veszi a törzs első predikátumát, majd az első tényre végrehajt egy illesztést. Ha nem sikerül az illesztés, akkor veszi sorra a további tényeket és próbál azokra illeszteni. Ha sikerül valamelyik tényre illeszteni, akkor a fában létrehoz egy új csúcsot és abban a kérdés aktuális alakja úgy áll elő, hogy elhagyja az első predikátumot. Az élet címkézi az illesztéshez esetleg szükséges változóhelyettesítésekkel.

   Ha egyetlen tényre sem sikerült illeszteni, akkor megpróbál illesztést találni a szabályok fejére. Ha van illeszkedés, akkor létrehoz egy új csúcsot a fában, az éleket ugyanúgy címkézi, és a kérdés új alakja úgy keletkezik, hogy a predikátumot felülírja az illeszkedő fejű szabály törzsével.

   Ha nem illeszkedik egyetlen tény és egyetlen szabályfej sem, akkor a Prolog azt mondja, hogy zsákutcába jutott és a végrehajtás folytatódik 4-től, különben az új csúcs lesz az aktuális és folytatás 2-től.
4. Ez a visszalépés. Ha az aktuális csúcs a fa gyökere, akkor a program véget ér, nincs több megoldás (az eddigiekkel együtt esetleg egy sem). Különben törli a fában az aktuális csúcsot, és a megelőző csúcs lesz az aktuális. Egyben törli a két csúcsot összekötő él változóhelyettesítéseit. Ezután 3-tól folytatva megpróbál illesztést keresni az eddig felhasznált állításokat követő állítások segítségével.

Az illesztés algoritmusa a következő:

1. Ha az illesztendő termsorozatok üresek, akkor vége (az illesztés sikeres), különben illeszti a két sorozat első elemeit 2 szerint, majd ha, azok illeszkednek, folytatódik az illesztés a sorozatok maradék elemeire 1 szerint.
2. Ha mindkét term állandó, akkor attól függően, hogy mint karaktersorozatok azonosake, az illesztés sikeres lesz, vagy meghiúsul.
3. Állandó és összetett term esetén az illesztés sikertelen lesz.
4. Két összetett term esetén az illesztés sikertelen, ha különbözik a nevük, vagy az argumentumaik száma. Különben az argumentumok sorozatai kerülnek illesztésre 1 szerint.
5. Ha mindkét term változó, bármelyik helyettesíthető a másikkal. Általában az állítás változói kapnak értéket.
6. Ha az egyik term változó, akkor az helyettesítődik a másik (állandó vagy összetett) termmel.

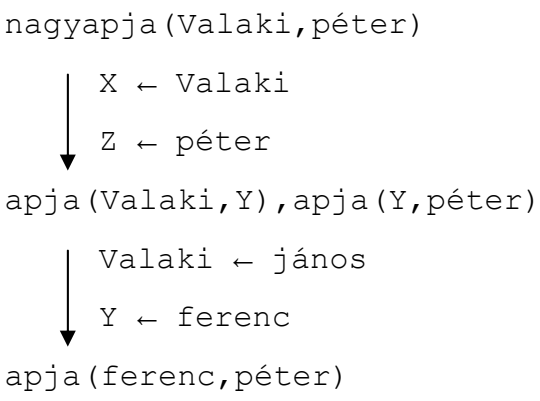
Nézzük meg a példánk végrehajtását. A keresési fa induláskor ilyen alakú:

```
nagyapja(Valaki,péter)
```

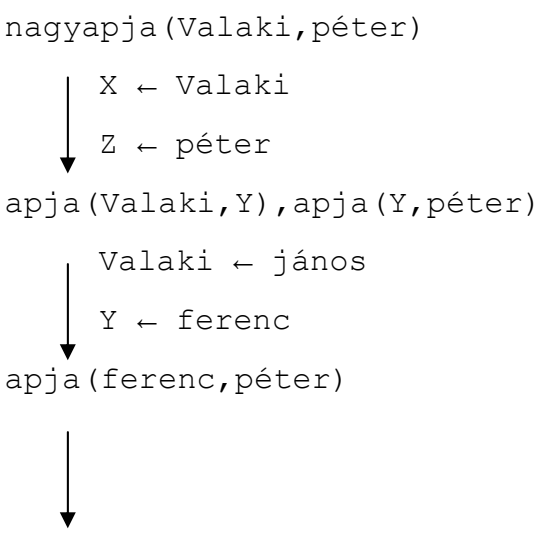
Az illesztési algoritmus 4-es pontja miatt a tényekre nem illeszthető a predikátum (eltér a név), de 4, 5, 6, miatt (változóhelyettesítések) a szabály fejére igen, a fa épül tovább (már figyelembe vettük a változóhelyettesítést és az egyszeres értékadást):

```
nagyapja(Valaki,péter)
    |  X ← Valaki
    |  Z ← péter
    ↓
apja(Valaki,Y),apja(Y,péter)
```

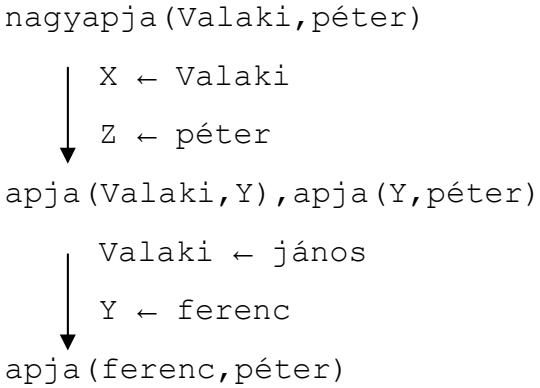
Most az első predikátum 4 és 6 alapján illeszthető az első tényhez:



4 és 2 alapján az első tény nem, de a második illeszkedik így:



A kérdés törzse üressé vált, megvan az első megoldás és ez `János`. Ezt a Prolog kiírja, majd rákérdez a folytatásra. Ha folytatni akarjuk, akkor a visszalépések és a zsákutcák miatt a következő fasorozat alakul ki és több megoldást nem találunk:



```
nagyapja(Valaki,péter)
    |  X ← Valaki
    |  Z ← péter
    ↓
apja(Valaki,Y),apja(Y,péter)
    |  Valaki ← ferenc          illesztés a 2. ténnyel
    |  Y ← péter
    ↓
apja(péter,péter)              zsákutca


nagyapja(Valaki,péter)
    |  X ← Valaki
    |  Z ← péter
    ↓
apja(Valaki,Y),apja(Y,péter)   zsákutca


nagyapja(Valaki,péter)         zsákutca
```

A gyökérből kellene visszalépni, vége a futásnak, újabb megoldás nincs.

A predikátumok illesztése az eljárásorientált nyelvek eljáráshívásának felel meg. A hívás a predikátum, a meghívott eljárást illesztés választja ki, a paraméterkiértékelésnél sorrendi kötés és számbeli egyeztetés van, a paraméterátadást az illesztés helyettesíti és ezután a hívást felülírjuk a törzzsel (makrózás).

Ha az argumentum változó, az output paraméter, különben input paraméter.

Az „igen-nem” kérdés argumentumai között nem szerepel változó.

A gyakorlati problémák megoldásánál gyakran van szükség olyan megoldásokra (pl. számolni kell), amelyekre a tiszta logikai eszközök nem, vagy nem elég hatékonyan alkalmazhatók. Ezekre szolgálnak a Prolog *metalogikai* eszközei.

A Prologban van *kifejezés*, azonban ez csak bizonyos környezetekben kiértékelendő. A Prolognak vannak beépített operátorai (pl. aritmetikai és hasonlító operátorok), és a programozó is definiálhat saját operátorokat, sőt túlterhelheti a beépítetteket. Ezt direktívák segítségével szokás megtenni.

A Prologban a `+`, `-`, `*`, `/`, `**` aritmetikai operátorok, a szokásos jelentéssel bírnak (az utolsó a hatványozás operátora). Ezek infix és prefix módon használhatók és természetesen szám operandusokon értelmezettek. Azonban ezek az operátorok összetett term nevek. Tehát a `2+3` kifejezés lényegében nem más, mint a `+(2,3)` összetett term. Ennek megfelelően egy ilyen kifejezés csak speciális szövegkörnyezetben kerül kiértékelésre ténylegesen.

Ilyen környezetet ad a kétoperandusú infix `is` operátor, amelynek jobb oldalán egy aritmetikai kifejezésnek kell állnia. Ez a kifejezés kiértékelődik, majd illesztésre kerül a bal oldali operandussal.

Ez az a szituáció, amikor az illesztés szabályainak alkalmazása miatt a programozó rendelhet értéket egy változóhoz. Ugyanis, ha az `is` bal oldalán egy érték nélküli változó áll, akkor az felveszi a kifejezés értékét.

Az illesztés miatt teljesen értelmetlen az `S is S+1` kifejezés. Ugyanis, ha `S`-nek van értéke, akkor az illesztés sikertelen lesz (`S` és `S+1` értéke nem azonos), ha nincs, akkor pedig hiba keletkezik (`S` nem létező értékéhez nem adhatunk hozzá `1`-et).

A Prolog egyik beépített operátora a `!`, a *vágási operátor*. Operandus nélküli (tehát argumentum nélküli összetett term). Szerepe a megoldás keresésének vezérlésében van. Ha szerepel egy kérdés törzsében predikátumként, akkor az adott csomópontban „elvágja” a keresési fát. Ez annyit jelent, hogy ha a megoldás keresésénél ebből a csúcsból kellene visszalépni, akkor a program befejeződik. Szerepe alapvető a rekurzív szabályok alkalmazásánál, a végtelen rekurzió elkerülésénél.

Példaként lássuk a faktoriális kiszámításának szabályait:

```
faktoriális(0,X) :- !, X is 1.

faktoriális(N,X) :- M is N-1, faktoriális(M,Y), X is N*Y.
```

Egy hatékony programozási nyelv nem lehet meg olyan eszközök nélkül, mint I/O, sztringkezelés, kivételkezelés, grafika. Ezek természetesen léteznek a Prologban is, azonban ezek logikán kívüli predikátumok, deklaratív értelmezésük nincs.

