Modellalapú szoftverfejlesztés

V. előadás

Szemantikai elemzés

Dr. Simon Balázs

Fordító front-end

Programkód

```
int x=5;
print(x);
```

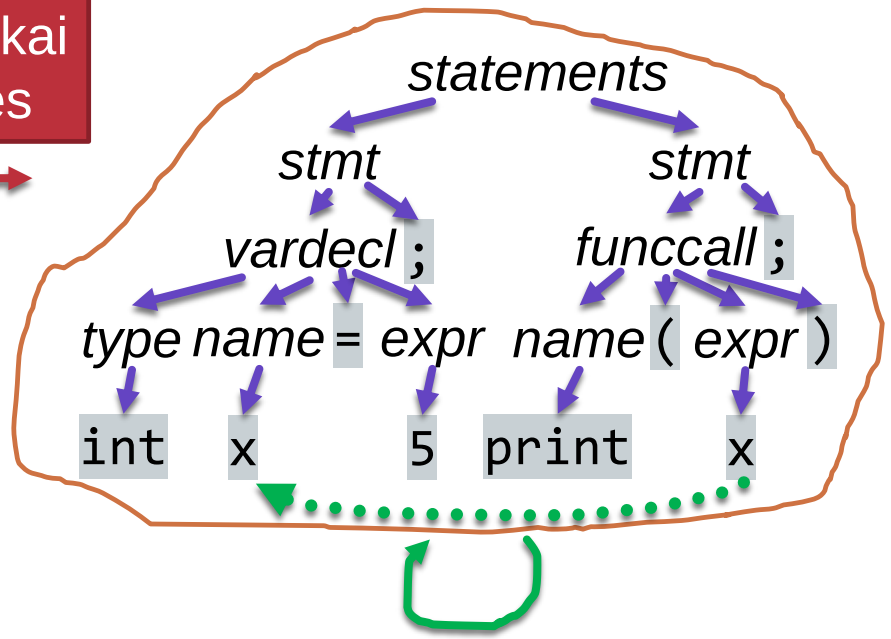
Lexikai elemzés

Token sorozat

```
int x = 5 ;
print ( x ) ;
```

Szintaktikai elemzés

Szintaxisfa



Szemantikai elemzés

Szemantikai elemzés feladata:
Névelemzés, típuselemzés, operátorazonosítás,
konzisztencia és egyéb nyelvi szabályok ellenőrzése

A mai előadás: Szemantikai elemzés

I. Szemantikai elemzés

II. Attribútumnyelvtanok

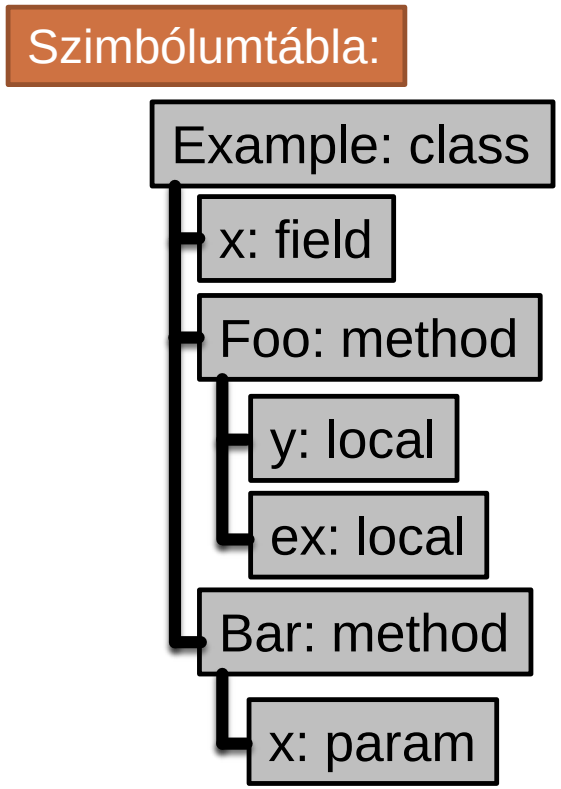
III. Névelemzés

IV. Típuselemzés és operátorazonosítás

V. Egyéb nyelvi szabályok

Szemantikai elemzés példa: szimbólumtábla felépítése

```
public abstract class Example
{
    private int x;

    public void Foo()
    {
        int y;
        if (!flag)
        {
            x = 3 + y;
            var ex = new Example();
        }
    }
    public int Bar(string x)
    {
        return "hello" + x;
    }
}
```



Szemantikai elemzés példa: névelemzés

```
public abstract class Example
{
    private int x;

    public void Foo()
    {
        int y;
        if (!flag)
        {
            x = 3 + y;
            var ex = new Example();
        }
    }
    public int Bar(string x)
    {
        return "hello" + x;
    }
}
```

flag nincs deklarálva

Szimbólumtábla:

- Example: class
  - x: field
  - Foo: method
    - y: local
    - ex: local
  - Bar: method
    - x: param

Szemantikai elemzés példa: típuselemzés

```
public abstract class Example
{
    private int x;

    public void Foo()
    {
        int y;
        if (!flag)
        {
            x = 3 + y;
            var ex = new Example();
        }
    }
    public int Bar(string x)
    {
        return "hello" + x;
    }
}
```

ex típusa Example

visszatérési érték típusa hibás

Szimbólumtábla:

- Example: class
  - x: field (int)
  - Foo: method
    - y: local (int)
    - ex: local (Example)
  - Bar: method
    - x: param (string)

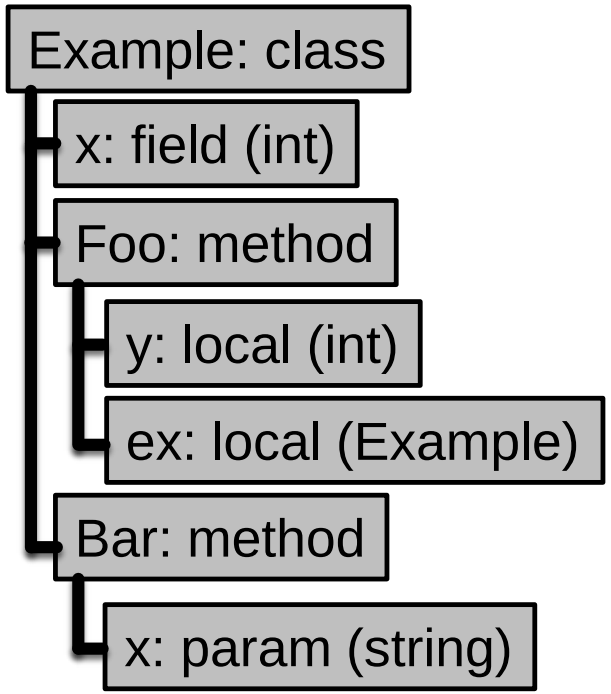
Szemantikai elemzés példa: operátorazonosítás

```
public abstract class Example
{
    private int x;

    public void Foo()
    {
        int y;
        if (!flag)
        {
            x = 3 + y;
            var ex = new Example();
        }
    }
    public int Bar(string x)
    {
        return "hello" + x;
    }
}
```

int operator+(int,int)

string operator+(string,string)

Szimbólumtábla:

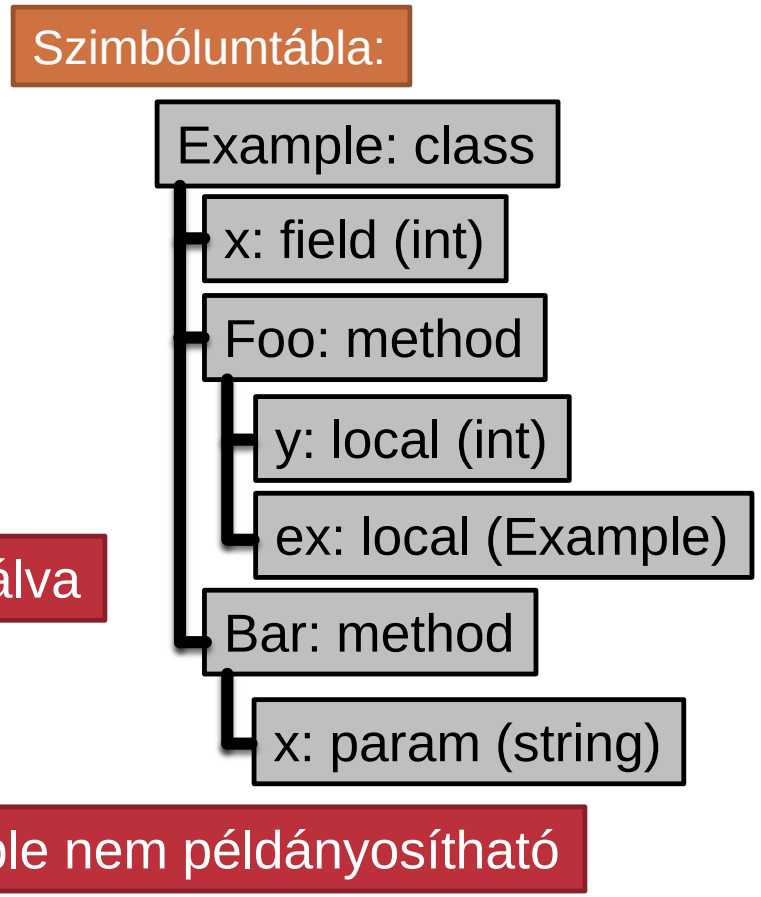


Szemantikai elemzés példa: egyéb nyelvi szabályok

```
public abstract class Example
{
    private int x;

    public void Foo()
    {
        int y;
        if (!flag)
        {
            x = 3 + y;
            var ex = new Example();
        }
    }
    public int Bar(string x)
    {
        return "hello" + x;
    }
}
```

y nincs inicializálva

Example nem példányosítható



Szemantikai elemzés

- Szemantikai elemzés
  - szimbólumtábla építése
  - névelemzés
  - típuselemzés
  - operátorok azonosítása
  - konzisztencia ellenőrzése
  - egyéb nyelvi szabályok ellenőrzése
- Miért nem a szintaktikai elemzés része?
  - a programnyelvek kontextus-függőek (nem elég a CF nyelvtan a leírásukhoz)
  - kódban később szereplő definíciók, kereszthivatkozások, túl sok összefüggés

Szimbólumtábla

- A fordító adatbázisa
- Összes szimbólum definíciója
  - > név
  - > jelentés
  - > kontextus
- Cél:
  - > szimbólumok keresésének támogatása
  - > szimbólumok egyezőségének eldöntése

A mai előadás: Szemantikai elemzés

I. Szemantikai elemzés

II. Attribútumnyelvtanok

III. Névelemzés

IV. Típuselemzés és operátorazonosítás

V. Egyéb nyelvi szabályok

Attribútum nyelvtanok

- Szemantikai elemzéshez extra információra van szükség a szintaxisfában
- Ötlet: rendeljünk attribútumokat a szintaxisfa csúcsaihoz
  - attribútum definíció: név és egy kifejezés
- Két attribútum fajta:
  - örökölt (inherited): fentről lefelé (top-down) kiértékelés
    - a szabályok jobb oldalán található nemterminálisokra kell definiálni
  - szintetizált (synthesized): alulról felfelé (bottom-up) kiértékelés
    - a szabályok bal oldalán található nemterminálisokra kell definiálni

Attribútum nyelvtan példa

CF nyelvtan:

```
A → T x = E
E → E+C | C
C → 1 | "a"
T → int | string
```

szintetizált (bottom-up)

örökölt (top-down)

Attribútum nyelvtan:

```
A → T x = E
E.expType = T.type
T.expType = any

E → E+C
E[1].op = GetOperator(+,E[2].type,C.type)
E[1].type = E[1].op.type
E[2].expType = E[1].op.expType
C.expType = E[1].op.expType
```

```
E → C
E.type = C.type
C.expType = E.expType

C → 1
C.type = int

C → "a"
C.type = string

T → int
T.type = int

T → string
T.type = string
```

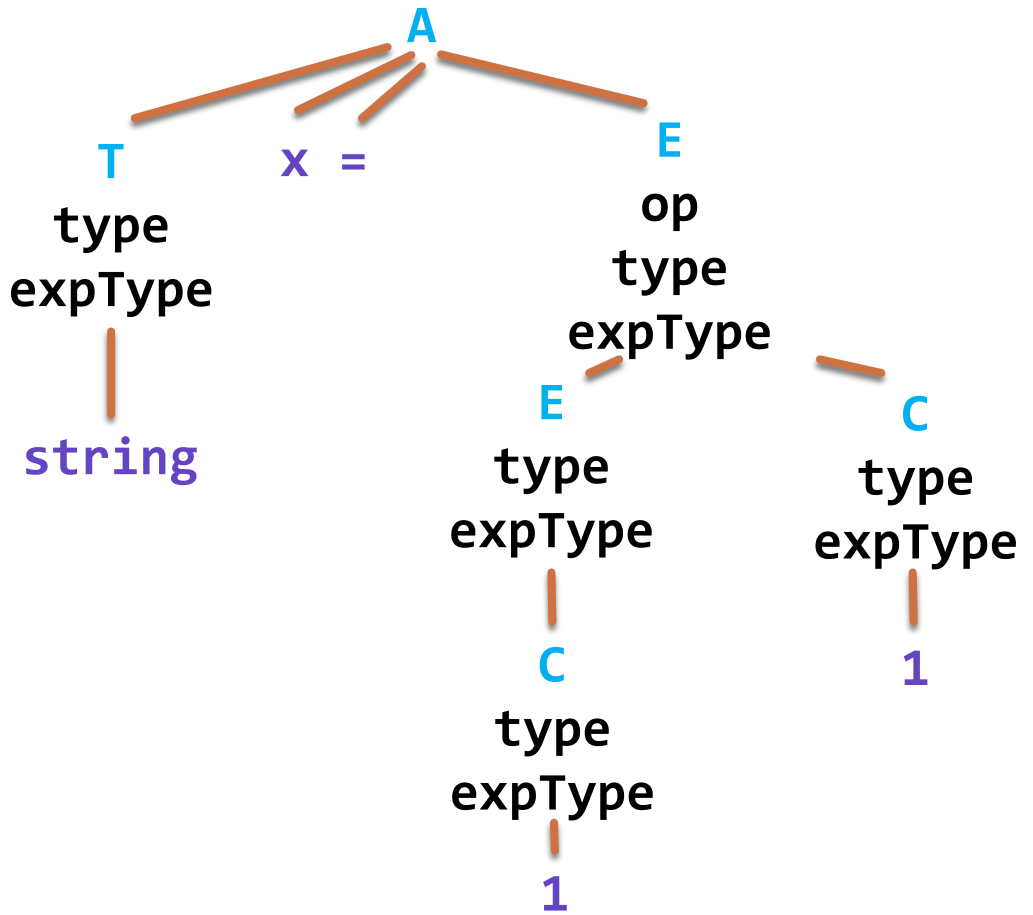
Példa: attribútumok számítása

```
A → T x = E
E.expType = T.type
T.expType = any

E → E+C
E[1].op = GetOperator(+,E[2].type,C.type)
E[1].type = E[1].op.type
E[2].expType = E[1].op.expType
C.expType = E[1].op.expType

E → C
E.type = C.type
C.expType = E.expType

C → 1
C.type = int

C → "a"
C.type = string

T → int
T.type = int

T → string
T.type = string
```