6. A FUNKCIONÁLIS PARADIGMA

A funkcionális paradigma középpontjában a *függvények* állnak. Egy funkcionális (vagy *applikatív*) nyelvben egy program típus-, osztály- és függvénydeklarációk, illetve függvénydefiníciók sorozatából, valamint egy *kezdeti kifejezésből* áll. A kezdeti kifejezésben tetszőleges hosszúságú (esetleg egymásba ágyazott) függvényhívás-sorozat jelenhet meg. A program végrehajtását a kezdeti kifejezés kiértékelése jelenti. Ezt úgy képzelhetjük el, hogy a kezdeti kifejezésben szereplő függvények meghívása úgy zajlik le, hogy a hívást szövegszerűen (a paraméterek figyelembevételével) helyettesítjük a definíció törzsével. A helyettesítés pontos szemantikáját az egyes nyelvek kiértékelési (átírási) modellje határozza meg.

A funkcionális nyelvek esetén nem választható szét a nyelvi rendszer a környezettől. Ezek a nyelvi rendszerek eredendően interpreter alapúak, interaktívak, de tartalmaznak fordítóprogramokat is. Középpontjukban mindig egy *redukciós* (átíró) rendszer áll. Ha a redukciós rendszer olyan, hogy az egyes részkifejezések átírásának sorrendje nincs hatással a végeredményre, akkor azt *konfluensnek* nevezzük.

Egy funkcionális nyelvű program legfontosabb építőkövei a saját függvények. Ezek fogalmilag semmiben sem különböznek az eljárásorientált nyelvek függvényeitől. A függvény törzse meghatározza adott aktuális paraméterek mellett a visszatérési érték kiszámításának módját. A függvény törzse a funkcionális nyelvekben kifejezésekből áll.

Egy funkcionális nyelvi rendszer beépített függvények sokaságából áll. Saját függvényt beépített, vagy általunk már korábban definiált függvények segítségével tudunk definiálni (függvényösszetétel).

Egy funkcionális nyelvben a függvények alapértelmezett módon rekurzívak lehetnek, sőt létrehozhatók kölcsönösen rekurzív függvények is.

A kezdeti kifejezés redukálása (a nyelv által megvalósított *kiértékelési stratégia* alapján) mindig egy redukálható részkifejezés (egy *redex*) átírásával kezdődik. Ha a kifejezés már nem redukálható tovább, akkor *normál formájú* kifejezésről beszélünk.

A kiértékelés lehet *lusta kiértékelés*, ekkor a kifejezésben a legbaloldalibb legkülső redex kerül átírásra. Ez azt jelenti, hogy ha a kifejezés egy függvényhívás, akkor az aktuális paraméterek kiértékelését csak akkor végzi el a rendszer, ha szükség van rájuk. A lusta kiértékelés mindig eljut a normál formáig, ha az létezik.

A *mohó kiértékelés* a legbaloldalibb legbelső redexet írja át először. Ekkor tehát az aktuális paraméterek kiértékelése történik meg először.

A mohó kiértékelés gyakran hatékonyabb, de nem biztos, hogy véget ér, még akkor sem, ha létezik a normál forma.

Egy funkcionális nyelvet *tisztán funkcionálisnak* (*tisztán applikatívnak*) nevezünk, ha nyelvi elemeinek nincs mellékhatása, és nincs lehetőség értékadásra vagy más eljárásorientált nyelvi elem használatára.

A nem tisztán funkcionális nyelvekben viszont van mellékhatás, vannak eljárásorientált (néha objektumorientált) vagy azokhoz hasonló eszközök.

A tisztán funkcionális nyelvekben teljesül a *hivatkozási átláthatóság*. Ez azt jelenti, hogy egy kifejezés értéke nem függ attól, hogy a program mely részén fordul elő. Tehát ugyanazon kifejezés értéke a szöveg bármely pontján ugyanaz. A függvények nem változtatják meg a környezetüket, azaz a tartalmazó kifejezés értékét nem befolyásolják. Az ilyen nyelvnek nincsenek változói, csak konstansai és nevesített konstansai.

A tisztán funkcionális nyelvek általában szigorúan típusosak, a fordítóprogram ellenőrzi a típuskompatibilitást.

A funkcionális nyelvek eszközként tartalmaznak olyan függvényeket, melyek paramétere, vagy visszatérési értéke függvény (*funkcionálok*, vagy *magasabb rendű függvények*). Ez a procedurális absztrakciót szolgálja.

A funkcionális nyelvek egy részének kivételkezelése gyenge vagy nem létezik, másoknál hatékony eszközrendszer áll rendelkezésre.

A függvényösszetétel asszociatív, így a funkcionális nyelven megírt programok kiértékelése jól párhuzamosítható. Az elterjedt funkcionális nyelveknek általában van párhuzamos változata.

A funkcionális nyelvek közül a Haskell egy erősen típusos, tisztán funkcionális, lusta kiértékelést megvalósító, a LISP egy imperatív eszközöket is tartalmazó, objektumorientált változattal (CLOS) is rendelkező, mohó kiértékelést valló nyelv.

7. LISP

A LISP a funkcionális paradigma első nyelveként az 1950-es évek második felében jött létre, mint mesterséges intelligencia kutatásokat támogató nyelv. Sok verziója létezik. Két legelterjedtebb változata a Common Lisp és a Scheme. Mi a Common LISP változatot, illetve ennek objektumorientált eszközökkel kibővített verzióját tárgyaljuk, ennek neve CLOS (Common LISP Object System).

A LISP egy interpreteres, interaktív nyelvi rendszer, amelyet beépített függvények alkotnak. Ezek azonnal, párbeszédes üzemmódban hívhatók.

A LISP programozás saját függvények definiálását és azok alkalmazását jelenti.

A nyelv nem típusos.

7.1. A CLOS alapelemei

Karakterkészlete az ASCII-n alapul, a kis- és nagybetűket nem különbözteti meg.

A nyelvnek vannak foglalt szavai (pl. a speciális formák nevei). A beépített függvények nevei standard azonosítók.

Az azonosítók betűkből, számjegyekből és a következő karakterekből alkotott, tetszőleges hosszúságú karaktersorozatok: `+`, `-`, `*`, `/`, `@`, `$`, `%`, `^`, `&`, `_`, `=`, `<`, `>`, `~`, `.`.

Az azonosítók a nyelvben változók és függvények nevei lehetnek. Ezeknél a LISP a kisbetűket automatikusan nagybetűsre alakítja át, az outputban már csak ez az alak jelenik meg.

Megjegyzést bármely sor végén helyezhetünk el a `;` karakter után, a sor végéig.

A nyelv alap építőelemei az *atomok*. Egy atom lehet *numerikus atom* (vagy *szám*). Ez megfelel az eljárásorientált nyelvek numerikus literáljának. A LISP decimális számrendszert használ. A számok fajtái a következők:

```
Valós
Racionális
  Tört
  Egész
Komplex
```

A valós számnak megvan a tizedestört és az exponenciális alakja, az egész a szokásos. A tört esetén a számlálót és a nevezőt egy `/` választja el. A komplex szám zárójelekben szereplő valós és képzetes részből áll, előtte a `#` jellel.

A LISP a törtet belső ábrázolásban mindig *kanonikus* alakra alakítja (tehát a számláló és nevező relatív prímek és a nevező pozitív).

Példák számokra:

```
-1, 28, .07, -11.3, 0.888e-3, 1416, -518, 2/3, #(3.0 2.0), #(0 1).
```

A *szimbolikus atom* (vagy *szimbólum*) egy azonosító, amely szövegkörnyezettől függően csak önmagát mint karaktersorozatot jelenti, vagy pedig egy programozói eszköz neve.

A nyelvnek vannak beépített szimbólumai. Például a `T` egy nevesített konstansnak tekinthető, amelynek értéke a logikai *igaz*. A nyelv kulcsszavai előtt `&`, vagy pedig `:` jel áll.

Az atomokon kívül a LISP másik alapeszköze a *lista*, amelyről a nevét is kapta (**LIS**t **P**rocessing). A lista kerek zárójelbe zárt atomok és listák sorozata, és nem más mint a hierarchikus lista (1. **Adatszerkezetek és algoritmusok**) absztrakt adatszerkezet nyelvi realizációja.

Példák listára:

```
()   ; üres lista
(Ez egy 5 elemu lista)
((a b) (c d))
```

Az atomokat és a listákat a LISP közös néven *S-kifejezésnek* (*szimbolikus kifejezésnek*) hívja.

A LISP-ben mind a program, mind az adat S-kifejezés segítségével kezelhető.

Tehát egy LISP program feldolgozhat egy másik LISP programot adatként, és a futás eredménye egy újabb LISP program lehet.

A LISP-ben van változó. A változót definiálni kell, lehet neki explicit kezdőértéket adni és értéke tetszőlegesen megváltoztatható.

A LISP-ben van kifejezés. Ugyanis az S-kifejezés vagy adatot határoz meg, vagy csak önmagát mint karaktersorozatot jelenti, vagy kifejezés, és ekkor kiértékelendő. A numerikus atom értéke önmaga, a változó értéke az aktuális érték. Lista esetén viszont a lista első elemének egy függvénynévnek kell lennie, és ekkor ez egy függvényhívás. A lista további elemei a függvény aktuális paraméterei. A kifejezés eredményét ekkor a függvény visszatérési értéke adja. Az aktuális paraméterek S-kifejezések lehetnek.

A LISP kifejezése *prefix* alakú kifejezés, az operátoroknak a függvénynevek, az operandusoknak az S-kifejezések felelnek meg.

A kifejezés értéke maga is S-kifejezés.

Egy változó értékül S-kifejezést vehet fel.

A LISP függvényei lehetnek fix és változó paraméterszámúak, így az operátorok egy része tetszőleges számú operandus esetén értelmezett.

A LISP interpreter ezek után alaphelyzetben a következőképpen működik:

1. Megadunk neki egy S-kifejezést, ez a program. Ezt *beolvassa* (*read*).
2. Értelmezi az S-kifejezést, meghatározza az értékét (*evaluate*).
3. Kiírja az értékét a képernyőre (*print*).

Ezt hívja a LISP `read-evaluate-print` ciklusnak.

A LISP függvények esetén a paraméter kiértékelésnél mindig sorrendi kötés, fix paraméterek esetén számbeli egyeztetés érvényesül. A paraméterátadás lehet *érték szerinti*, ekkor az aktuális paraméterként megadott S-kifejezés kiértékelődik. Az ilyen függvények nem változtatják meg paramétereiket, tehát ebből a szempontból mellékhatás mentesek (tisztán applikatívak).

A paraméterátadás lehet *szimbolikus*, ekkor az aktuális paraméter nem értékelődik ki, hanem mint karaktersorozat kerül átadásra. Ezek a függvények meg tudják változtatni a paraméterüket, tehát **lehet** mellékhatásuk. Az ilyen függvényeket egyes LISP verziók *álfüggvényeknek* hívják. A CLOS ekkor *makróról* beszél, megkülönböztetve őket a *függvényektől*. A makrókról részletesebben l. 7.9. alfejezet.

7.2. CLOS beépített függvények

Aritmetikai függvények

`+`	összeadás, tetszőleges számú paraméter
`-`	kivonás, legalább 1 paraméter
`*`	szorzás, tetszőleges számú paraméter
`/`	egészosztás, 2 paraméter
`rem`	maradékképzés, 2 paraméter
`1+`	növelés 1-el, 1 paraméter
`1-`	csökkentés 1-el, 1 paraméter
`sqrt`	négyzetgyök, 1 paraméter
`exp`	hatványozás, 2 paraméter
`gcd`	legnagyobb közös osztó, tetszőleges számú paraméter
`lcm`	legkisebb közös többszörös, tetszőleges számú (legalább 1) paraméter
`abs`	abszolút érték, 1 paraméter
`min`	legkisebb érték, legalább 1 paraméter
`max`	legnagyobb érték, legalább 1 paraméter

A további példákban mindenütt a > a promptjel, a LISP válasza az alatta levő sorban látható.

Példák:

```
> (- 3 2)
1
> (+ 3 4 5)
12
> (* 3 4 5)
60
```

Predikátumok

Olyan függvények, amelyek logikai visszatérési értékkel rendelkeznek. Nevük általában `p`-re végződik. Itt jegyezzük meg, hogy a logikai hamis értéket a LISP a `NIL` beépített szimbólummal (mint nevesített konstanssal) kezeli. **A LISP-ben az üres lista értéke is NIL!**

```
> ()
NIL
```

Sok LISP verzió az ún. általánosított logikai értékeket kezeli. Ezek azt mondják, hogy ha valaminek az értéke **nem NIL**, akkor az **igaz**. A CLOS is ezt az elvet valósítja meg.

Néhány predikátum számok fajtáját dönti el:

`numberp`	a paramétere szám-e
`realp`	a paramétere valós-e
`rationalp`	a paramétere racionális-e
`ratiop`	a paramétere tört-e
`integerp`	a paramétere egész-e

Példák:

```
> (integerp (/ 12 4))
T
> (ratiop (/ 12 5))
T
> (integerp (/ 12 5))
NIL
```

A következő predikátumok szintén számokat vizsgálnak:

`zerop`	a paramétere nulla-e
`plusp`	a paramétere pozitív-e
`minusp`	a paramétere negatív-e
`oddp`	a paramétere páratlan-e
`evenp`	a paramétere páros-e

Az alábbi függvények legalább két paraméterrel rendelkeznek, ezek is predikátumok, a paramétereiket hasonlítják össze:

=, <, > , /= , >= , <=

Konverziós függvények

A paraméterük egy szám, amelyet másik fajtájú számmá alakítanak át.

`float`	valóssá alakít
`rational`	törtté alakít át
`truncate`	csonkít
`round`	kerekít

Logikai függvények

A `not`, `and`, `or` rendre a logikai *tagadás*, *és* illetve *vagy* műveletet realizálja.

A `not` egy paraméterű, az `and` és az `or` tetszőleges számú paraméterrel rendelkezik.

Az `and` függvény visszatérési értéke `NIL`, ha valamelyik paramétere `NIL`, különben a legutolsó paraméterének értéke. Ha paraméter nélkül hívtuk meg, `T`-vel tér vissza.

Az `or` visszatérési értéke `NIL`, ha valamennyi paramétere `NIL` értékű, egyébként az első nem `NIL` értékű paraméterének értéke. Ha paraméter nélkül hívtuk meg, `NIL`-el tér vissza.

Tehát az `and` és `or` rövidzár kiértékelésű.

Példák:

```
> (and)
T
> (or)
NIL
> (and 3)
3
> (and 0)
0
```

Feltételes konstrukciók

Segítségükkel feltételes kifejezéseket tudunk összeállítani, szerepük a saját függvény létrehozásánál van.

Az `if` speciális formának két vagy három paramétere van. Ha az első paraméter értéke nem `NIL`, akkor a második paraméter kiértékelődik, és ez adja a visszatérési értéket. Ha `NIL`, akkor, ha meg van adva harmadik paraméter, akkor annak értéke lesz a visszatérési érték, egyébként pedig `NIL`.

A `cond` makró nem fix paraméterszámú függvény, paraméterei listák. Formája:

`(COND [ (`*feltétel* [*S-kifejezés*]…`) ]…)`

Szemantikája a következő: A megadás sorrendjében kiértékelésre kerülnek a *feltételek*. Ha valamelyik értéke nem NIL, akkor a mellette megadott *S-kifejezések* közül az utolsó értéke adja a visszatérési értéket. Ha nincs *S-kifejezés*, akkor a feltétel értéke (ami nem `NIL`) határozza meg a visszatérési értéket. Ha minden feltétel értéke `NIL`, akkor a `cond` is `NIL`-lel tér vissza. Ugyancsak `NIL` lesz az értéke, ha paraméter nélkül hívjuk meg.

A `quote` speciális forma

Egy paramétere van, visszatérési értéke az aktuális paraméterként megadott S-kifejezés. Arra szolgál, hogy érték szerinti paraméterátadással rendelkező paramétereknél az aktuális paraméter kiértékelését megakadályozzuk

Példa:

```
> (quote (+ 5 6))
(+ 5 6)
```

Szerepe annyira fontos, hogy rövidíteni lehet a ' karakterrel. A fenti példa ekvivalens az alábbival:

```
> '(+ 5 6)
```

7.3. Nevesített konstans, változó, saját függvény

A programozó a CLOS-ban saját nevesített konstanst a `defconstant` makróval hozhat létre, melynek első paramétere a nevesített konstans neve, a második az értéke.

Példa:

```
(defconstant pi 3.14)
```

A CLOS-ban változót a `defvar` makróval lehet definiálni. Első paramétere a változó neve, második opcionális paramétere a kezdőértéke.

Példák:

```
> (defvar a 8)
A
> (defvar a)
A
```

Az első esetben a kezdőérték `8`, a másodikban nincs kezdőérték adás.

A makró visszatérési értéke a változó neve, mint szimbólum. A `defvar` a második paraméterét kiértékeli, az elsőt nem. Mellékhatásként viszont az első paraméterének értéket ad.

Egy változó értékét a `setf` makró segítségével tudjuk megváltoztatni (*értékadás*). Legalább két paramétere van, az első a változó neve, a második az új érték. Visszatérési érték a második paraméter értéke. Egyszerre több változónak is tudunk értéket adni a segítségével.

Példák:

```
> (setf a 5)
5
> (setf a 5 b 6)
6
```

Saját függvényt a `defun` makró segítségével hozhatunk létre. A függvénydefiníció általános formája:

(DEFUN *név formális_paraméter_lista törzs*)

A *név* egy szimbólum. A *formális_paraméter_lista* egy szimbólumokat tartalmazó lista. A formális paraméterek a függvény lokális változói. A *törzs* egy S-kifejezés sorozat. A `defun` makró visszatérési értéke egyes verziók szerint *határozatlan*, a CLOS-ban a függvény nevét adja vissza.

A visszatérési értéket a törzs határozza meg. Az így definiált függvény paramétereinek paraméterátadási módja érték szerinti lesz. Meghívni annyi aktuális paraméterrel lehet, ahány formális paraméter megadtunk, tehát az új függvény fix paraméter számú lesz.

A `defun` segítségével definiálhatunk nem fix paraméterszámú saját függvényt is, úgy, hogy a formális paraméter listán egyetlen szimbólumot adunk meg, és előtte szerepeltetjük az `&rest` kulcsszót. Ha a paraméterek számának alsó korlátot akarunk megszabni, akkor a formális paraméter listán megadunk adott számú szimbólumot és a listát zárja a fenti konstrukció.

Példák:

1. A következő saját függvény az abszolút érték függvényt implementálja logikai függvények segítségével (az általánosított logikai értékek felhasználásával):

```
(defun absz (n)
   (or (and (minusp n) (* -1 n)) n))
```

2. A faktoriális függvény rekurzív változata

```
(defun fakt (n)
     (cond ((zerop n) 1)
           (T (* n (fakt (1- n))))))
```

7.4. Listák

Egy lista fejét a `car`, a farkát a `cdr` függvény szolgáltatja. Paraméterük természetesen egy lista. Az üres listára értékük `NIL`.

Példák:

```
> (defvar a '(+ 2 3 4))
A
```

```
> 'a
A
> a
(+ 2 3 4)
> (car a)
+
> (cdr a)
(2 3 4)
> (car (cdr '(a  b  c))
B
```

A LISP definiálja a `car` és `cdr` függvények kombinációit:

```
(car (car x)) = (caar x)
(car (cdr x)) = (cadr x)
(cdr (car x)) = (cdar x)
(cdr (cdr x)) = (cddr x)
```

A beágyazási szint maximum négy lehet (tehát még létezik a `caaddr`).

A `nth` függvény egy lista `i`. elemét adja vissza (a sorszámozás `0`-val indul). Értéke `NIL`, ha nincs ilyen elem.

Példák:

```
> (nth 0 '(1 2 3 4))
1
> (nth 4 '(1 2 3 4))
NIL
```

A `member` és a `remove` függvények első paramétere egy elem, második egy lista. A `member` visszaadja a lista azon részlistáját, amely az elemmel kezdődik, vagy `NIL`-t. A `remove` a lista legkülső szintjéről eltávolítja az elem összes előfordulását.

A `length` a lista elemeinek számát adja, a `reverse` pedig a lista legkülső szintjén levő elemek sorrendjét megfordítja (tehát a beágyazott listák változatlanok maradnak).

Példák:

```
> (length '())
0
> (length '((a b) 1 (x)))
3
> (reverse '((a b c) (d e)))
((D E) (A B C))
```

A `subst` függvénynek három paramétere van. A harmadik paraméter egy lista. Ezen listában a második paraméter összes (tehát nemcsak a legkülső szintű) előfordulását helyettesíti az első paraméterrel.