Programkód:

```
string s = 1+1
```

Attribútumos szintaxisfa:



Példa: attribútumok számítása

```
A → T x = E
E.expType = T.type
T.expType = any
```

```
E → E+C
E[1].op = GetOperator(+,E[2].type,C.type)
E[1].type = E[1].op.type
E[2].expType = E[1].op.expType
C.expType = E[1].op.expType
```

```
E → C
E.type = C.type
C.expType = E.expType
```

```
C → 1
C.type = int
```

```
C → "a"
C.type = string
```

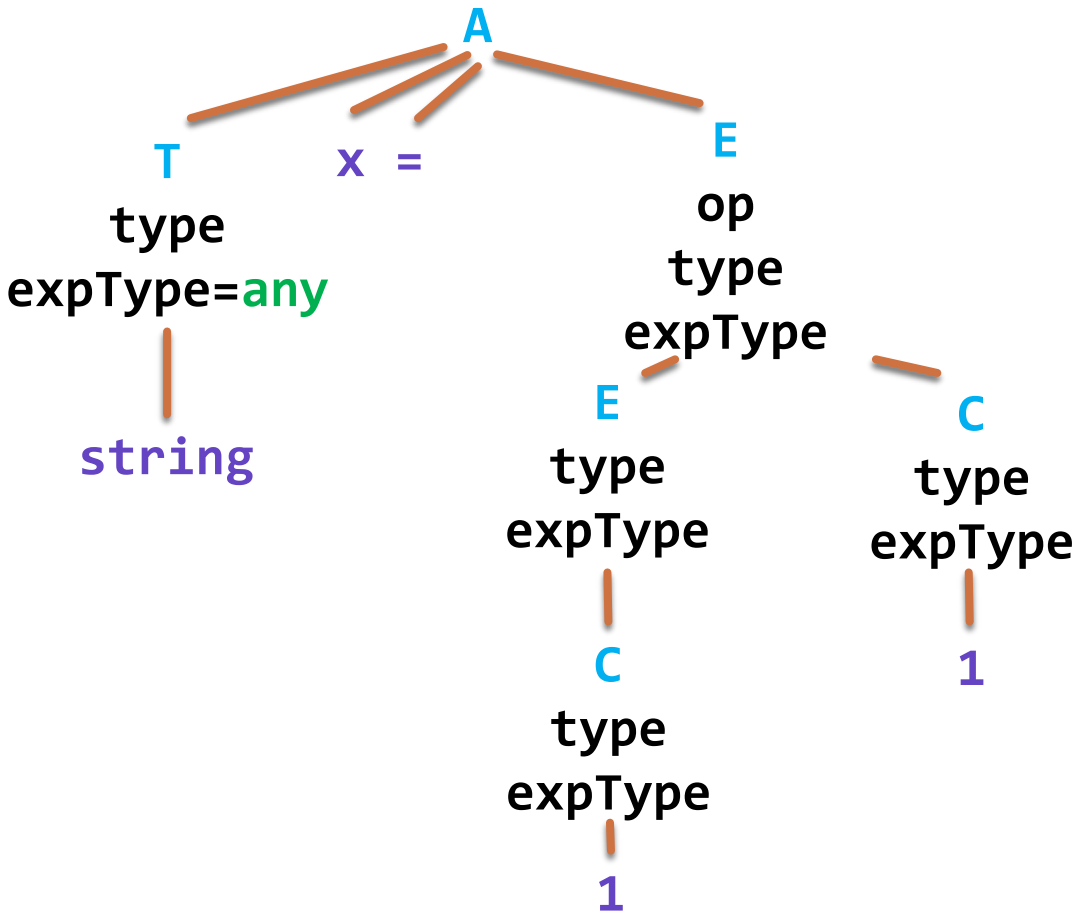
```
T → int
T.type = int
```

```
T → string
T.type = string
```

Programkód:

```
string s = 1+1
```

Attribútumos szintaxisfa:



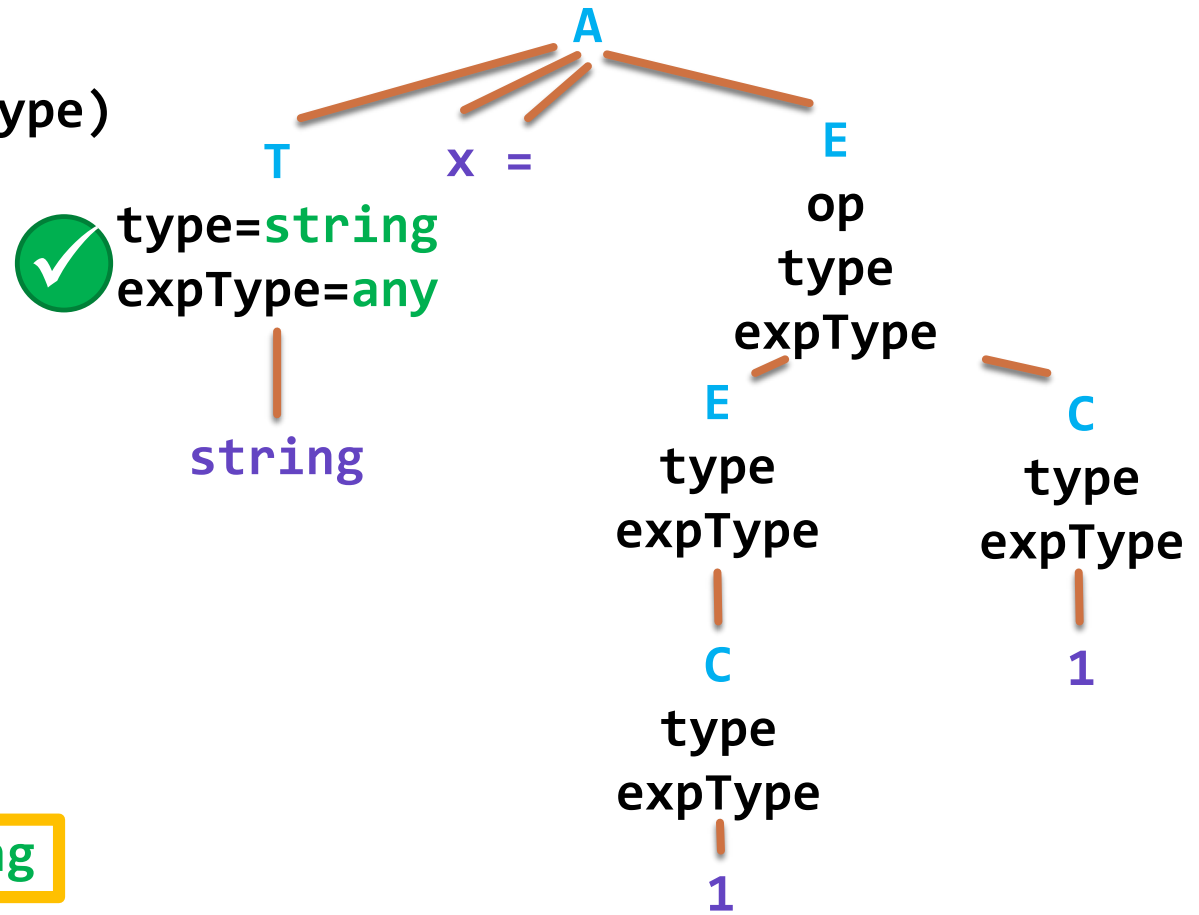
Példa: attribútumok számítása

```
A → T x = E
E.expType = T.type
T.expType = any

E → E+C
E[1].op = GetOperator(+,E[2].type,C.type)
E[1].type = E[1].op.type
E[2].expType = E[1].op.expType
C.expType = E[1].op.expType

E → C
E.type = C.type
C.expType = E.expType

C → 1
C.type = int

C → "a"
C.type = string

T → int
T.type = int

T → string
T.type = string
```

Programkód:

```
string s = 1+1
```

Attribútumos szintaxisfa:



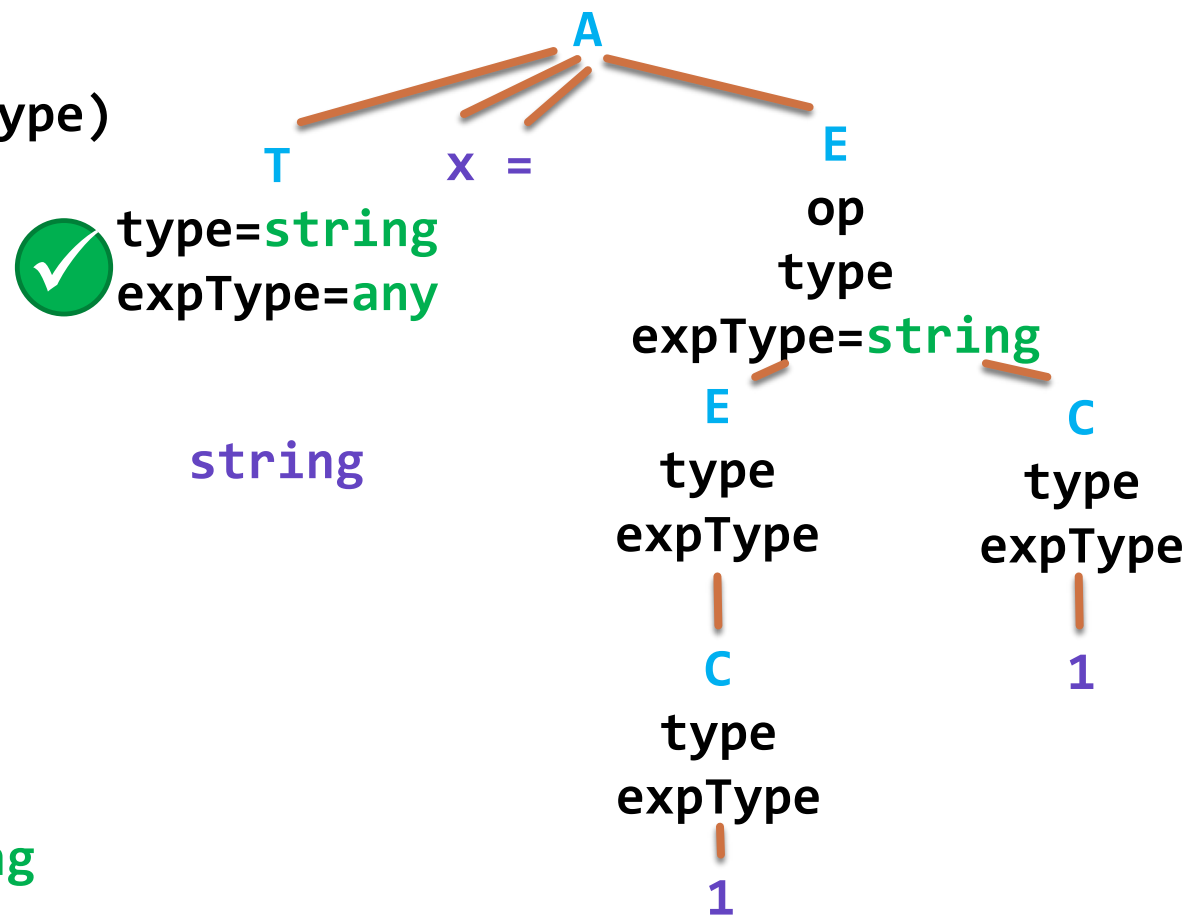
Példa: attribútumok számítása

```
A → T x = E
E.expType = T.type
T.expType = any

E → E+C
E[1].op = GetOperator(+,E[2].type,C.type)
E[1].type = E[1].op.type
E[2].expType = E[1].op.expType
C.expType = E[1].op.expType

E → C
E.type = C.type
C.expType = E.expType

C → 1
C.type = int

C → "a"
C.type = string

T → int
T.type = int

T → string
T.type = string
```

Programkód:

```
string s = 1+1
```

Attribútumos szintaxisfa:



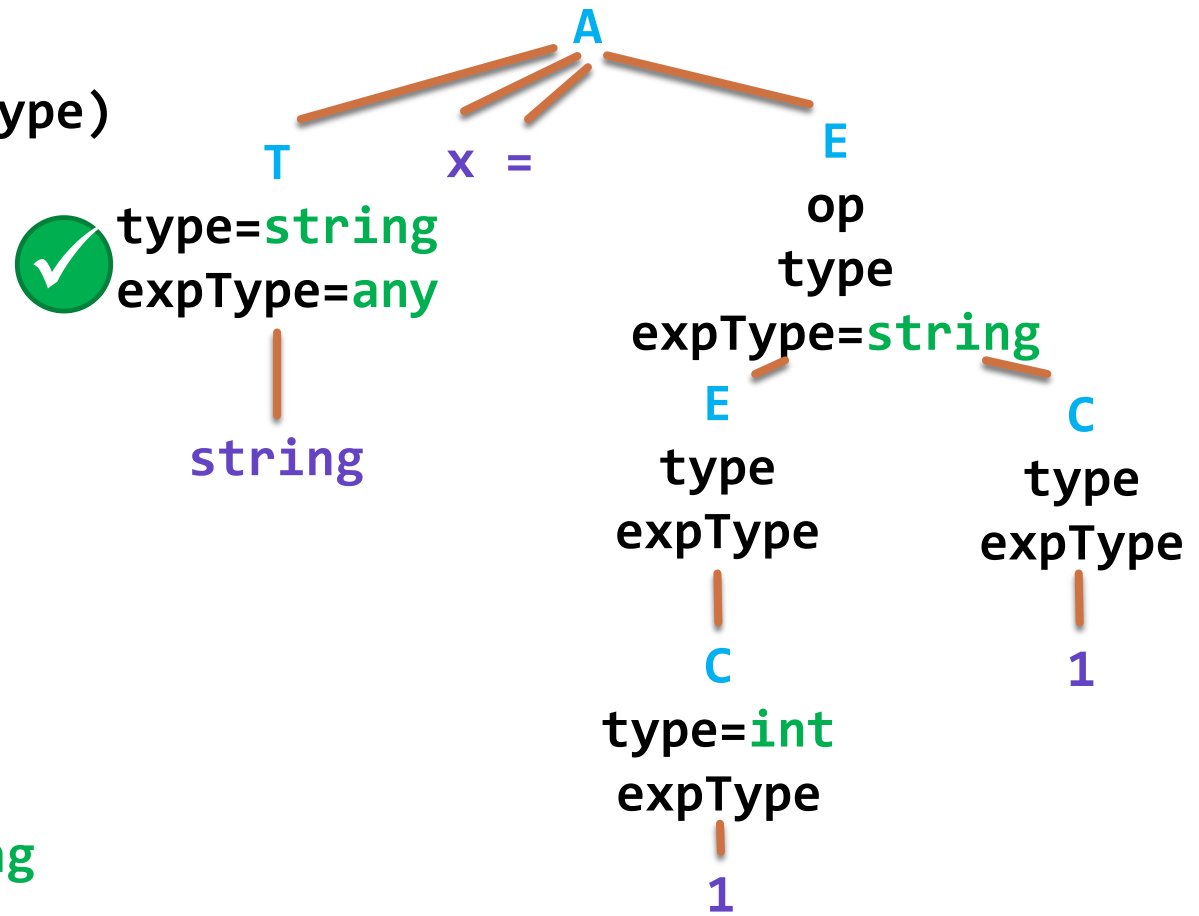
Példa: attribútumok számítása

```
A → T x = E
E.expType = T.type
T.expType = any

E → E+C
E[1].op = GetOperator(+,E[2].type,C.type)
E[1].type = E[1].op.type
E[2].expType = E[1].op.expType
C.expType = E[1].op.expType

E → C
E.type = C.type
C.expType = E.expType

C → 1
C.type = int

C → "a"
C.type = string

T → int
T.type = int

T → string
T.type = string
```