Példa:

```
> (subst 5  0 '(0 1 2 0))
(5 1 2 5)
```

A `cons` függvénynek két paramétere van, ezekből állít elő egy listát úgy, hogy kiértékeli őket és az első paraméter értéke lesz a lista feje, a második a farka.

Példák:

```
> (cons 'a '(b  c))
(A B C)
> (cons 'a '())
(A)
> (cons 'a 'b)
(A . B)
```

Az utolsó példa mutatja a *lista* és a *valódi lista* közötti fogalmi különbséget. A valódi lista mindig az üres listával végződik. Tehát rendre alkalmazva rá a `cdr` függvényt, az utolsó mindig `NIL`-lel tér vissza. A *nem valódi lista* esetén viszont az utolsó `cdr` visszatérési értéke nem `NIL`, ilyen akkor keletkezik, ha a `cons` második paramétere nem lista. Ilyenkor a kiírt lista egy *pontozott párt* tartalmaz, ahol a pont utáni rész az utolsó `cdr` értékét mutatja.

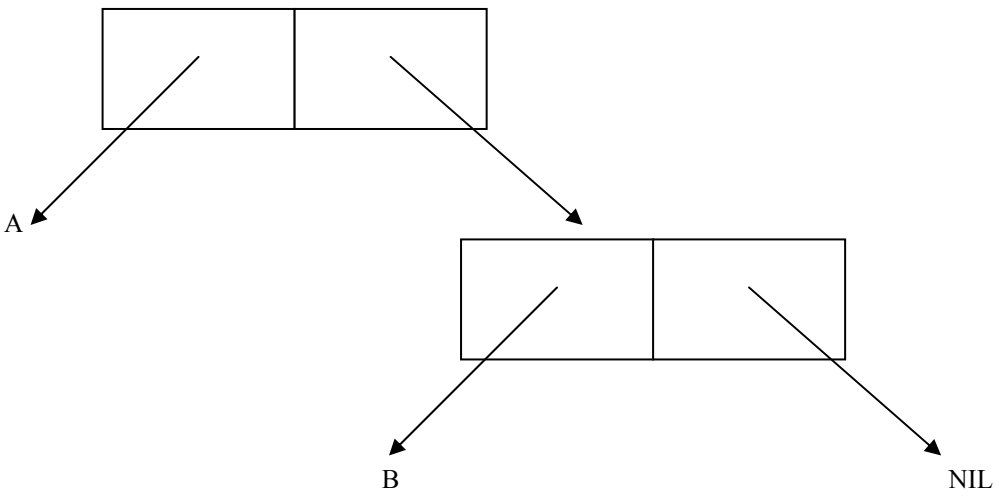
Az `endp` predikátum a lista *végét* teszteli. Értéke igaz, ha paramétere az üres lista és `NIL`, ha nem.

A listák memóriában történő ábrázolása a következőképpen történik:

A lista mindig egy pointer párból áll. Ezek közül az első címzi a lista fejét, a második a farkát. A `cons` függvény ezt a két pointert hozza létre. Tehát a

```
> (cons 'a (cons 'b NIL))
(A B)
```

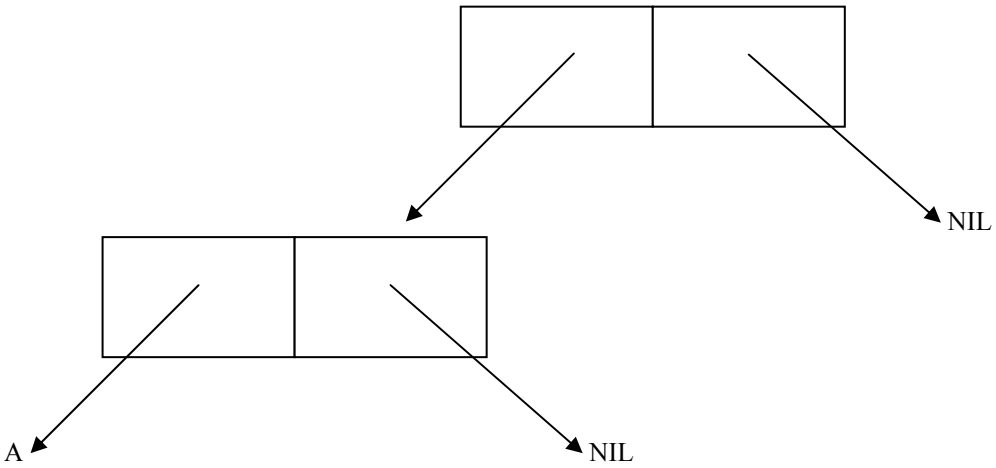
hatására az alábbi ábrázolású lista jön létre:



A

```
> (cons (cons 'a NIL) NIL)
((A))
```

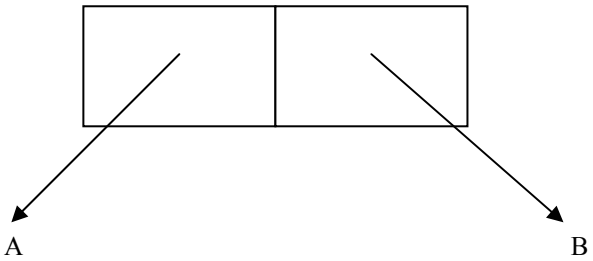
lista viszont a következőképpen néz ki:



A nem valódi

```
> (cons 'a 'b)
(A . B)
```

pontozott pár szerkezete viszont:



A lista feje és a nem valódi lista vége vagy atom, vagy lista. A valódi lista farka mindig lista. A listákra vonatkozó további függvények az alábbiak:

A `list` egy nem fix paraméterszámú függvény, amely paramétereinek értékéből listát képez.

Példák:

```
> (list)
NIL
> (list 1 2 3)
(1 2 3)
> (list '(ab) '(cd))
((AB)(CD))
> (list 'a (list 'b 'c))
(A (B C))
```

Az `append` nem fix paraméterszámú függvény, amely listát alkotó paramétereiből egyetlen listát képez (összefűzés). Az utolsó paraméter lehet nem lista is.

Példák:

```
> (append '(a b) '(c d))
(A B C D)
> (append '(a b) c)
(A B . C)
```

A listák kezelésére szolgálnak a következő predikátumok:

`symbolp`	igaz, ha paramétere szimbólum
`consp`	igaz, ha paramétere valódi lista
`atom`	igaz, ha paramétere nem valódi lista
`listp`	igaz, ha paramétere lista
`null`	igaz, ha paramétere az üres lista

Itt jegyezzük meg, hogy az üres lista nem valódi lista, és a `symbolp` szimbólumnak (`NIL`), az `atom` atomnak tekinti.

Eszközök összehasonlítására szolgál az `eq` és `equalp` függvény. Az `eq` függvény akkor ad igaz értéket, ha pontosan azonos két eszköz (vagyis pontosan azonos memóriaterületen vannak!). Az `equalp` viszont akkor igaz, ha paraméterei mint számok, szimbólumok vagy listák azonosak (függetlenül a memóriabeli elhelyezkedésüktől).

Példák:

```
> (eq 'a 'a)   ; azonos szimbólumok címe azonos
T
> (eq '(a) '(a))    ; két lista címe különbözik
NIL
> (equalp '(a) '(a))  ; lista és lista
T
> (equalp (+ 2 2) 4)  ; 4 és 4
T
> (equalp '(+ 2 2) 4)  ; lista és szám
NIL
```

Definiáljunk néhány saját függvényt, amelyek listákat kezelnek.

1. Adjuk meg a `reverse` definícióját.

```
(defun reverse (lista)
     (cond (null lista) NIL)
           (T (append (reverse (cdr lista))
               (list (car lista))))))
```

2. Írjunk egy függvényt, amely egy lista legkülső szintjéről eltávolítja a `0`-kat.

```
(defun nulla_eltavolitas (lista)
          (remove 0 lista))
```

3. Adjuk meg azt a függvényt, amely egy lista elejéhez hozzáfűzi az első paraméterének értékét, ha az szám.

```
(defun szammal_bovit (n lista)
     (cond ((numberp n) (cons n lista))
           (T lista)))
```

4. Egy lista legkülső szintjén szüntessük meg a szimbólumok többszörös előfordulását.

```
(defun tobbsz_elt (lista)
     (cond ((endp lista) NIL)
           ((member (car lista) (cdr lista))
               (tobbsz_elt (cdr lista)))
           (T (cons (car lista)
               (tobbsz_elt (cdr lista))))))
```

5. Határozzuk meg, hogy egy atom hányszor fordul elő egy listában (bármelyik szinten).

```
(defun gyakorisag (at lista)
     (cond ((endp lista) 0)
           ((eq at lista) 1)
           ((atom lista) 0)
           (T (+ (gyakorisag at (car lista))
                 (gyakorisag at (cdr lista))))))
```

6. Rendszerezzünk egy számokból álló listát nagyság szerint növekvőleg.

```
(defun rendez (szamok)
     (cond ((null szamok) NIL)
           ((null (cdr szamok)) szamok)
           (T beszur (car szamok)
                     (rendez (cdr szamok)))))


(defun beszur (ertek sorozat)
     (cond ((null sorozat) (list ertek))
           ((< ertek (car sorozat))(cons ertek sorozat))
           (T (cons (car sorozat)
                    (beszur ertek (cdr sorozat))))))
```

7.5. Lokális és globális eszközök

A CLOS-ban a nevesített konstansok, a függvények és a `defvar` makróval létrehozott változók nevei *globálisak*, mindenhonnan láthatók. A saját függvények formális paraméterei viszont *lokálisak*, csak az adott függvényben hivatkozhatók. Ha egy lokális név megegyezik egy globálissal, akkor az adott függvény vonatkozásában elfedi azt.

Globális nevet egy függvényben is definiálhatunk és egy globális változó értékét megváltoztathatjuk. Ez viszont **mellékhatás**, a LISP szerint kerülendő. A CLOS ilyen esetben a `defparameter` makró használatát javasolja, amely segítségével egy függvényben megváltoztatható globális változót tudunk definiálni. A CLOS konvenció szerint az ilyen változók neve előtt és után `*`, a nevesített konstansoknál pedig `+` szerepel.

Egy függvénydefiníció részeként definiálhatunk lokális változókat a `let` makróval, ennek alakja:

`(LET (`[`(`*változónév*`)` [*érték*]`)`]`...)`
törzs`)`

A *törzs* S-kifejezések sorozata, az így definiált változók csak itt hivatkozhatók. Ha nem adunk nekik kezdőértéket, akkor az automatikusan `NIL` lesz.

Példa: Egy csak számokat tartalmazó, tetszőleges (akárhányszorosan egymásba ágyazott) lista elemeinek átlagát határozzuk meg.

```
(defun atlag (lista)
     (let ((a (atl lista 0 0)))
          (/ (car a) (cdr a))))
(defun atl (l db ossz)
     (cond ((endp l) '(0 . 0))
           ((atom l) (cons (+ ossz l)
                           (+ db 1)))
           (T (val (atl (car l) db ossz)
                   (atl (cdr l) db ossz)))))
(defun val (x y)
     (cons (+ (car x) (car y))
           (+ (cdr x) (cdr y))))
```

A LISP lehetőséget ad arra, hogy meg nem nevezett függvényeket tudjunk használni. Erre szolgál a `lambda` makró, amelynek paraméterei: egy függvény formális paraméter listája és törzse. Ezzel tulajdonképpen egy lokális, a definíciójánál azonnal meghívásra is kerülő, a globális függvények közé fel nem veendő függvény használatára nyílik lehetőség.

Példa:

```
> ((lambda (n)(+ n 2)) 5)
7
```

Az `flet` makró lehetővé teszi saját függvényen belül *lokális nem rekurzív*, a `labels` pedig *lokális rekurzív* függvény definiálását.

Példák:

1. A `length` függvény definíciója lehet az alábbi:

```
(defun length (lista)
     (labels ((hossz (lista n)
                (cond ((null lista) n)
                      (T (hossz (cdr lista)
                          (1+ n))))))
     (hossz lista 0)))
```

2. A `reverse` függvény megadása lokális függvénnyel.

```
(defun reverse (lista)
     (labels ((fordit (lista uj)
                   (cond ((null lista) uj)
                         (T (fordit (cdr lista)
                        (cons (car lista) uj))))))
     (fordit lista NIL)))
```

7.6. Karakterek és sztringek

A karakterek és sztringek (akárcsak a számok) a LISP öndefiniáló eszközei.

A látható karakterek alakja:

`#\`*karakter*

Például: `#\a`, `#\L`.

A nem látható és vezérlő karakterekre pedig a #\ után írt névvel lehet hivatkozni.

Például: `#\tab` (tabulátor), `#\newline` (újsor).

A sztring karakterek egydimenziós tömbjeként értelmezendő. A sztring alakja:

`"` [*karakter*]…`"`

A karakterek és sztringek ugyanúgy lehetnek elemei egy listának, mint az atomok és a listák.

Példák: `""` (üres sztring), `"almafa"`.

```
> "sztring"
"sztring"
> #\a
a
```

A karakterek és sztringek kezelését predikátumok és egyéb függvények segítik. Ízelítőül néhány ezek közül:

`stringp`	igaz, ha paramétere sztring
`characterp`	igaz, ha paramétere karakter
`alphanumericp`	igaz, ha paramétere alfanumerikus karakter
`upper-case-p`	igaz, ha paramétere nagybetű
`char-code`	visszaadja a karakter ASCII kódját
`length`	megadja egy sztring hosszát
`concatenate`	összefűzi a sztringeket
`code-char`	visszaadja az adott kódú karaktert

7.7. I/O

A LISP kezeli az implicit állományokat. I/O-ja az adatfolyam elven alapszik.

Alaphelyzetben a LISP mindig képernyőre írja a legutoljára kiértékelt S-kifejezés értékét.

Az alapértelmezett adatfolyam nevek:

`*standard-input*`	alapértelmezett bemenet (billentyűzet)
`*standard-output*`	alapértelmezett kimenet (képernyő)
`*terminal-io*`	a felhasználói terminál
`*query-io*`	a felhasználói interakciók javallott adatfolyama
`*debug-io*`	az interaktív belövés adatfolyama
`*trace-output*`	a `trace` makró kimenete
`*error-output*`	hibaüzenetek

Az adatfolyamok használata természetesen makrók segítségével történik. Az írásnál a formátumos technika alkalmazható.

7.8. A kiértékelés vezérlése

A LISP alaphelyzetben azt mondja, hogy egy függvény visszatérési értéke a törzset alkotó S-kifejezések közül a legutolsó értéke lesz. Most megismerünk néhány olyan eszközt, amely a szekvenciális kiértékelés megváltoztatását célozza.

A `prog1` makró visszatérési értéke az első paraméterének értéke, a `prog2` makróé pedig a második paraméterének értéke. A `progn` speciális forma az alapértelmezett viselkedést mutatja.

Példa:

```
>(prog1 (setf n 3) (setf n (1+ n)))
3
> n
4
```

A LISP tartalmaz *iteratív* eszközöket, ezek határozottan imperatív jellegűek.

A `do` makró egy kezdőfeltételes ciklust realizál, alakja a következő:

```
(DO  ([(változó [kezdőérték [új_érték]])]…)
      (feltétel [ S-kifejezés ]...)
      [S-kifejezés]...)
```

A `do` makró paraméterei három csoportba sorolhatók. Az első paramétere egy maximum háromelemű listákból álló lista. Ez egy inicializációs rész. A *változó* a makró lokális változója, kezdőértéke *kezdőérték*, vagy ennek hiányában `NIL`. Ezek a változók a ciklusváltozók. A harmadik paramétercsoportban szereplő S-kifejezések alkotják a ciklus magját.

A második paraméter egy legalább egy elemű lista. A *feltétel* nem `NIL` volta mellett fut le a mag (kezdőfeltétel). A `do` makró visszatérési értékét a második paraméter határozza meg. Ha a listában csak a *feltétel* szerepel, akkor a visszatérési érték `NIL`.

Ha az első paraméternél a listák háromeleműek, akkor minden ciklusléptés után a ciklusváltozók értéke felülíródik az *új_érték* értékével.

Példák:

1. A faktoriálist kiszámoló függvény:

```
(defun fakt(n)
     (do  ((eredmeny 1 (* szamlalo eredmeny))
           (szamlalo n (1- szamlalo)))
          ((zerop szamlalo) eredmeny)))
```

2. Határozzuk meg egy számokat tartalmazó nem üres lista elemeinek átlagát.

```
(defun atlag(l)
     (do* ((v l (cdr v))
           (szamlalo 1 (1+ szamlalo))
           (osszeg (car v) (+ (car v) osszeg)))
          ((null (cdr v)) (/ osszeg szamlalo))))
```

3. Adjuk meg egy valódi lista hosszát meghatározó függvény rekurzív és iteratív változatát.

   a.
```
(defun r_length (l)
       (cond ((null l) 0)
             (T (1+ (r_length (cdr l))))))
```

   b.
```
(defun i_length (l)
       (do ((ll l (cdr ll))
            (eredmeny 0 (1+ eredmeny)))
            ((null ll) eredmeny)))
```

A végtelen ciklust valósítja meg a `loop` makró, melynek paraméterei között szerepelnie kell a `return` makró meghívásának. A `return` egyetlen paraméterének értékével tér vissza,

vagy paraméter nélkül a NIL-t adja. Ha nem adtuk meg a return függvényt, akkor a paraméterek (mint ciklusmag) újra és újra kiértékelődnek.

Példa:

Írjuk át az átlagszámító függvényt loop segítségével :

```
(defun loop_atlag(l)
     (let ((szamlalo 0)
           (osszeg 0))
     (loop (cond ((null l) (return (/ osszeg szamlalo)))
                 (T (setf osszeg (+ osszeg (car l)))
                    (setf l (cdr l))
                    (incf szamlalo)))))
```

A CLOS ismeri a *blokk* fogalmát is, ezt a block speciális forma segítségével kezelhetjük, ennek alakja:

(BLOCK *név* [*S-kifejezés*]...)

Egyrészt tekinthető egy egyszerű, megnevezett kifejezéssorozatnak, amikor visszatérési értéke az utolsó S-kifejezés értéke. Másrészt a paraméterei között szerepelhet egy (return-from *név érték*) speciélis forma, ami megadja a visszatérési értéket.

A prog makró alakja:

(PROG ([{*változó* | (*változó* [*kezdőérték*]) }]…)
[{*címke* | *S-kifejezés*}]…)

A prog makró imperatív jellegű. A *változó* a makró lokális változója, explicit kezdőérték adható neki, automatikus kezdőértéke NIL. A *címke* egy szimbolikus atom, az S-kifejezések között szerepelhet egy (go *címke*) alakú speciális forma, ami egy GOTO-utasításnak felel meg. Használhatjuk a return makrót is.

Példa:

```
(defun fakt(n)
     (prog ((k n) (l 1))
     kovetkezo
          (cond ((zerop k) (return l)))
          (setf l (* k l))
          (setf k (1- k))
          (go kovetkezo))
```

7.9. Makrók

A LISP nyelv kiterjeszthető. A programozó újradefiniálhatja a nyelv eszközeit, és új eszközöket adhat hozzá a nyelvhez.

Bármelyik függvény nevét tetszőlegesen megváltoztathatjuk a számunkra használhatóbb, ismertebb elnevezést vezetve be.

Példák:

```
(defun fej (x) (car x))
(defun farok (x) (cdr x))
```

A saját függvények definiálása az eddigi eszközrendszert új, a többiektől megkülönbözhetetlen eszközökkel bővíti.

Ennek következménye az, hogy bármely LISP verzió testreszabható, illetve bármely más verzióba átírható.

Az igazi nyelvkiterjesztő eszközök azonban a saját makrók.

Saját makrót a `defmacro` makró segítségével hozhatunk létre. Használatának formája egyébként teljesen azonos a `defun` használatával.

Egy függvény és egy makró között az alapvető különbség a paraméterek kiértékelésében van.

A függvénynél először kiértékelődik az összes paraméter, majd kiértékelődik a törzs. A makrónál először kiértékelődik a törzs, majd kiértékelődik az eredményül kapott új törzs.

Egy makródefinícióban szinte elkerülhetetlen a ` használata. Segítségével egy lista *részleges kiértékelését* tudjuk megvalósítani, ugyanis csak a lista azon eleme kerül kiértékelésre, amely előtt vessző szerepel, a többi nem. A vessző használata nélkül hatása azonos a `quote` hatásával.