Programkód:

```
string s = 1+1
```

Attribútumos szintaxisfa:



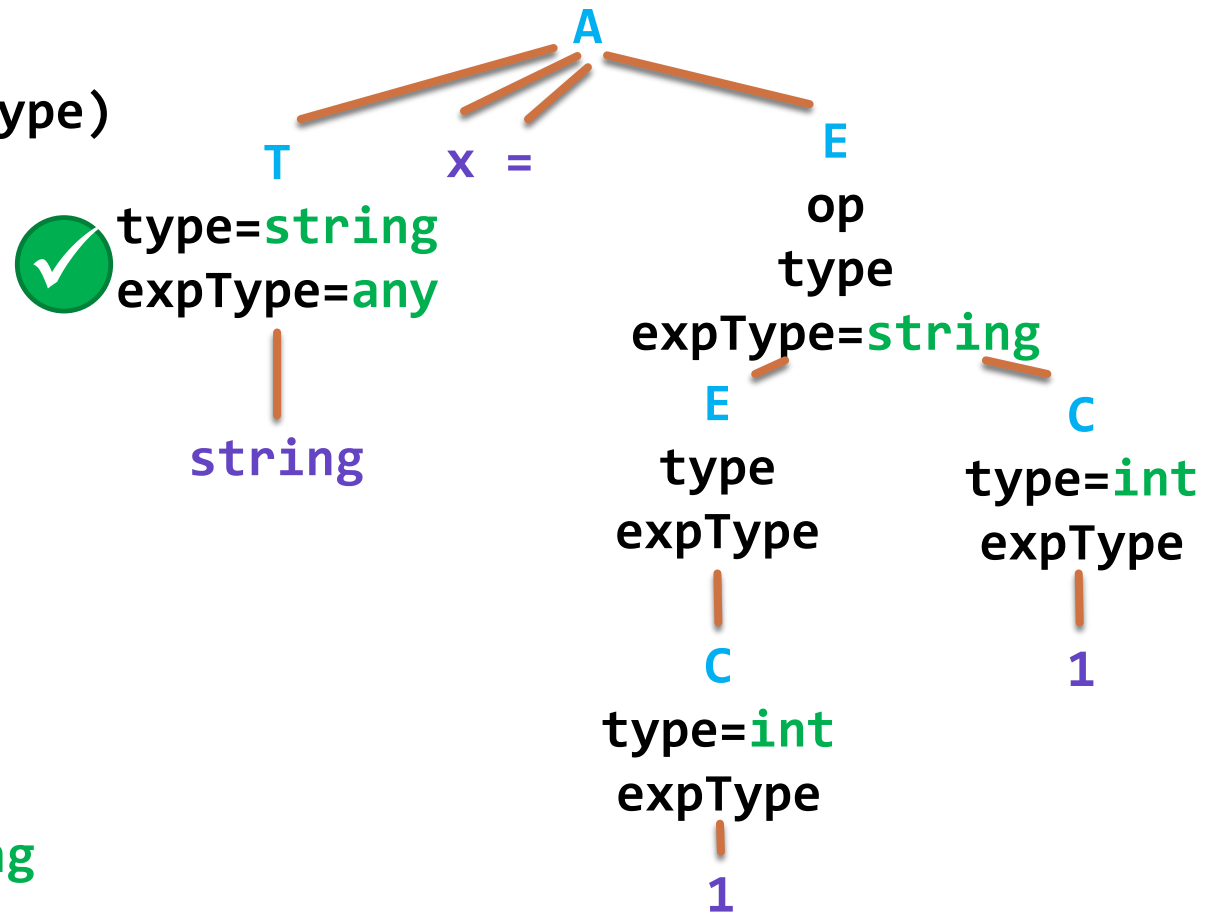
Példa: attribútumok számítása

```
A → T x = E
E.expType = T.type
T.expType = any

E → E+C
E[1].op = GetOperator(+,E[2].type,C.type)
E[1].type = E[1].op.type
E[2].expType = E[1].op.expType
C.expType = E[1].op.expType

E → C
E.type = C.type
C.expType = E.expType

C → 1
C.type = int

C → "a"
C.type = string

T → int
T.type = int

T → string
T.type = string
```

Programkód:

```
string s = 1+1
```

Attribútumos szintaxisfa:



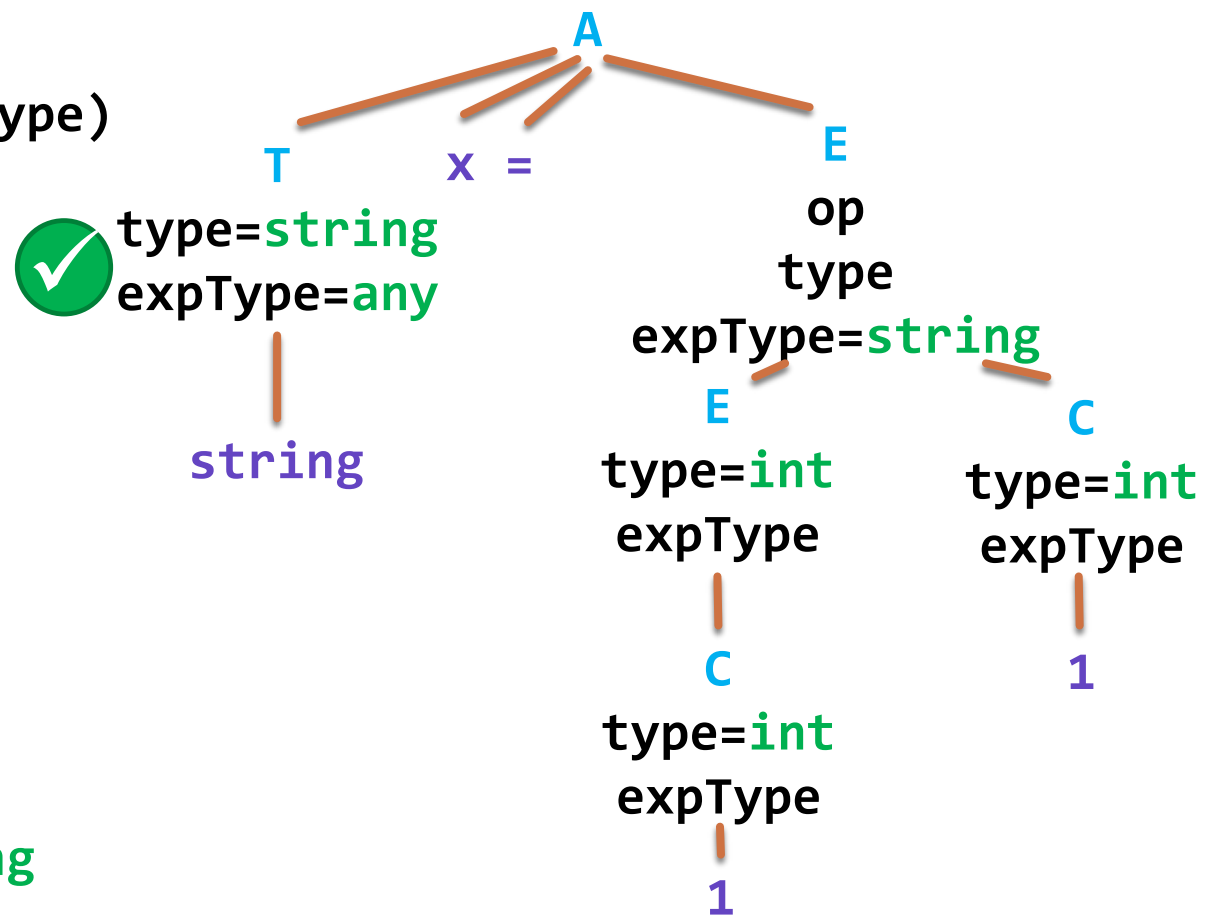
Példa: attribútumok számítása

```
A → T x = E
E.expType = T.type
T.expType = any

E → E+C
E[1].op = GetOperator(+,E[2].type,C.type)
E[1].type = E[1].op.type
E[2].expType = E[1].op.expType
C.expType = E[1].op.expType

E → C
E.type = C.type
C.expType = E.expType

C → 1
C.type = int

C → "a"
C.type = string

T → int
T.type = int

T → string
T.type = string
```

Programkód:

```
string s = 1+1
```

Attribútumos szintaxisfa:



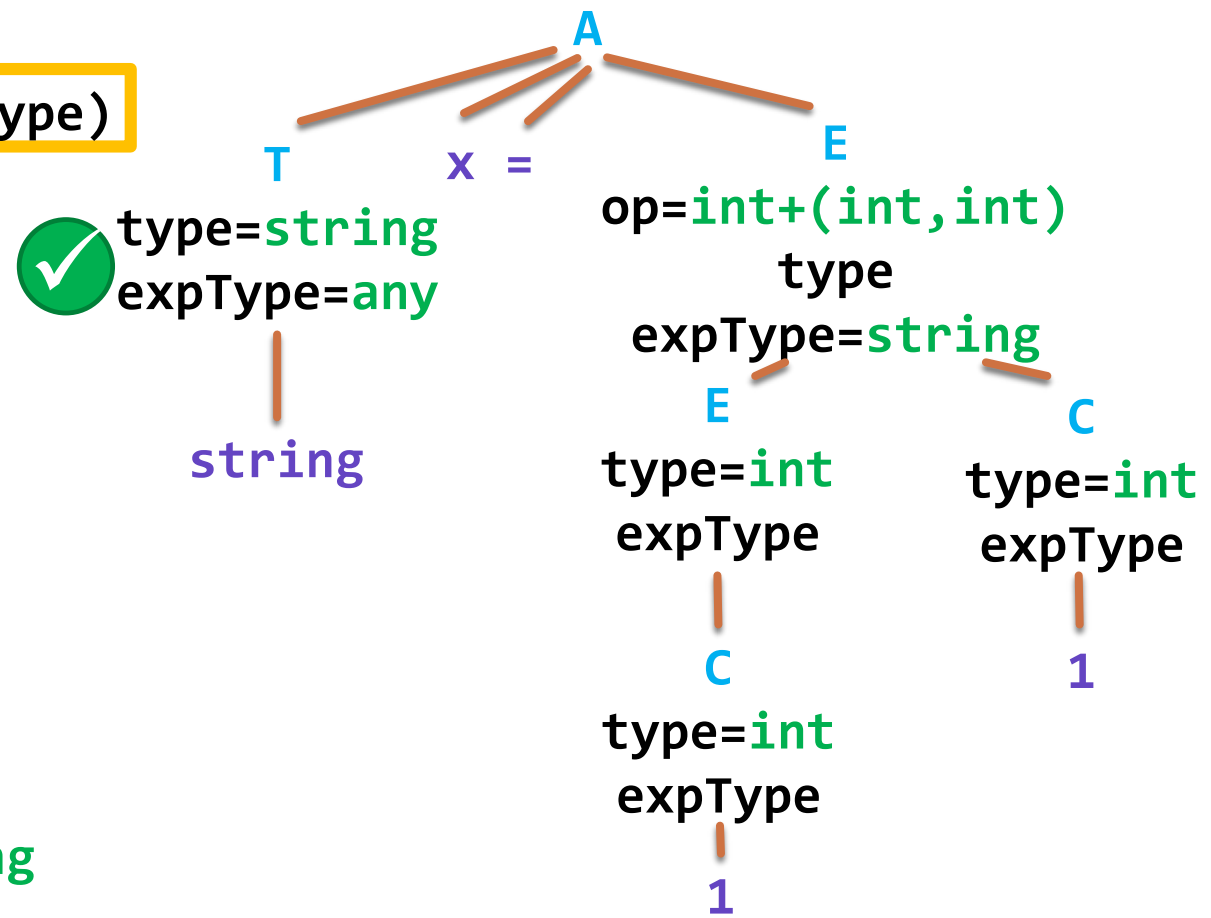
Példa: attribútumok számítása

```
A → T x = E
E.expType = T.type
T.expType = any

E → E+C
E[1].op = GetOperator(+,E[2].type,C.type)
E[1].type = E[1].op.type
E[2].expType = E[1].op.expType
C.expType = E[1].op.expType

E → C
E.type = C.type
C.expType = E.expType

C → 1
C.type = int

C → "a"
C.type = string

T → int
T.type = int

T → string
T.type = string
```

Programkód:

```
string s = 1+1
```

Attribútumos szintaxisfa:



Példa: attribútumok számítása

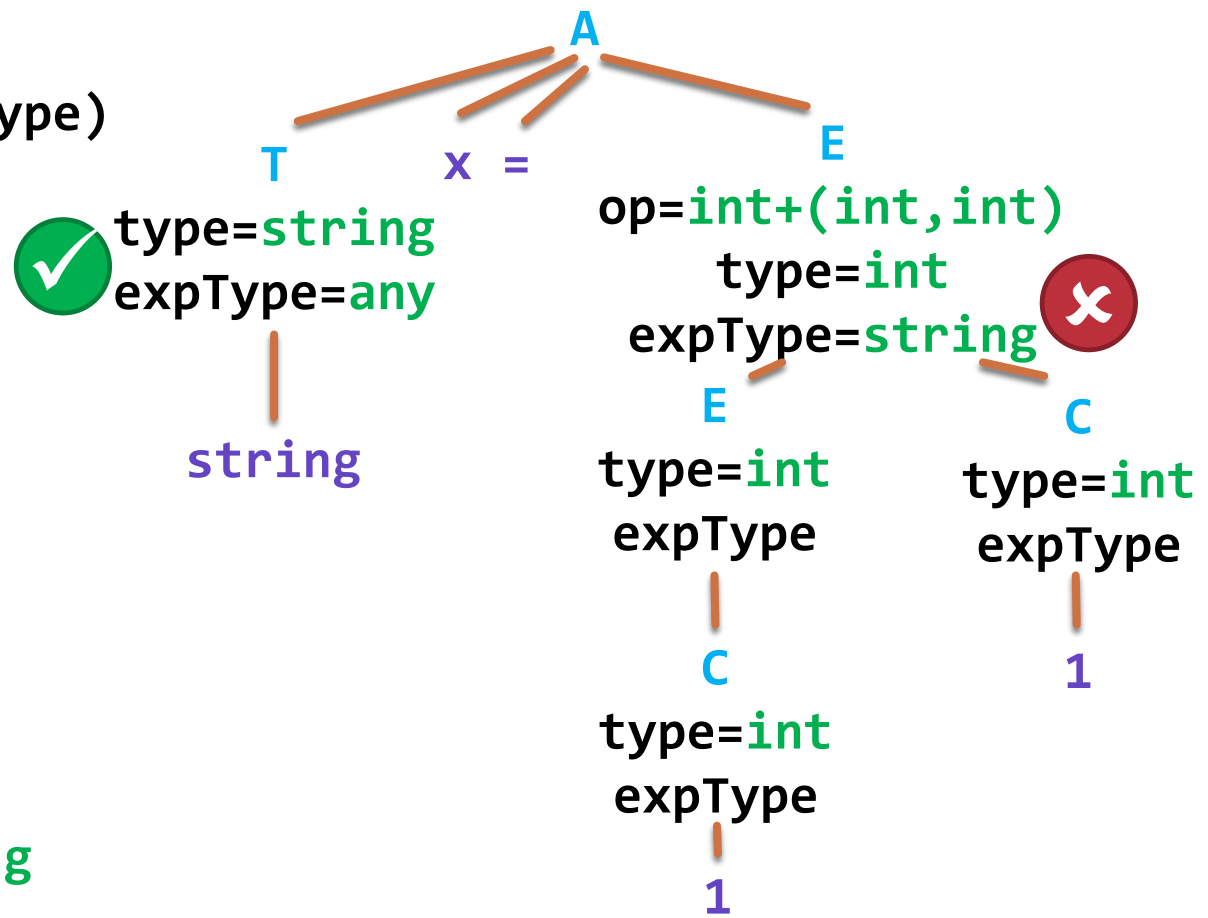
```
A → T x = E
E.expType = T.type
T.expType = any

E → E+C
E[1].op = GetOperator(+,E[2].type,C.type)
E[1].type = E[1].op.type
E[2].expType = E[1].op.expType
C.expType = E[1].op.expType

E → C
E.type = C.type
C.expType = E.expType

C → 1
C.type = int

C → "a"
C.type = string

T → int
T.type = int

T → string
T.type = string
```

Programkód:

```
string s = 1+1
```

Hiba: string típusú kifejezést várunk!

Attribútumos szintaxisfa:



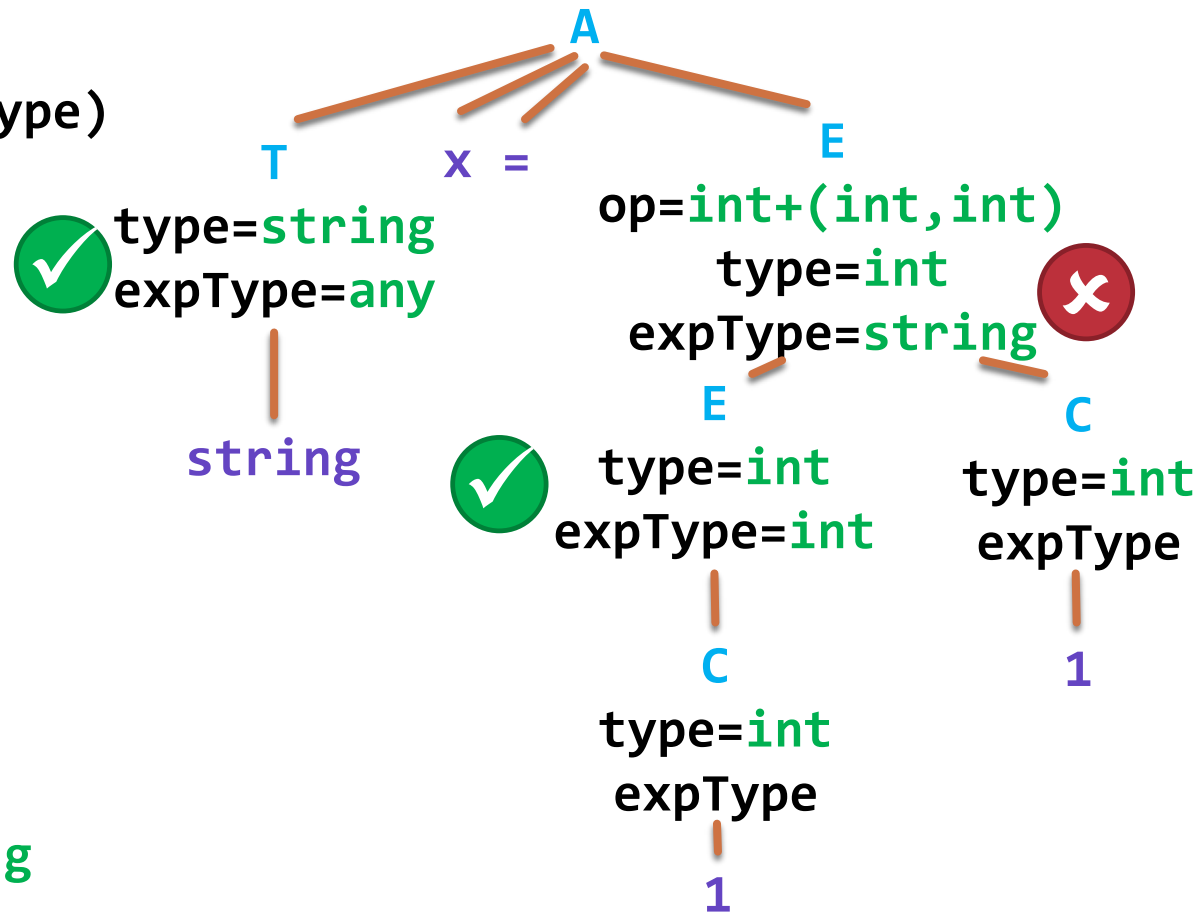
Példa: attribútumok számítása

```
A → T x = E
E.expType = T.type
T.expType = any

E → E+C
E[1].op = GetOperator(+,E[2].type,C.type)
E[1].type = E[1].op.type
E[2].expType = E[1].op.expType
C.expType = E[1].op.expType

E → C
E.type = C.type
C.expType = E.expType

C → 1
C.type = int

C → "a"
C.type = string

T → int
T.type = int

T → string
T.type = string
```

Programkód:

```
string s = 1+1
```

Attribútumos szintaxisfa:



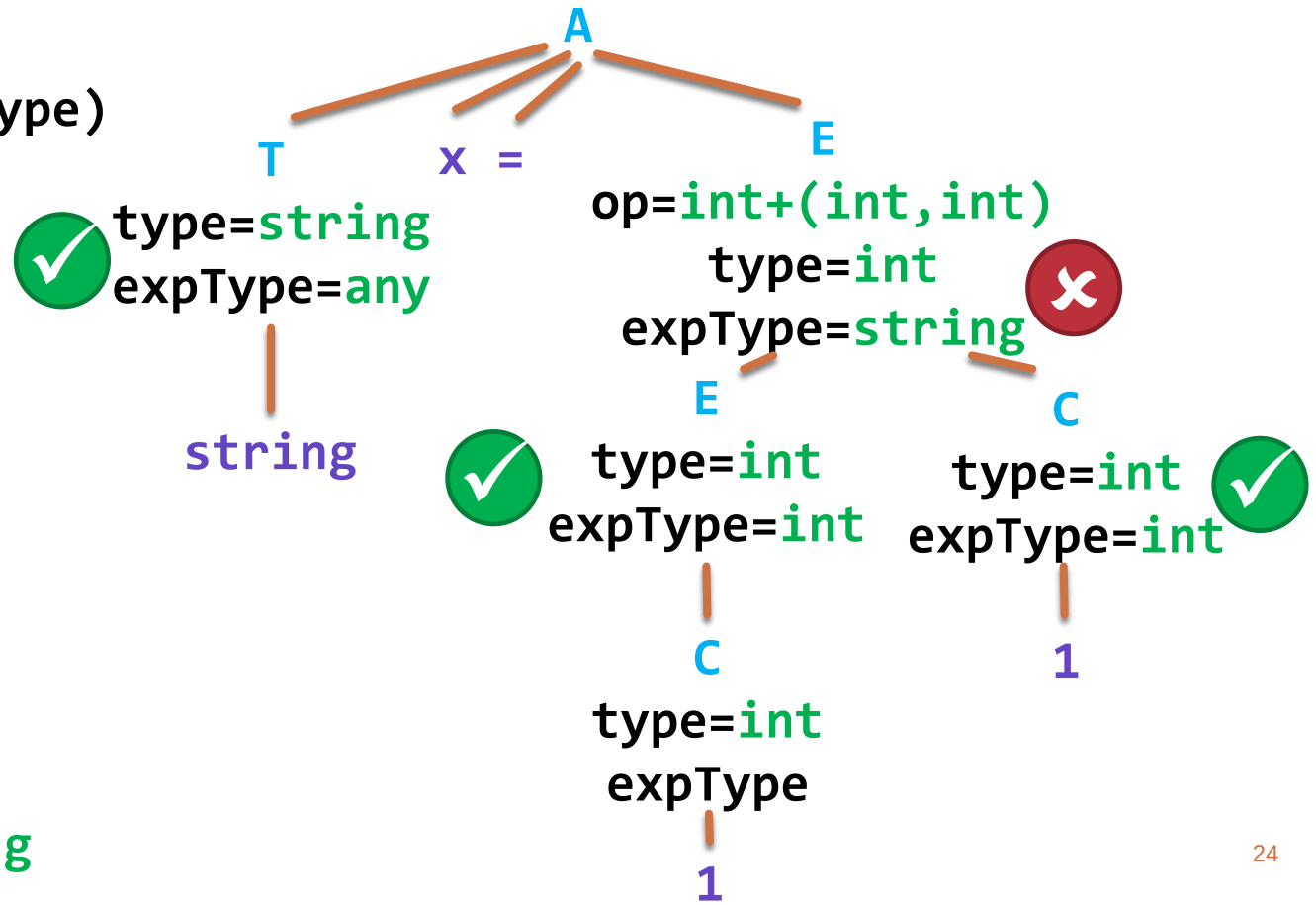
Példa: attribútumok számítása

```
A → T x = E
E.expType = T.type
T.expType = any

E → E+C
E[1].op = GetOperator(+,E[2].type,C.type)
E[1].type = E[1].op.type
E[2].expType = E[1].op.expType
C.expType = E[1].op.expType

E → C
E.type = C.type
C.expType = E.expType

C → 1
C.type = int

C → "a"
C.type = string

T → int
T.type = int

T → string
T.type = string
```

Programkód:

```
string s = 1+1
```

Attribútumos szintaxisfa:



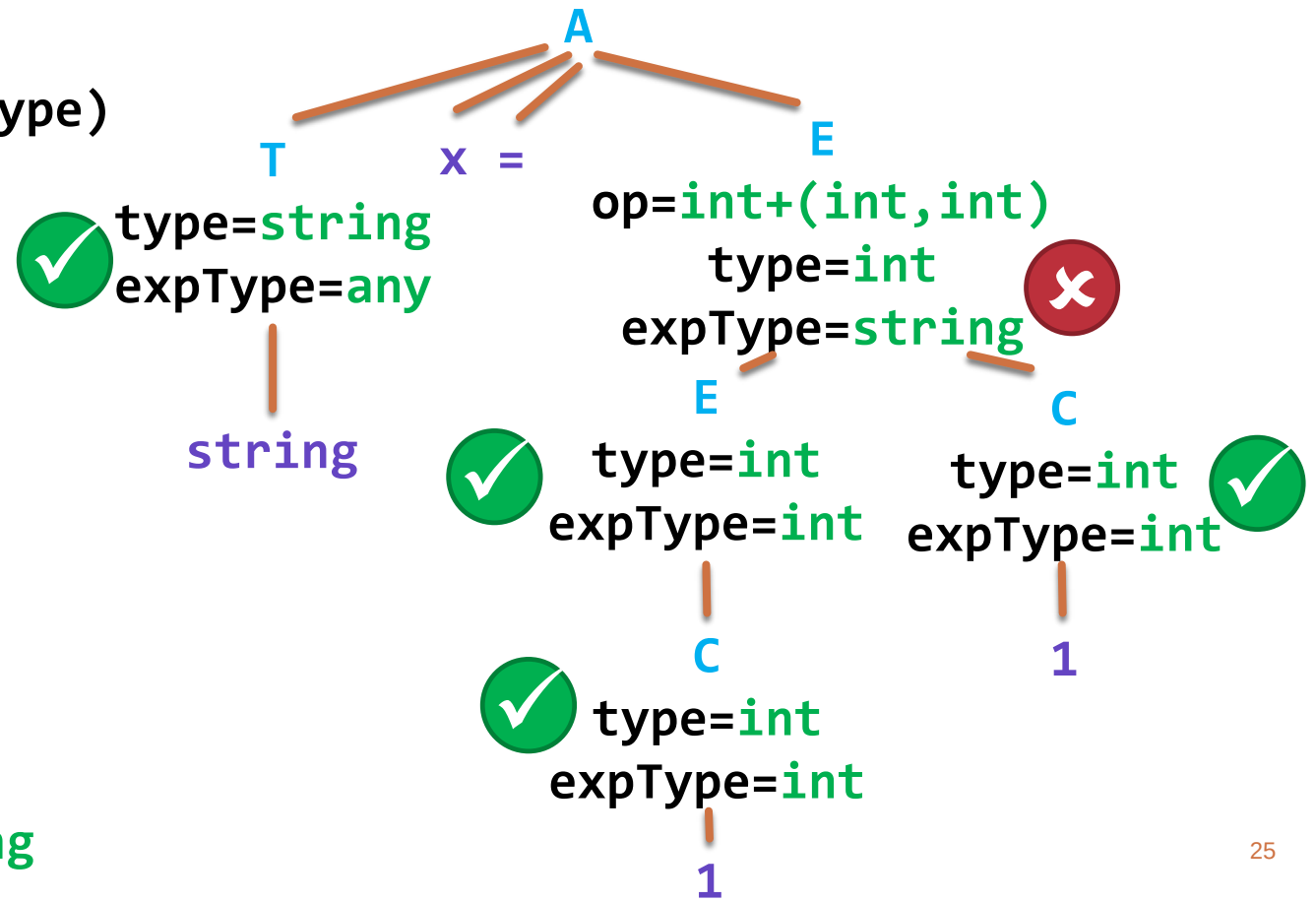
Példa: attribútumok számítása

```
A → T x = E
E.expType = T.type
T.expType = any

E → E+C
E[1].op = GetOperator(+,E[2].type,C.type)
E[1].type = E[1].op.type
E[2].expType = E[1].op.expType
C.expType = E[1].op.expType

E → C
E.type = C.type
C.expType = E.expType

C → 1
C.type = int

C → "a"
C.type = string

T → int
T.type = int

T → string
T.type = string
```