Példák:

```
> `atom
ATOM
> '(a b c)
(A B C)
> `(a b c)
(A B C)
> `(setf x (* 3 7))
(SETF X (* 3 7))
> `(setf x ,(* 3 7))
(SETF X 21)
> `(setf x ,(car `(, (+ 3 4) (- 7 3) (* 5 7))))
(SETF X 7)
```

Ugyancsak a ` esetén alkalmazható a `,@`, amely egy lista külső zárójeleit elhagyva, a lista elemeinek sorozatát adja vissza.

Példa:

```
> `(setf x (* ,@(cdr `((+ 3 4) (- 7 3) (* 5 7)))))
(SETF X (* (- 7 3) (* 5 7)))
```

Nagyon sok probléma csak makrók segítségével oldható meg. A CLOS sok beépített makrót tartalmaz (jó néhányat már láttunk közülük).

Vizsgáljuk meg a függvény és a makró alkalmazása közötti különbséget.

Definiáljuk a veremből való olvasást, mint függvényt. A vermet most képzeljük el úgy, mint egy olyan listát, ahol a verem tetején az 1. elem van.

```
(defun pop (verem)
     (prog1 (car verem)
          (setf verem (cdr verem))))
```

Hívjuk meg.

```
> (setf x '(1 2 3 4))
(1 2 3 4)
> (pop x)
1
> x
(1 2 3 4)
```

Valami probléma van. Igen, mert a függvény csak a lokális `verem` értékét módosította, amelynek kezdőértéke a meghívásnál `x` értéke volt, de a globális `x` nem változott meg.

Nézzük most ugyanezt makróval.

```
(defmacro pop(verem)
     `(prog1 (car ,verem)
          (setf ,verem (cdr ,verem))))
```

A makró paramétere nem értékelődik ki, a paraméterátadás név szerinti. Meghívásánál a globális változó csak a törzsben értékelődik ki, egyszer.

A függvény a LISP-ben adatobjektum, átadható paraméterként, a makró azonban nem.

Amikor a LISP kiértékel egy olyan listát, amelynek feje egy szimbólum, akkor a következőképpen jár el:

1. Ha a szimbólum egy speciális forma, akkor a hozzátartozó kód alapján történik a lista kiértékelése.
2. Különben, ha a szimbólum egy makró neve, akkor végrehajtja a makrót, és kiértékeli az eredményt.
3. Különben a szimbólumot függvénynévnek tekinti.

A CLOS speciális formái a következők:

```
block                 catch                 declare          eval-when
flet                  function              go               if
labels                let                   let*             macrolet
multiple-value-call   multiple-value-prog1  progn            progv
quote                 return-from           setq             tagbody
the                   throw                 unwind-protect
```

Itt jegyezzük meg, hogy a speciális formák egy része (pl. `let`, `labels`) makróként van megvalósítva.

Példák:

1. Írjunk makrót, amely megcseréli két paraméterének értékét.

```
(defmacro csere (x y)
     `(let ((z ,x))
          (setf ,x ,y)
          (setf ,y z)))
```

2. Írjuk meg azt a makrót, amely megadott számszor kiértékel egy S-kifejezés sorozatot.

```
(defmacro ismetel (n &rest mag)
     `(do ((i ,n (- i 1)))
          ((<= i 0) nil)
          ,@mag))
```

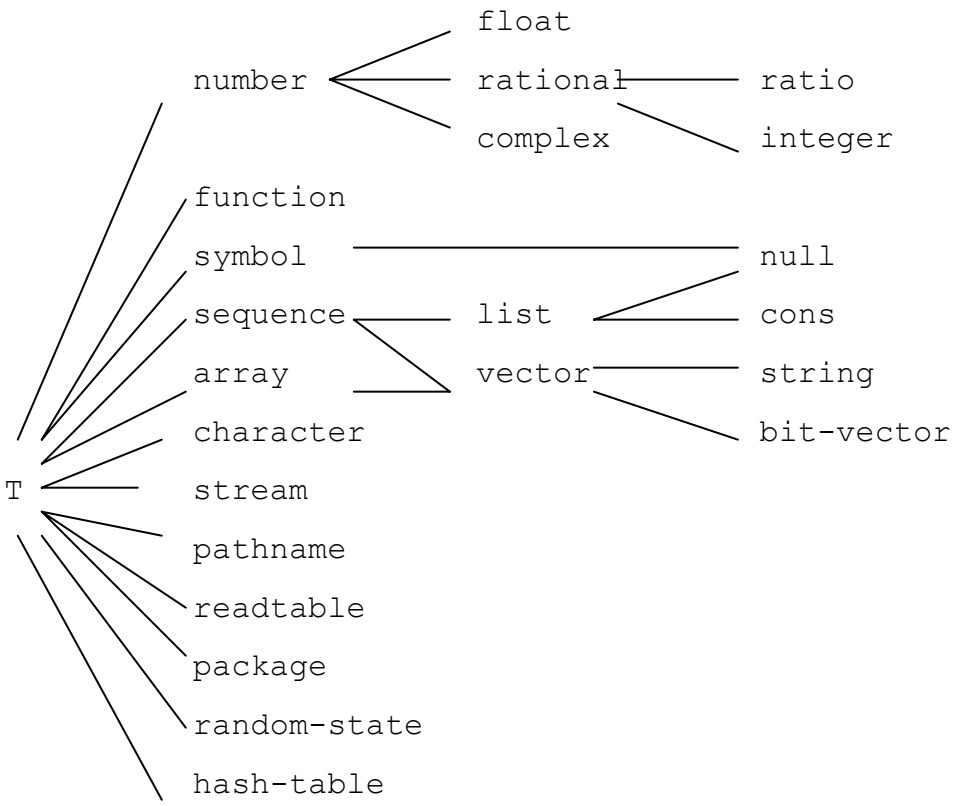
7.10. Objektumorientált eszközök

A legtöbb LISP változat a funkcionális paradigma mentén épül föl, azonban a CLOS egy hibrid nyelv, amely tartalmaz objektumorientált eszközrendszert.

A CLOS-ban nincs bezárási eszközrendszer. Az öröklődés többszörös.

A korábbi LISP verziók nem típusosak, és az eddigi tárgyalásunkban ez tükröződött. Azonban a CLOS a beépített osztályhierarchia elemeit típusoknak tekinti, és a programozó által definiált osztályok is egy-egy típust képviselnek.

A beépített osztályok (típusok) hierarchiája a következő:



Saját osztály létrehozására a `defclass` makró szolgál, használatának alakja:

(DEFCLASS *név szuperosztály_nevek*
attribútum_specifikációk
osztály_opciók)

A *név* egy szimbólum, az osztály (típus) neve. A *szuperosztály_nevek* egy létező osztálynevekből álló (esetleg üres) lista.

Az *attribútum_specifikációk* alakja:

([*név* [*kulcsszó* [*érték*]]…]…)

A *név* az attribútum neve, a *kulcsszó* az alábbiak valamelyike:

`:reader`	az attribútum lekérdező módszerének a neve
`:writer`	az attribútum beállító módszerének a neve
`:accessor`	egy olyan módszer neve, amellyel az attribútumot egyaránt le lehet kérdezni és be lehet állítani
`:allocation`	értéke `:instance` (ez az alapértelmezett) vagy `:class` lehet. `:instance` esetén az adott attribútum értéke példányonként különbözhet, `:class` esetén viszont azonos (vagyis akkor ez egy osztály szintű attribútum)
`:initarg`	értéke egy szimbólum, amelynek segítségével az attribútum kezdőértéke a példányosításkor beállításra kerül

`:initform`	az attribútum alapértelmezett értéke, az `:initarg` felülírja, ha meg van adva
`:type`	az attribútum típusa
`:documentation`	értéke egy sztring, ez egy dokumentációs megjegyzés

Látjuk tehát, hogy a CLOS-ban az attribútumokhoz kapcsolódóan megadhatók a beállító és lekérdező módszerek nevei, ezek automatikusan létrejönnek. Az osztályhoz kapcsolódó további függvényeket, makrókat az osztálydefiníciótól függetlenül kell létrehozni.

Az *osztály_opciók* a következők lehetnek:

:`default-initargs` *értéklista*	Az attribútumok kezdőértékét állítja be, az egyes attribútumoknál megadott `:initarg` felülírja ezt.
`:metaclass` *osztálynév*	A CLOS-ban az osztályok alapértelmezés szerint a `standard-class` metaosztály példányai. Ezzel az opcióval egy ettől különböző metaosztályt adhatunk meg, ennek a `standard-class` alosztályának kell lennie.
`:documentation` *sztring*	Dokumentációs megjegyzés.

Egy osztály példányosítása a `make-instance` generikus függvény segítségével történik, ennek alakja:

(`MAKE-INSTANCE` *osztálynév* [*kezdőérték*]...)

A CLOS lehetővé teszi *generikus függvények* használatát. Ezeknél külön definiálhatjuk a különböző típusú argumentumok esetén a működést. Ezeket a különböző definíciókat a CLOS *metódusoknak* nevezi (nem tévesztendő össze az OO metódussal!). Egy generikus függvényt a `defgeneric` makró segítségével tudunk létrehozni. Alakja:

(`DEFGENERIC` *név formális_paraméter_lista*
(`:METHOD` *specializált_formális_paraméter_lista törzs*)
[(`:METHOD` *specializált_formális_paraméter_lista törzs*)]…)

A *specializált_formális_paraméter_lista*

(*formális_paraméter* [*típus*])

alakú listákból álló lista. A *törzs* az adott típusú formális paraméterekre történő működést írja le. Ha nem szerepel a *típus*, akkor a működés tetszőleges típusra vonatkozik.

Egy generikus függvényt (függetlenül az esetleg nem is ismert definíciótól) mindig kiegészíthetünk új metódussal a `defmethod` makró segítségével. Ennek alakja:

(`DEFMETHOD` *generikus_név specializált_formális_paraméter_lista törzs*)

A generikus függvények használata igen lényeges az osztályok esetén, a viselkedésmódot alapvetően ezek segítségével adhatjuk meg.

Példák:

```
(defclass szemely( )
     ((nev :initarg :nev :reader szemely-neve)
      (eletkor :initform 0 :accessor szemely-kora))
      (:documentation ”Saját osztály”))
```

A `szemely` osztálynak nincs szuperosztálya. Két attribútuma van, ezek közül a `nev`-hez csak lekérdező, a `kor`-hoz lekérdező és beállító módszer is van definiálva.

```
(defun szemely-kons (nev)
     (make-instance ’szemely :nev nev))
```

Ez a függvény az osztály konstruktorának tekinthető. A `kor` alapértelmezett értéke `0`.

```
> (defvar x (szemely-kons ’KISS))
#<SZEMELY @#x11bca2e> ;implementációfüggő
> (szemely-kora x)
0
> (szemely-neve x)
KISS
> (setf (szemely-kora x) 22)
> 22
```

Adjunk meg egy predikátumot, amely eldönti, hogy paramétere a `szemely` osztály példánya-e.

```
(defgeneric szemelyp (obj)
     (:method ((obj szemely)) T)
     (:method (obj) NIL))
> (szemelyp x)
T
> (szemelyp ’x)
NIL
```

A CLOS tartalmaz egy `print-object` nevű generikus függvényt, amely az objektumok megjelenítését szolgálja. Ezt bármikor kiegészíthetjük saját objektumaink megjelenítésének metódusaival.

```
(defmethod print-object ((obj szemely) stream)
     (format stream ”#<SZEMELY:~A (Kora: ~A)>”
          (szemely-neve obj) (szemely-kora obj)))
> x
#<SZEMELY: KISS (Kora: 22)>
```

Hozzuk most létre a `szemely` egy alosztályát:

```
(defclass programozo (szemely)
     ((nyelvek :initform NIL :initarg :nyelvek
             :accessor nyelv))
```

```
     (:documentation "Ez egy alosztály"))

(defun programozo-konstr (nev nyelvek)
     (make-instance 'programozo :nev nev
          :nyelvek nyelvek))
```

A CLOS-ban az objektumok futás közben, **dinamikusan** meg tudják változtatni a struktúrájukat és a viselkedésmódjukat!

Tekintsük a korábbi `szemely` osztály definícióját és definiáljuk azt át a következőképpen:

```
(defclass szemely( )
     ((nev :initarg :nev :reader szemely-neve)
     (eletkor :initform 0 :accessor szemely-kora)
          (munkakor :initform 'Programozo'
           :accessor munkakor :allocation :class)))
```

Ekkor

```
> x
#< SZEMELY: KISS (Kora: 22)>
> (munkakor x)
PROGRAMOZO
> (defvar y (szemely_kons 'NAGY))
#<SZEMELY: NAGY (Kora: 0)>
> (munkakor y)
PROGRAMOZO
> (setf (munkakor x) 'Kereskedo)
KERESKEDO
> (munkakor y)
KERESKEDO
```

A CLOS *automatikusan* konvertálja a régi osztály példányait az új osztály példányaivá, átalakítva a struktúrájukat és az új viselkedésmóddal látva el őket. `KISS`-nél megjelenik a `munkakor` attribútum, amely lekérdezhető és beállítható. Ez az attribútum egy megosztott attribútum, amelyet az egyes példányok közösen birtokolnak.

A CLOS-ban az osztályok a metaosztályok példányai. Három beépített metaosztály van:

- `built-in-class`: a beépített osztályok metaosztálya
- `standard-class`: a `defclass` makróval definiált saját osztályok alapértelmezett metaosztálya
- `structure-class`: a `defstruct` makróval definiált *rekordok* metaosztálya (nem foglalkozunk vele)

Egy osztály metaosztályát, vagy egy objektum definiáló osztályát a `class-of` segítségével kérdezhetjük le.

A CLOS-ban kitüntetett szerepű a `standard-object` osztály, amely a `standard-class` metaosztály példánya és az összes `standard-class` példány ősosztálya.

A CLOS-ban a generikus függvények és a metódusok is objektumok (metaobjektumok), osztályaik a `standard-generic-function és a standard-method`.

A CLOS-ban lehetőség van a metaosztályok kiterjesztésére a *metaobject protocol* (MOP) segítségével. Ez a témakör meghaladja jelen jegyzet kereteit, részletesen lásd *G. Kiczales – J. des Rivières – D. G. Bobrow: The Art of The Metaobject Protocol, MIT Press, 1991*.

7.11. Általánosított függvények

A függvények a nyelvnek ugyanolyan eszközei, mint a szimbólumok vagy a listák. A `function` függvénynek egyetlen argumentuma egy függvény neve, és visszatérési értéke maga a függvény. A függvény nevét viszont S-kifejezés értékeként állíthatjuk elő. A `funcall` függvénnyel pedig explicit módon meg tudunk hívni egy függvényt. A `function` függvény rövidíthető a `#'` szimbólumpárral (a `quote` mintájára).

Példa:

```
> (funcall #'+ 1 2 3)
6
```

A LISP listák kezelésének egy igen hatékony eszköze, a procedurális absztrakciót nagyban támogató `mapcar` függvény. Első paramétere egy függvény, a továbbiak pedig listák. A visszatérési értéke pedig olyan lista, amely úgy keletkezik, hogy a függvény meghívódik minden paraméterként megadott lista első, második, stb. elemeire. Az eredmény lista hossza a legrövidebb lista hossza lesz.

A `mapcar` függvény tehát egy olyan függvény, amelynek paramétere függvény. Ezeket hívja a LISP *általánosított függvényeknek* vagy *funkcionáloknak*.

Példa:

```
> (mapcar #'+ '(1 2 3) '(4 5))
(5 7)
```

Az `apply` függvény a LISP egy általánosított függvénye, alakja:

`(APPLY` [*függvény lista*]…`)`

A *függvény* rendre meghívódik a további paraméterekként megadott listák mindegyikére.

Példa: Adjuk meg az `append` rekurzív definícióját.

```
(defun append2 (lista1 lista2)
     (cond ((endp lista1) lista2)
           (T (cons (car lista1) (append2
                   (cdr lista1) lista2)))))
```

```
(defun append (&rest listak)
     (cond ((endp listak) '())
           ((endp (cdr listak) (car listak))
           ((endp (cddr listak) (append2
                    (car listak) (cadr listak)))
           (T (append (car listak) (apply
                    #'append (cdr listak))))))
```

Az `apply` a procedurális absztrakció magas szintjét biztosítja. Például segítségével megírhatunk egy általános leválogató függvény, amely egy lista elemei közül azokat írja át egy másik listába, amelyek egy predikátumot igazzá tesznek. A függvény:

```
(defun levalogat (lista predikatum)
     (cond ((null lista) NIL)
          ((apply predikatum (lista (car lista)))
     (cons (car lista) (levalogat
               (cdr lista) predikatum)))
     (T (levalogat (cdr lista) predikatum))))
```

Ennek segítségével egy csak számokat tartalmazó listából a negatívokat a következő függvénnyel tudjuk leválogatni:

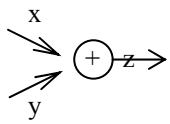
```
(defun negativ (lista) (levalogat lista 'minusp))
```

8. ADATVEZÉRELT PARADIGMA, ADATFOLYAM NYELVEK

Az adatvezérelt paradigma középpontjában az abszolút párhuzamosság áll. Tagadja a Neumann architektúrát, azt mondja, hogy az alapvető probléma a szekvenciális működésű processzor. A paradigma szerint minden algoritmust párhuzamos algoritmusként kell tekinteni, és az algoritmust realizáló programnak működés közben minden párhuzamosan végrehajtható tevékenységet egyszerre kell végrehajtania. Tehát totális párhuzamosságra kell törekedni.

A szekvenciális algoritmus leírásának egyik eszköze a folyamatábra. Az adatvezérelt paradigmában a párhuzamos algoritmust szintén egy irányított gráffal írjuk le. Azonban ez a gráf *aktív*, benne az élek mentén a nyilak irányában adatcsomagok, ún. *tokenek* mozognak. A gráf csomópontjai jelentik a tokenekkel végrehajtandó műveleteket. Az adatcsomagok tetszőleges adatszerkezetet reprezentálhatnak, és a műveletek tetszőleges bonyolultságúak lehetnek. A csomópontok figyelik a bevezető éleket, és ha azok mindegyikén megérkezett egy-egy token, akkor azonnal működésbe lépnek, elvégzik a hozzájuk rendelt műveletet, az eredményt (mint tokent) a kimenő élre rakják, és az továbbhalad a gráfban.

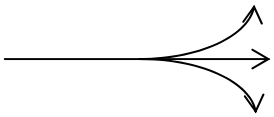
Az alábbi gráfrészlet



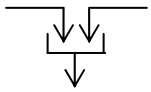
megfelel a `z=x+y` értékadó utasításnak.

A gráf összeállításának megvannak a szintaktikai szabályai:

- Egyetlen csomópontot kivételével minden csomópontból egyetlen él indul, de egy él akárhányfelé ágazhat, tehát a token a gráf bármely másik csomópontjához eljuthat. Ezt ábrázolja a „villa”:



- A gráf különböző pontjaiból érkezhetnek a tokenek ugyanahhoz a csomóponthoz, viszont élek nem végződhetnek élen. Szükséges egy gyűjtő szimbólum:

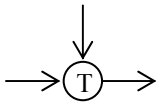


- A gráfban egyetlen olyan él lehet, amely nem csomópontból indul, ezen jut be a gráfba az input token, amely a bemenő adatokat tartalmazza.
- A gráfban akárhány olyan él lehet, amely nem csomóponthoz és gyűjtő szimbólumhoz vezet, hanem kivezet a gráfból. Ezek valamelyikén jelenik meg az output token, az algoritmus eredménye.

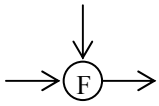
A paradigma algoritmikus, tehát kellenek speciális, vezérlést leíró csomópontok:

- Vizsgálat: tartalma egy feltétel, egy logikai értékű tokent állít elő, attól függően, hogy az érkező tokenre teljesül-e a feltétel vagy sem.

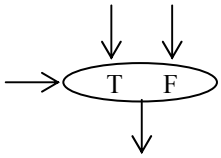
- Igaz kapu: két bemenő- és egy kimenő éle van. A bemenő élek egyike egy logikai értékű token, a másik értéke tetszőleges. Ha a logikai token értéke igaz, akkor a másik tokent átengedi, egyébként nem, a kapu lezár.



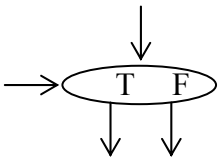
- Hamis kapu: hasonló az igaz kapuhoz, annyi különbséggel, hogy hamis esetben engedi át a másik input tokent.



- Kiválasztó: az igaz és hamis kapu kombinációja. Lényeges a szerkezet is: 2+1 bemenő és egy kimenő éle van. Az oldalsó bemenő él a vezérlő él, értéke egy logikai token. A két másik bejövő token közül kiválasztja, hogy melyiket engedi át. Ha a vezérlő token értéke igaz, akkor a T-be mutató tokent teszi a kimenetre, míg ha hamis, akkor a másikat.