Programkód:

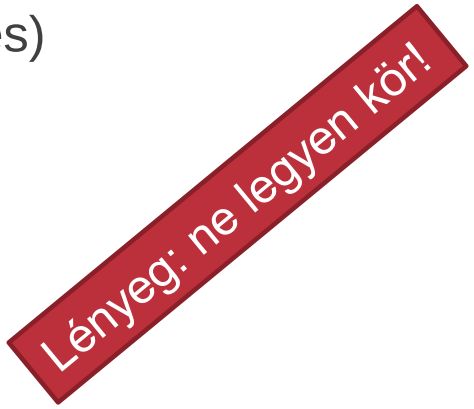
```
string s = 1+1
```

Attribútumos szintaxisfa:



Alternatívák attribútumok kiértékelési sorrendjére

- Valahány balról jobbra ill. jobbról balra történő DFS
  - Left-, Right-, Alternating Attribute Grammar: LAG(k), RAG(k), AAG(k)
- Attribútumhalmazok kiértékelése egymás után, globálisan (nemterminálistól függetlenül)
  - Ordered Attribute Grammar: OAG (-> tulajdonság eldöntése polinomiális)
  - topológiai rendezés
- Attribútumhalmazok kiértékelése egymás után, lokálisan (nemterminálistól függően)
  - Partitionable Attribute Grammar: PAG (-> tulajdonság eldöntése NP-teljes)
  - PAG-hoz néhány új függőséget felvéve OAG-t kapunk
- Attribútumok lusta kiértékelése
  - Well-defined Attribute Grammar: WAG



Attribútum nyelvtan alapú fordítás

- Attribútum nyelvtan: deklaratív leírás
- Léteznek attribútum nyelvtan alapú fordítók
  - Ox: https://sourceforge.net/projects/ox-attribute-grammar-compiler/
  - Silver: https://github.com/melt-umn/silver
- Könnyen programozható manuálisan is, imperatív módon
  - pl. a Roslyn is hasonló módszert alkalmaz, de nem közvetlenül a szintaxisfán, hanem a szimbólumokon

A mai előadás: Szemantikai elemzés

I. Szemantikai elemzés

II. Attribútumnyelvtanok

III. Névelemzés

IV. Típuselemzés és operátorazonosítás

V. Egyéb nyelvi szabályok

Névelemzés

- Szimbólumok definícióinak bejegyzése a szimbólumtáblába
  - pl. névterek, típusok, mezők, operációk, paraméterek, változók, stb.
  - előre definiált szimbólumokat is
  - névütközések felismerése (függhet a szimbólum fajtájától is)
  - szimbólumok összefésülése (pl. névterek, partial class-ok)
- Szimbólumok használatának összekötése a definícióval
  - pl. változó, konstans, paraméter, mező értékének olvasása-írása
  - pl. névtérre v. típusnévre hivatkozás, függvényhívás, goto címkére hivatkozás
- Ugyanaz a név különböző szintaktikai pozíciókban más-mást jelenthet!
  - fontos, hogy milyen kontextusban (scope-ban) szerepel

Példa: C-stílusú blokkok elemzése

```
Block → { Decls Stmts }
Stmts.scope = append(Decls.scope, Block.scope)

Decls → Decls Decl
Decls[1].scope = append(Decls[2].scope, Decl.scope)

Decl → Type Var ;
Decl.scope = new Scope(Var.symbol)

Stmts → Stmts Stmt
Stmts[2].scope = Stmts[1].scope
Stmt.scope = Stmts[1].scope

Stmt → ... Var ... ;
Var.symbol = Stmt.scope.find(Var.name)
```

örökölt

szintetizált

Mi a probléma ezzel a megoldással?

Problémák

- Probléma: egy attribútum egyszerre csak egy fajta lehet (örökölt v. szintetizált)
- Megoldás: attribútum szétválasztása
- A definíciók hatóköre is különbözhet:
  - 1. csak a definíció pozíciója után hivatkozható (pl. lokális változók)
    - scopeIn (örökölt): korábban definiált szimbólumok
    - scopeOut (szintetizált): összes eddig definiált szimbólum
  - 2. a definíció pozíciója előtt is hivatkozható (pl. ugyanazon osztályon belüli függvények)
    - scopeAcc (szintetizált): ebben gyűjtjük a szimbólumokat
    - scopeLkp (örökölt): ebből keressük a szimbólumokat

Példa: csak a definíció pozíciója után hivatkozható

```
Block → { Decls Stmts }
Decls.scopeIn = Block.scopeIn
Stmts.scopeIn = Decls.scopeOut
Block.scopeOut = Block.scopeIn

Decls → Decls Decl
Decls[2].scopeIn = Decls[1].scopeIn
Decl.scopeIn = Decls[2].scopeOut
Decls[1].scopeOut = Decl.scopeOut

Decl → Type Var = Var ;
Type.symbol = Decl.scopeIn.find(Type.name)
Var[2].symbol = Decl.scopeIn.find(Var[2].name)
Decl.scopeOut = append(new Scope(Var[1].symbol), Decl.scopeIn)
```

Példa: a definíció pozíciója előtt is hivatkozható

```
Block → { Decls Stmts }
Decls.scopeLkp = append(Block.scopeLkp, Decls.scopeAcc)
Stmts.scopeLkp = Decls.scopeLkp
Block.scopeAcc = new Scope()

Decls → Decls Decl
Decls[2].scopeLkp = Decl[1].scopeLkp
Decl.scopeLkp = Decls[1].scopeLkp
Decls[1].scopeAcc = append(Decls[2].scopeAcc, Decl.scopeAcc)

Decl → Type Var = Var ;
Type.symbol = Decl.scopeLkp.find(Type.name)
Var[2].symbol = Decl.scopeLkp.find(Var[2].name)
Decl.scopeAcc = new Scope(Var[1].symbol)
```

Példa: minősített névhivatkozás

```
QualifiedName → QualifiedName . Name
Name.symbol = QualifiedName[2].type.find(Name.name)
QualifiedName[1].type = Name.symbol.type

QualifiedName → Name
Name.symbol = QualifiedName.scopeLkp.find(Name.name)
QualifiedName.type = Name.symbol.type
```

A név- és a típuselemzés kölcsönösen hatnak egymásra!

Alternatívák scope kezelésre: imperatív manuális megoldások

- 1. Verem (symbol stack)
  - > dinamikusan változik
  - > kevés memóriát igényel
  - > egy menetben fel kell oldania mindent
- 2. Láncolt lista
  - > statikus struktúra, nem változik
  - > több memóriát igényel
  - > bonyolultabb eseteket is tud kezelni
  - > (az előző, attribútum nyelvtanos példák is láncolt listát építettek: deklaratívan)

Névkeresés tipikus scope-jai láncolt listával

Példa kód:

```
namespace MovieApp.Service
{
  using MovieApp.Data;
  using C = MovieApp.Data.Cinema;

  public interface IMovieService
  {
    Movie GetMovie(int id);
  }

  public class MovieService : RestService, IMovieService
  {
    public Movie GetMovie(int id) { /*...*/ }
    public void ShowMovie(int id, C cinema) { if (true) { /*...*/ } }
  }
}
```

Névtér

Import

Alias

Aktuális típus (this)

Őstípus (base)

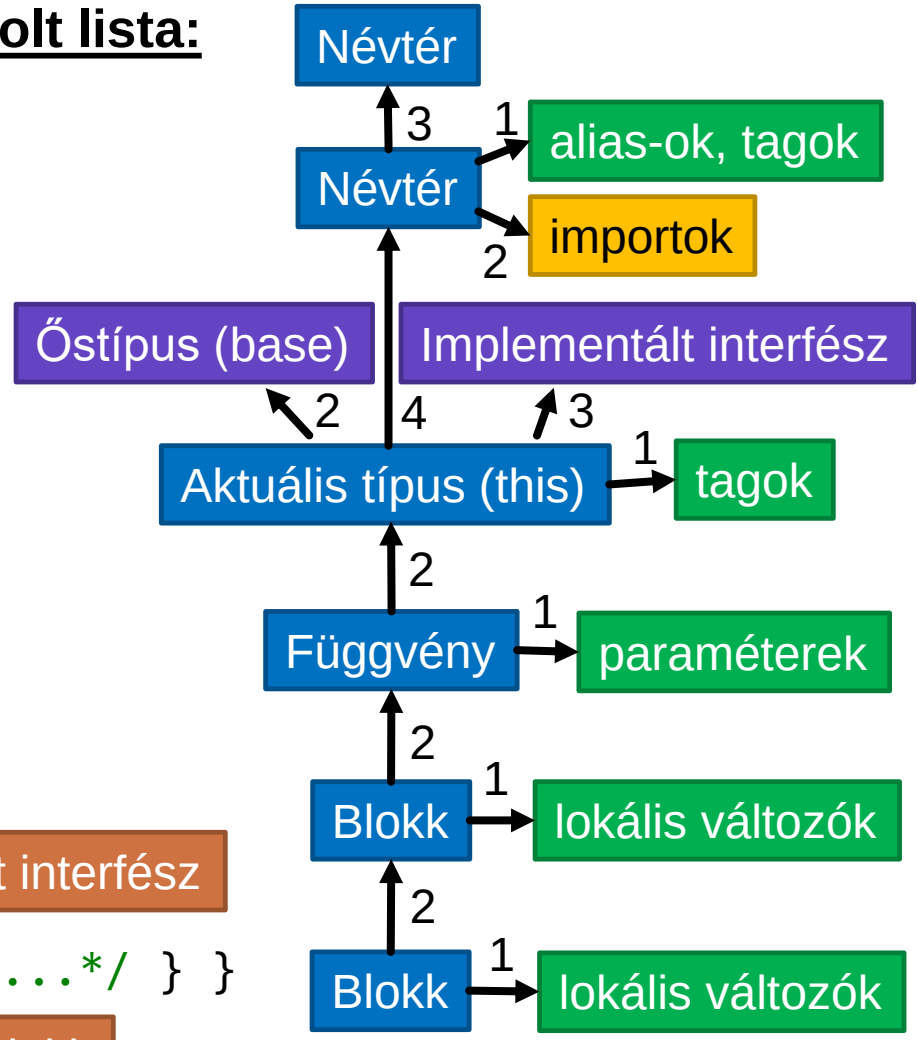
Implementált interfész

Függvény

Blokk

Blokk

Scope láncolt lista:



Névelemzés során felderíthető hibák

- Többszörös definíció
  - > ugyanaz a név többször van definiálva ugyanabban a scope-ban: nem lehet egyértelműen bejegyezni a szimbólumtáblába
  - > nem mindig hiba (pl. overloading vagy különböző fajta szimbólumok)
- Szimbólum nem létezik
  - > hivatkozás helyén megadott név nem szerepel a scope hierarchiában
- Nem egyértelmű szimbólum
  - > hivatkozás helyén megadott név nem oldható fel egyértelműen a scope hierarchia alapján
  - > pl. többszörös definíció miatt, vagy egy importált és egy definiált szimbólum közötti névütközés miatt

A mai előadás: Szemantikai elemzés

I. Szemantikai elemzés

II. Attribútumnyelvtanok

III. Névelemzés

IV. Típuselemzés és operátorazonosítás

V. Egyéb nyelvi szabályok

Típuselemzés

- Típus: értékek és azokon értelmezett műveletek egy halmaza
  - primitív típusok (int, float, double, char, bool, stb.)
  - összetett típusok (struct, union, class, array, stb.)
- Típuselemzés feladata:
  - nevek, operandusok és kifejezések típusának meghatározása
  - típuskikövetkeztetés (type inference), pl. C#-ban a `var` kulcsszó
- Típuselemzés szükséges:
  - névelemzéshez és operátorok azonosításához
  - érték- és típuskonverziók ellenőrzéséhez
  - konzisztencia-ellenőrzéshez

Típusellenőrzés

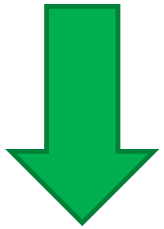
- Típushiba:
  - egy szimbólumon olyan műveletet akarunk végrehajtani, amelyet a típusa nem támogat
- Típusellenőrzés:
  - típushibák elkerülésére a szimbólumok típusát a műveletek végrehajtása előtt ellenőrizzük
  - fordítási időben: statikus típusellenőrzés -> gyors, de nagyon nehéz minden esetet kezelni
  - futási időben: dinamikus típusellenőrzés -> lassú, de precízebb
- Nyelv típusossága:
  - erősen típusos nyelv: minden típushiba felderíthető fordítási időben
  - gyengén típusos nyelv: felderítés futási időben -> futási idejű típushiba előfordulhat

Típusekvivalencia

- Névekvivalencia:
  - két típus egyforma, ha ugyanazzal a típusdefinícióval lettek definiálva
  - pl. osztályok C#-ban
- Strukturális ekvivalencia:
  - két típus egyforma, ha ugyanazzal a típuskonstruktorral és ugyanolyan típusargumentumokkal lettek létrehozva
  - pl. tömbök, tuple-ök, generikus típusok
  - vigyázat: létezhetnek rekurzív típusok is!