- Elosztó: két bemenő tokent és két kimenő tokent tartalmaz (ez az egyetlen több kimenő éllel rendelkező csomópont). A bemenő tokenek közül az egyik, a vezérlő token csak logikai értéket hordozhat. Ha a vezérlő token értéke igaz, akkor a másik token a T-ből induló élen jelenik meg, ellenkező esetben a másodikon



Az általános csomópont ellipszis alakú, benne a hozzá tartozó művelet valamilyen formális leírása található.
Ilyen elemekből építünk fel egy összefüggő irányított gráfot. Ezzel tudjuk leírni a párhuzamos algoritmusokat.
Az adatvezérelt paradigmán belül többféle adatvezérelt modell létezik, attól függően, hogy milyen megszorításokat teszünk a gráfra, a tokenek felépítésére és azok gráfon belüli mozgására. Az egyes modellek más-más architektúrák és adatfolyam nyelvek tervezéséhez vezettek. A modellek a következők:

Alapmodell

A gráf aciklikus, csak horizontális párhuzamosságot enged meg, vertikálisat nem. Az egy input tokennel indított tokensorozat hullámfrontszerűen terjed végig a gráfon. Később indított tokensorozat nem előzhet meg korábban indított tokensorozatot. A hullámfront mereven összeköti a tokeneket, nem hajolhat el. Csak adatvezérlésen alapuló műveletek értelmezhetők, ciklus, rekurzió és egyéb programozási fogalmak nem. A modell determinisztikus.

Denis-féle modell

A gráf ciklikus. A hullámfrontok megmaradnak, de megköveteljük, hogy a gráfban egy csomópont csak akkor működhessen, ha nincs az output élen token, vagyis két hullámfront között mindig legyen csomópont. Itt is igaz, hogy később indult hullámfront nem előzhet meg

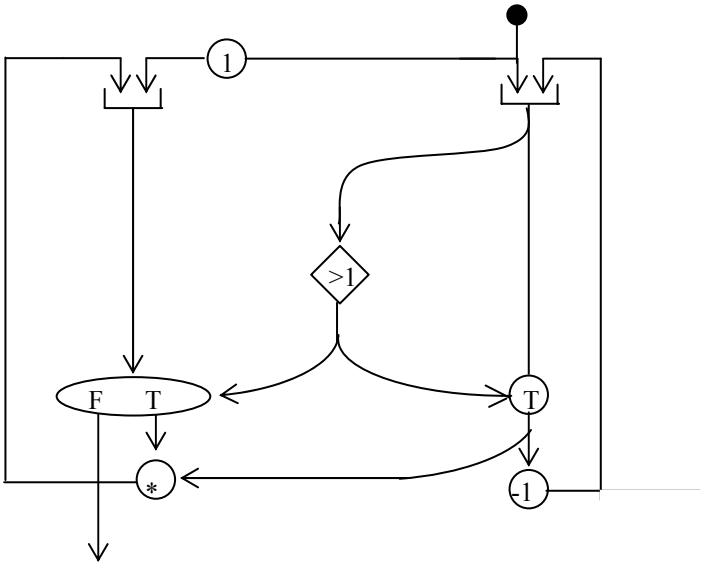
korábbi hullámfrontot. A gráf ciklusaiban egyszerre csak egy token tartózkodhat. A hullámfrontok tehát „elhajolhatnak”, ezáltal egy korlátozott vertikális párhuzamosság jöhet létre. Értelmezhetők az alapvető programnyelvi fogalmak. A modell determinisztikus.

Színezett modell

Jelenleg az egyik legfejlettebb adatvezérelt modell. Nem determinisztikus. Nincs hullámfront, viszont az ugyanazon input tokennel indított tokensorozatot azonos színűre festjük. Egy csomópont akkor működik, amikor az összes bemenő élen megjelennek az azonos színű tokenek (addig a más színűeket puffereli). Ekkor végrehajtja a műveletet, és adott színű tokent rak a kimenő élre. Értelmezhető minden programnyelvi fogalom. A párhuzamosság és adatvezéreltség totális, sőt, a problémaosztály minden feladata egyszerre oldható meg.

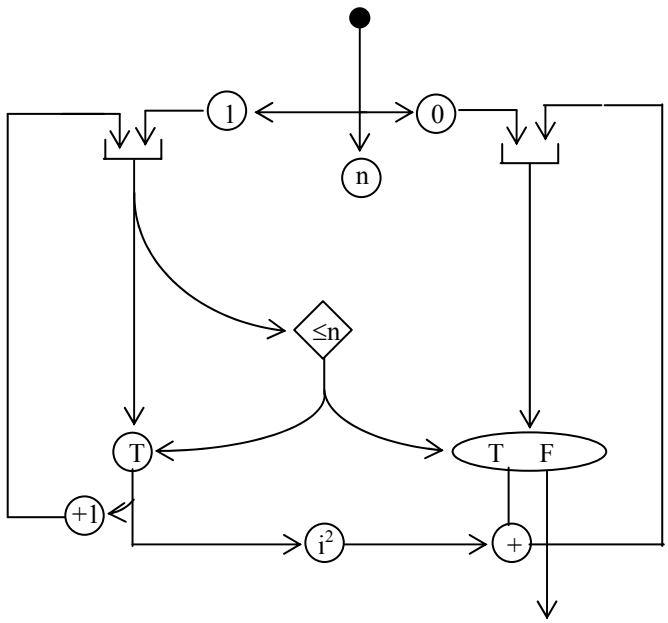
Lássunk most két színezett modellen alapuló gráfot!

Az n! színezett gráfja:



Az első n természetes szám négyzetösszege:

$$\sum_{i=1}^{n} i^2$$



Az adatfolyam nyelvek

Speciális algoritmikus nyelvek, amelyek valamelyik adatvezérelt modellhez lettek tervezve. Általános jellemzőik:

- Gyakran funkcionális tulajdonságaik vannak. Az általános műveletet leíró csomópontokat függvénnyel reprezentálják. Ezeknek a függvényeknek nincs mellékhatásuk. A paraméterátadás mindig érték szerinti. Általában nem használnak globális változókat, de ha mégis, akkor az egyszeres értékadás érvényes. A változó értékének módosítása nem megengedett. Csak lokális adattér van, az adatok azonnal felhasználásra kerülnek.
- Általában a rekurzió alapeszköz.
- Általában fordítóprogram-orientáltak, és a gépi kódjuk a megfelelő modell gráfja (grafikus gépi kód!). A hordozhatóság nem gond, hiszen minden azonos modellen felépülő nyelv ugyanazt a gépi kódot generálja. Ez a gráf matematikailag automatikusan könnyen kezelhető. A programhelyességbizonyítás automatikus, és nagyon egyszerű.
- A programfejlesztés nagyon egyszerű. Megírunk egy primitív programot, és azt transzformáljuk bizonyítottan helyes másik programmá automatizált módon.

Adatfolyam programnyelvekhez léteznek olyan fordítók, amelyek Neumann architektúrára fordítanak.

Néhány adatfolyam programozási nyelv: VAL, LUCID, ID, LAU, SISAL, HDFL.

A VAL a Denis féle modellt megvalósító nyelv, a faktoriális számítás programja az alábbi:

```
for Y:integer:=1; P:integer:=N
        do if P ≠ 1 then iter Y:=Y*P; P:=P-1
                          enditer
                    else Y
           endif
endfor
```

A LUCID a színezett modellen alapul, a faktoriális programja:

```
FIRST(i,j)=(n,1)
NEXT(i,j)=(i-1,j*i)
OUTPUT = j AS SOON AS i=1
```

Sajnos a paradigma mögé nem sikerült olyan architektúrát megalkotni, amely a gyakorlatban beváltotta volna a hozzáfűzött reményeket, ilyenek csak prototípus szinten léteznek.

IRODALOMJEGYZÉK

Bergin, T. J. – Gibson, R. G.: History of Programming Languages, Addison-Wesley, 1996.

Gábor András, Fazekas Imre: Java példatár, elektronikus jegyzet, 2004, mobidiak.inf.unideb.hu/mobi/main.mobi -> PORTÁL -> Oktatók -> Gábor András -> Dokumentumok.

Goldberg, A. – Robson, D.: Smalltalk-80: The Language and its Implementation, Addison-Wesley, Reading, 1983.

Horowitz, E.: Magasszintű programnyelvek, Műszaki, 1987.

IBM Smalltalk Programmer's Reference. Introduction to Object-Oriented Programming with IBM Smalltalk.

Juhász István: Programozás 1, elektronikus jegyzet, 2004, mobidiak.inf.unideb.hu/mobi/main.mobi -> PORTÁL -> Oktatók -> Juhász István -> Dokumentumok.

Marcotty, M. – Ledgard, H.: The World of Programming Languages, Springer-Verlag, 1987.

Meyer, B.: EIFFEL. The Language, Prentice Hall, New York, 1992.

Meyer, B.: Object-oriented Software Constructions, Prentice Hall, 1988.

Nyékiné Gaizler Judit(szerk.): Programozási nyelvek, Kiskapu, 2003.

Nyékiné Gaizler Judit(szerk.): Java 2 útikalauz programozóknak, ELTE TTK Hallgatói Alapítvány, Budapest, 2000.

Pratt, T. W.: Programming Languages. Design and Implementation, Prentice Hall, 1984.

Sebesta, R. W.: Concepts of Programming Languages, Addison-Wesley, 2002.

Sethi, R.: Programming Languages, Concepts and Constructs, Addison-Wesley, 1996.

Slade, S.: Object-Oriented Common LISP, Prentice Hall, 1998.

Steele, G. C.: Common Lisp. The Language, Digital Press, 1990.

Teufel, B.: Organization of Programming Languages, Springer-Verlag, 1991.

Vég Csaba – Juhász István: Java –Start!, Logos 2000, Debrecen, 1999.

www.cetus-links.org/oo_clos.html

www.clos.org

www.eiffel.com

www.haskell.org

java.sun.com

www.engin.umd.umich.edu/CIS/course.des/cis400/simula/simula.html

www.smalltalk.org

www.interactiva.org/Di/English/Dataflow/Computers/Programming/Languages

pauillac.inria.fr/~deransar/prolog/docs.html

www.sics.se/isl/sicstuswww/site/index.html