Kovariancia és Kontravariancia

```
virtual Derived Method(Base obj)
```

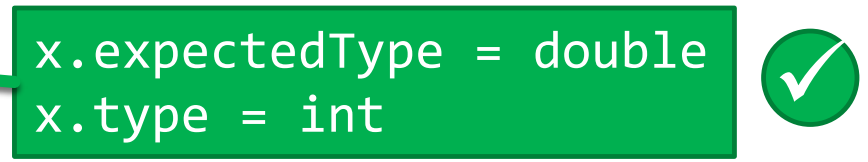
Kovariancia   Kontravariancia

```
override Base Method(Derived obj)
```

Típusellenőrzés attribútumai

- Tényleges típus: type (szintetizált: alulról felfelé kiértékelve)
- Elvárt típus: expectedType (örökölt: fentről lefelé kiértékelve)
- Közöttük implicit típuskonverzió
- Példa:

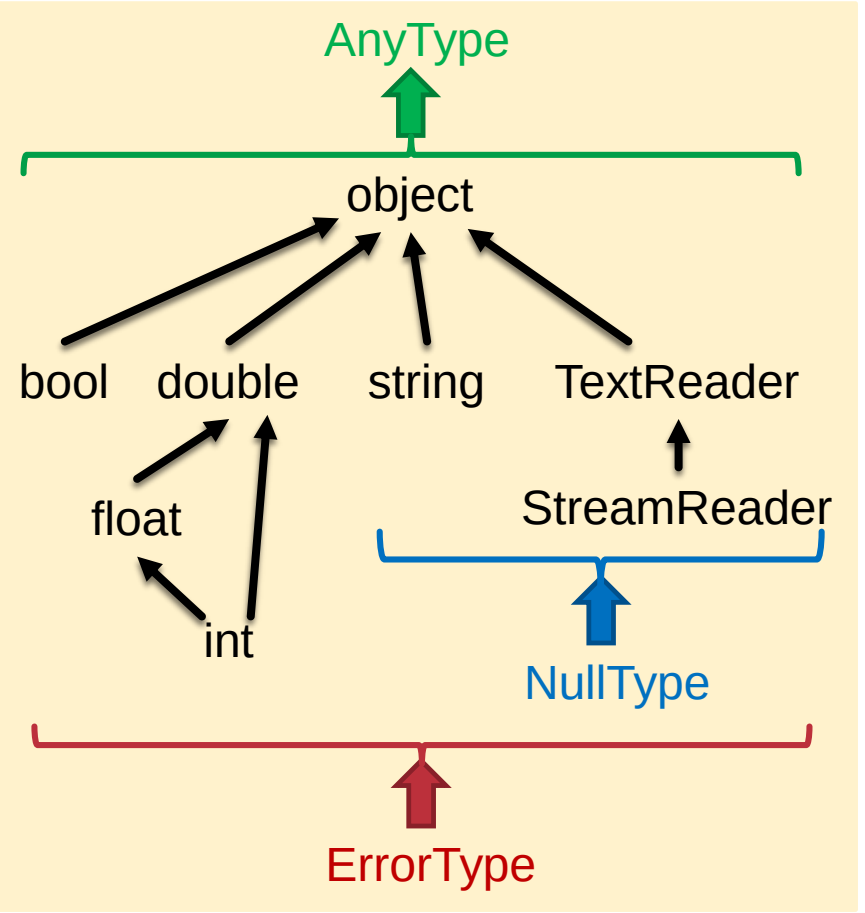
```
int x = 5;
double y = x;

if (x)
{
   ...
}
```



Típushierarchia

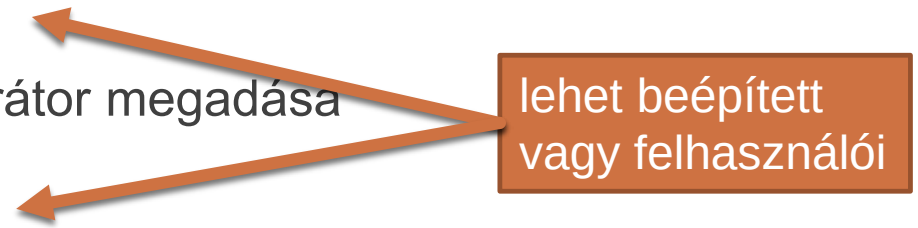
- Implicit típuskonverzió (type coercion): automatikus
  - pl. `int` -> `double`, leszármazott -> ős
- Explicit típuskonverzió (type cast): nem automatikus
  - nem biztonságos vagy információvesztéssel járhat
  - pl. ős -> leszármazott, `double` -> `int`
- Típushierarchia:
  - típusok között egy rendezés
  - megadja, melyik típus mely másikra konvertálható
- Speciálisan kezelt típusok:
  - AnyType: bármi megengedett ->minden típus konvertálható rá
  - NullType: `null` típusa -> referencia típusokra konvertálható
  - ErrorType: típushiba esetén -> minden típusra konvertálható

Típushierarchia példa (C#):



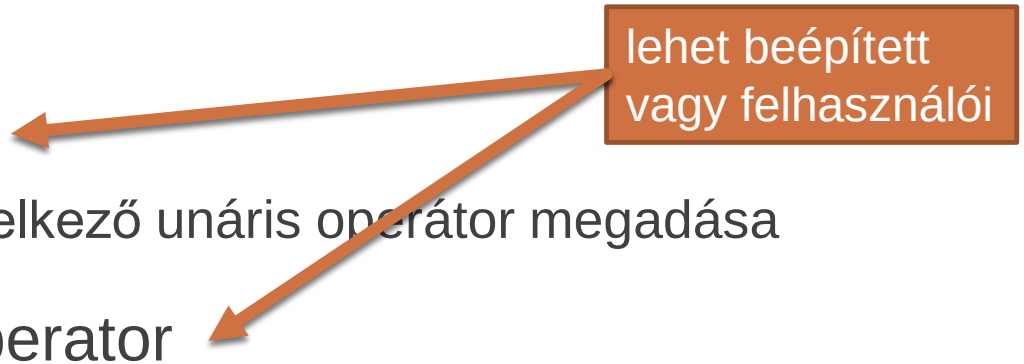
Műveletek típuselemzéshez

- GetBaseType: Type -> Type
  - legbelső alaptípus megadása, pl. `int?[] -> int`
- GetInnerType: Type -> Type
  - közvetlenül tartalmazott típus megadása, pl. `int?[] -> int?`
- AreEquivalent: Type x Type -> bool
  - két típus strukturálisan ekvivalens-e, pl. `(int,bool),ValueTuple<int,bool> -> true`
- GetImplicitConversion: Type x Type -> Operator
  - első típust a második típusra konvertáló implicit operátor megadása
- GetExplicitConversion: Type x Type -> Operator
  - első típust a második típusra konvertáló explicit operátor megadása



Műveletek operátorazonosításhoz

- GetOperator: OpKind x Type -> Operator
  - > adott fajtájú és adott típusú operandussal rendelkező unáris operátor megadása
- GetOperator: OpKind x Type x Type -> Operator
  - > adott fajtájú és két adott típusú operandussal rendelkező bináris operátor megadása



Operátor kiválasztásának lépései

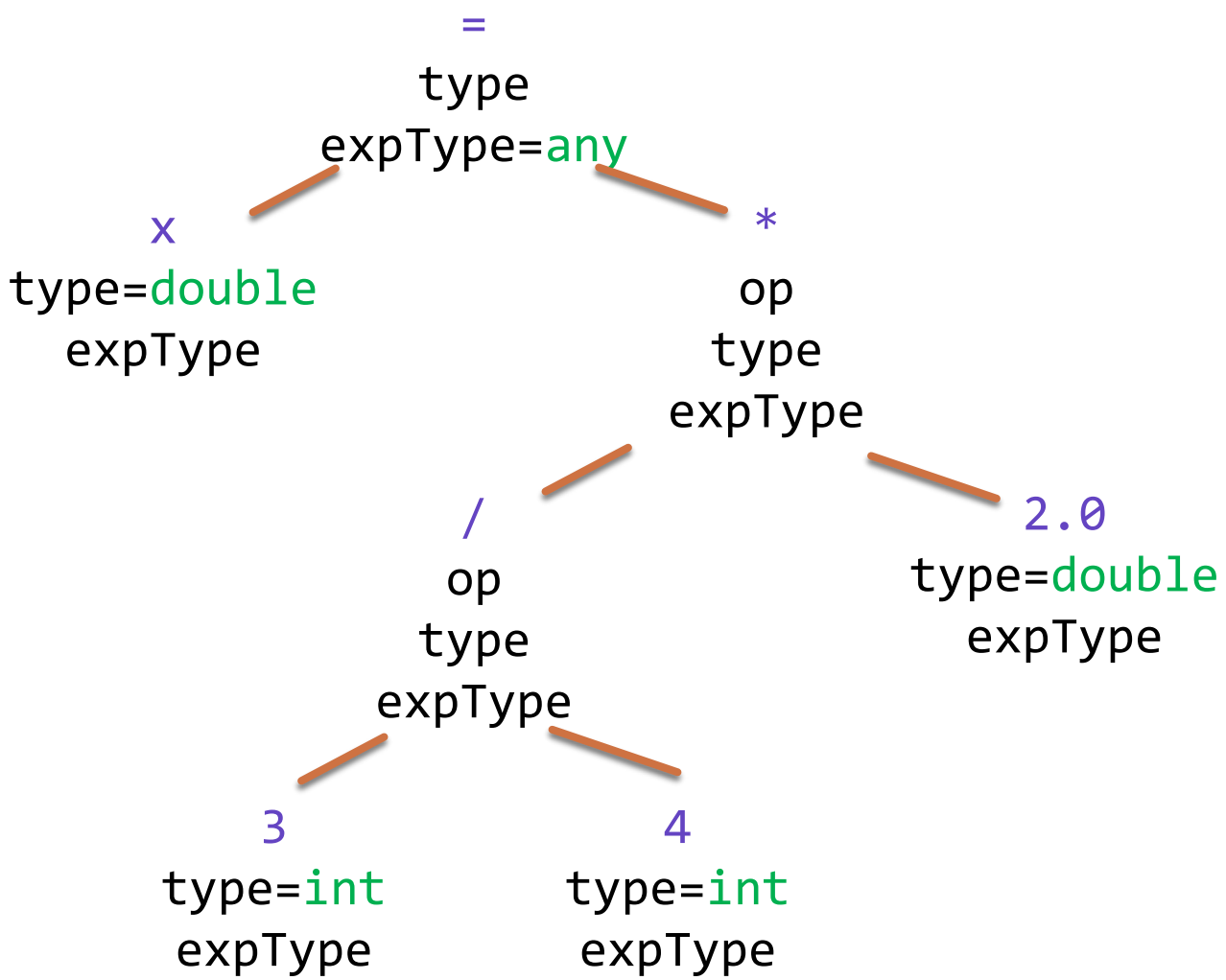
- 1. operandusok típusának meghatározása
- 2. szóba jöhető operátordefiníciók összegyűjtése
- 3. a definíciók közül a leginkább megfelelő kiválasztása
  - > hibajelzés: ha nincs illeszkedő definíció, vagy több alternatíva is illeszkedik
- 4. operandusok elvárt típusának meghatározása
- 5. tényleges típusok és elvárt típusok kompatibilitásának vizsgálata
  - > hibajelzés: inkompatibilitás esetén

- Függvénytúlterhelés feloldása hasonló:
  - > operandus -> argumentum
  - > operátor -> függvény

Példa: operátor kiválasztása

Utasítás:

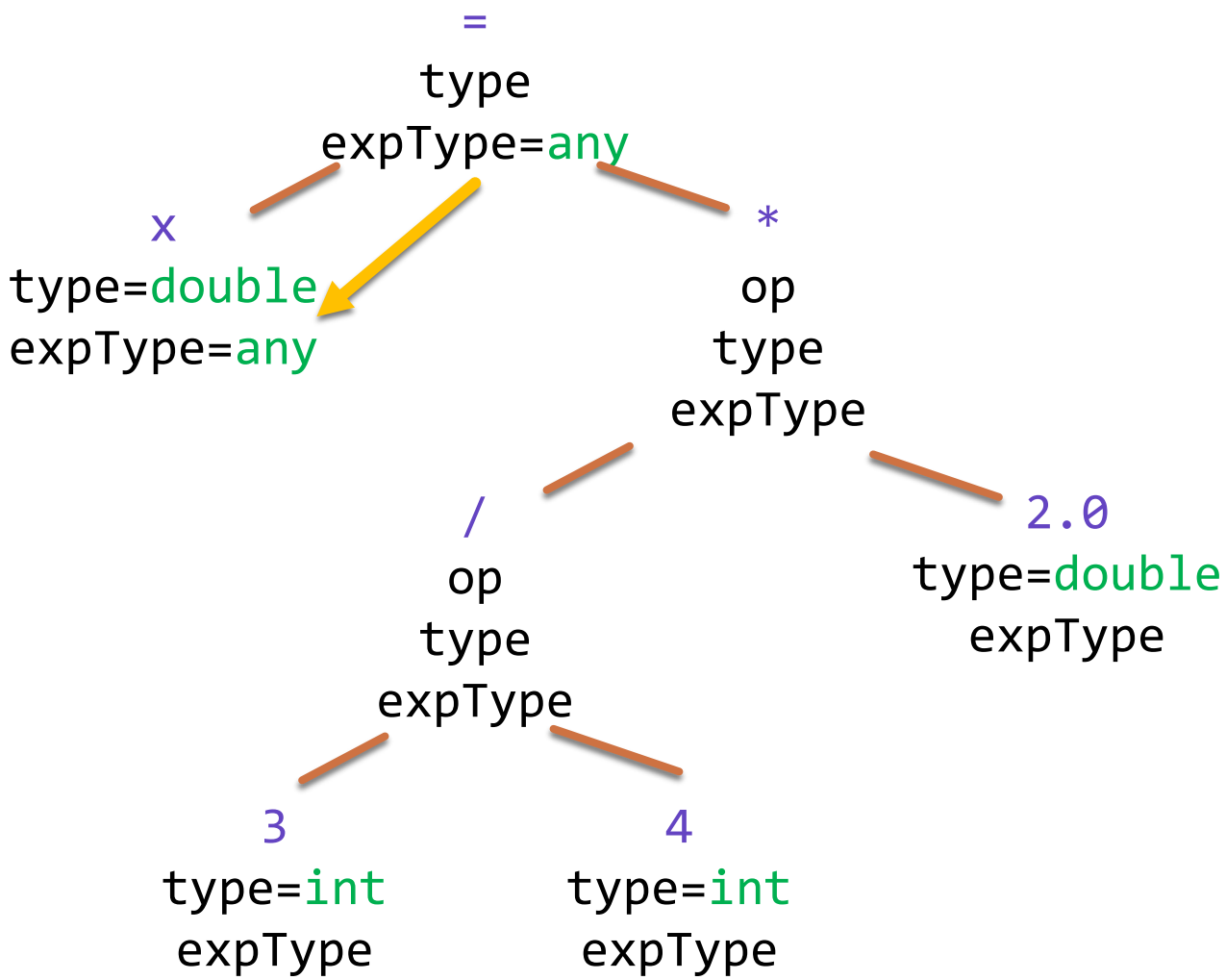
```
double x = 3/4*2.0;
```



Példa: operátor kiválasztása

Utasítás:

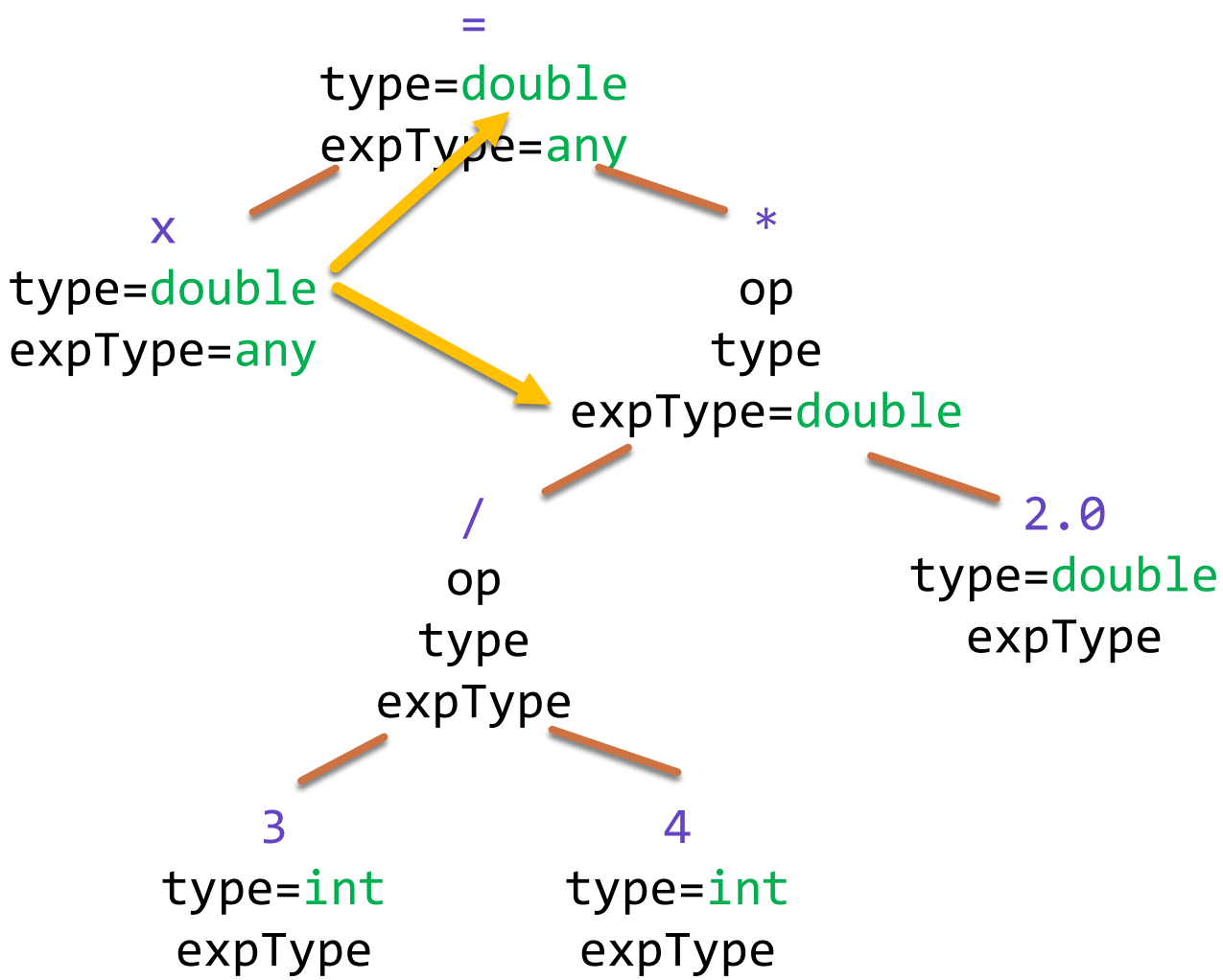
```
double x = 3/4*2.0;
```



Példa: operátor kiválasztása

Utasítás:

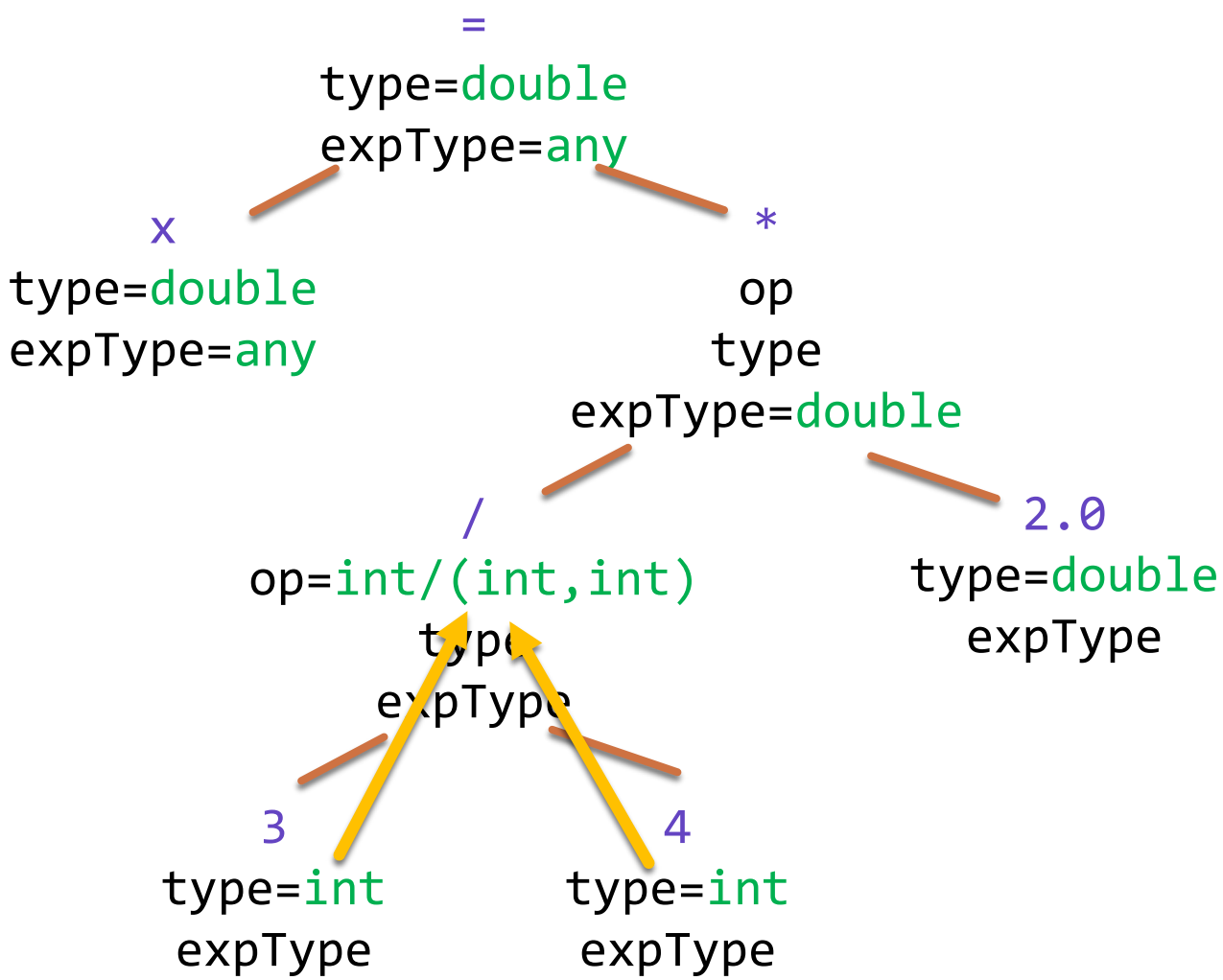
```
double x = 3/4*2.0;
```



Példa: operátor kiválasztása

Utasítás:

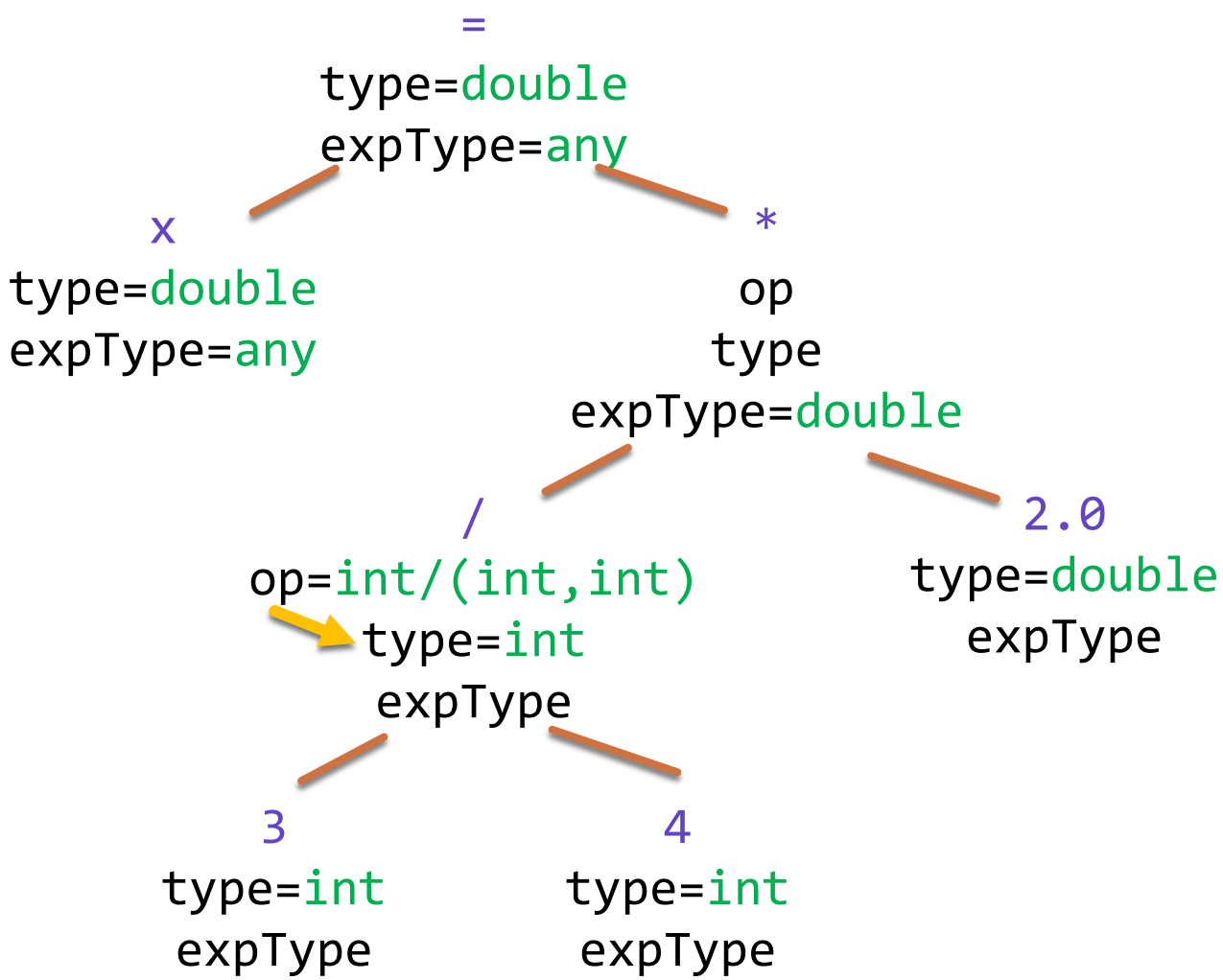
```
double x = 3/4*2.0;
```



Példa: operátor kiválasztása

Utasítás:

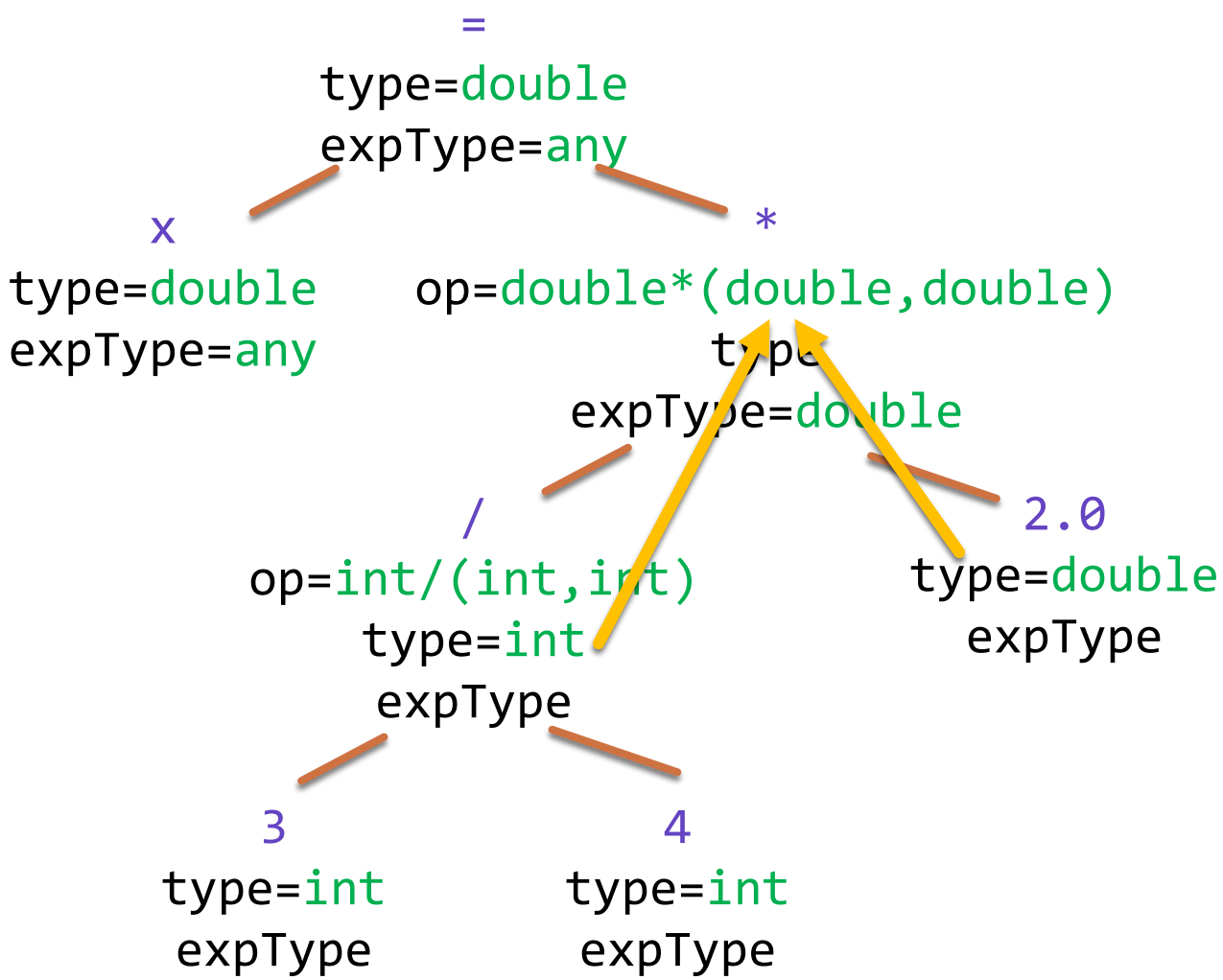
```
double x = 3/4*2.0;
```



Példa: operátor kiválasztása

Utasítás:

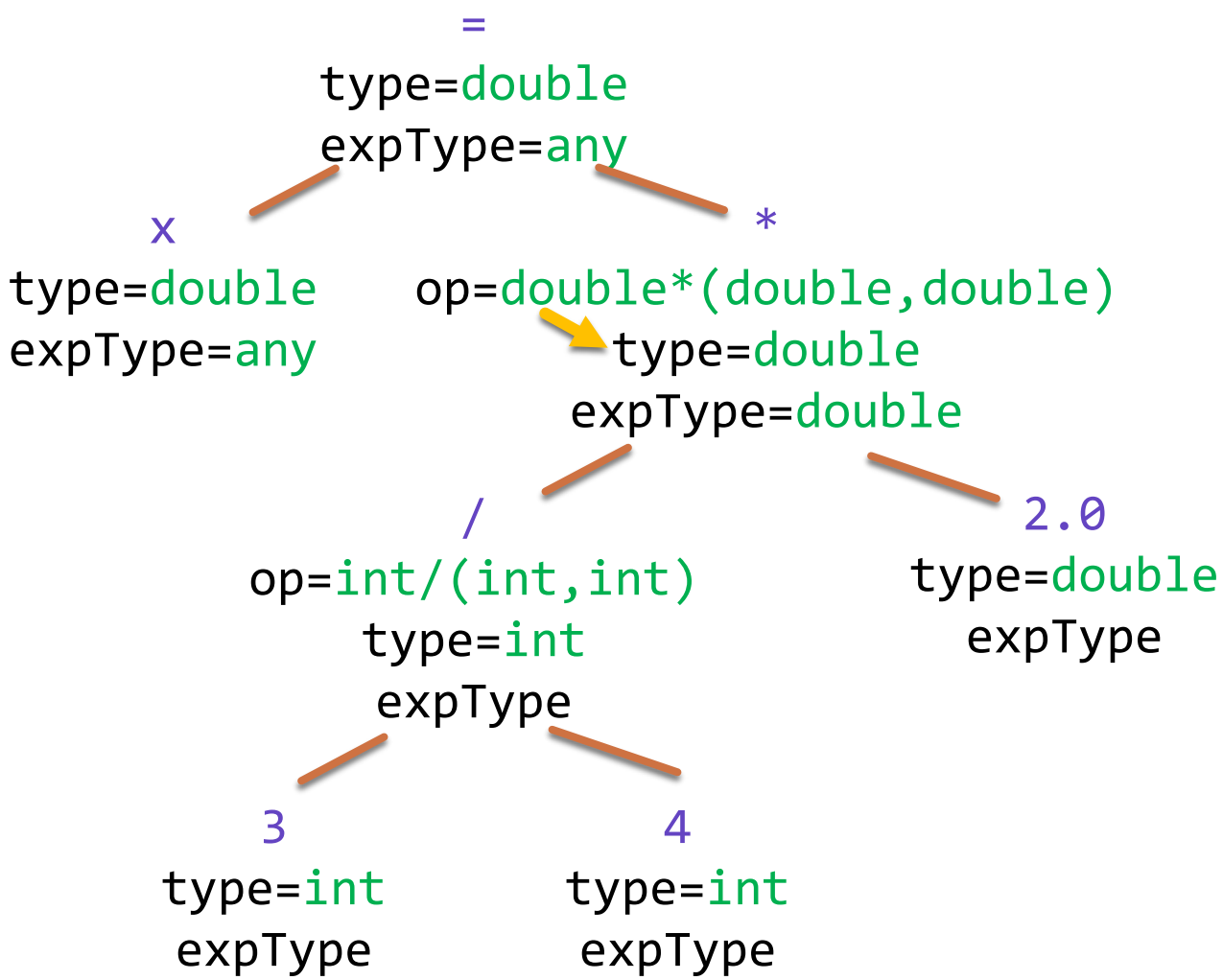
```
double x = 3/4*2.0;
```



Példa: operátor kiválasztása

Utasítás:

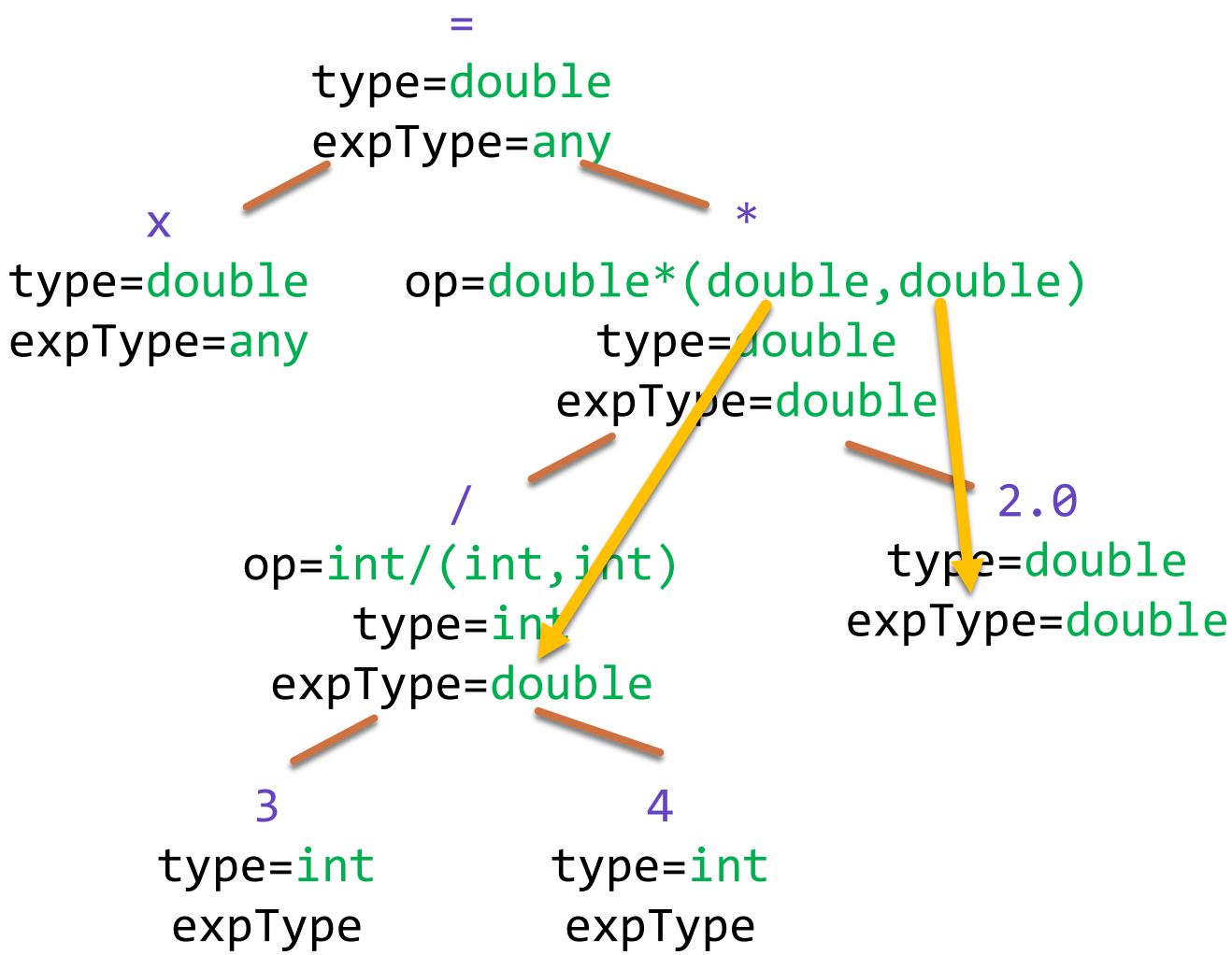
```
double x = 3/4*2.0;
```



Példa: operátor kiválasztása

Utasítás:

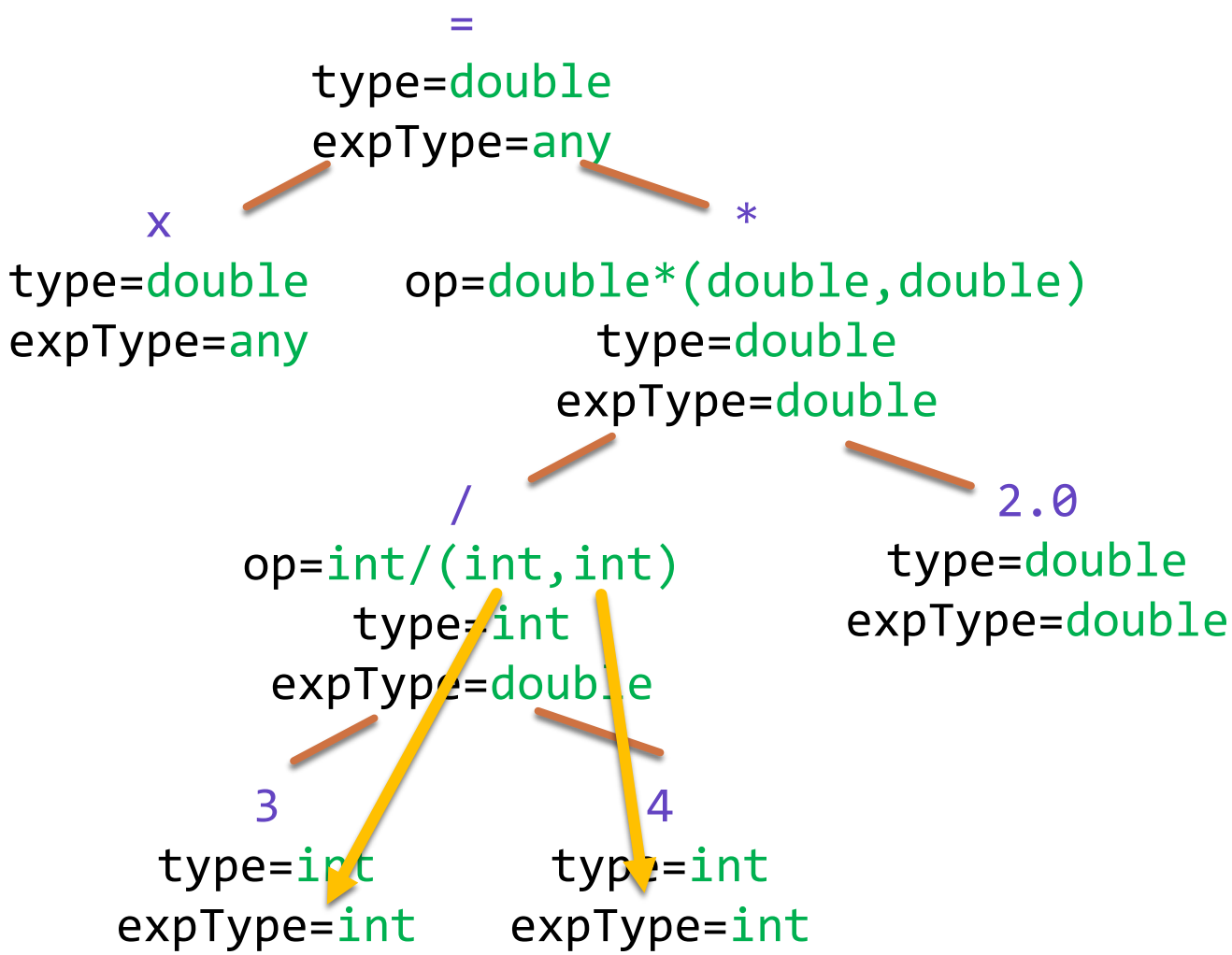
```
double x = 3/4*2.0;
```



Példa: operátor kiválasztása

Utasítás:

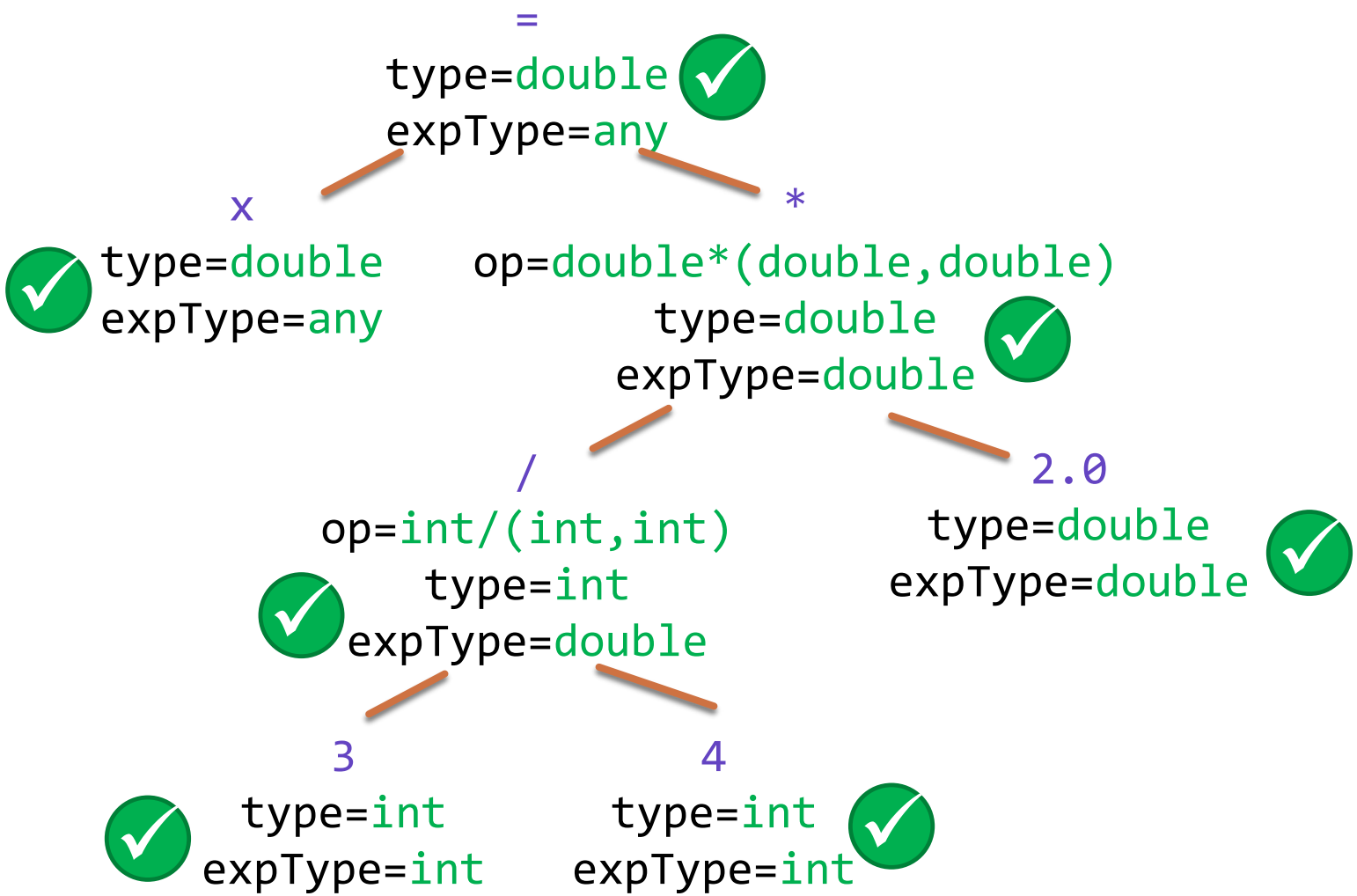
```
double x = 3/4*2.0;
```



Példa: operátor kiválasztása

Utasítás:

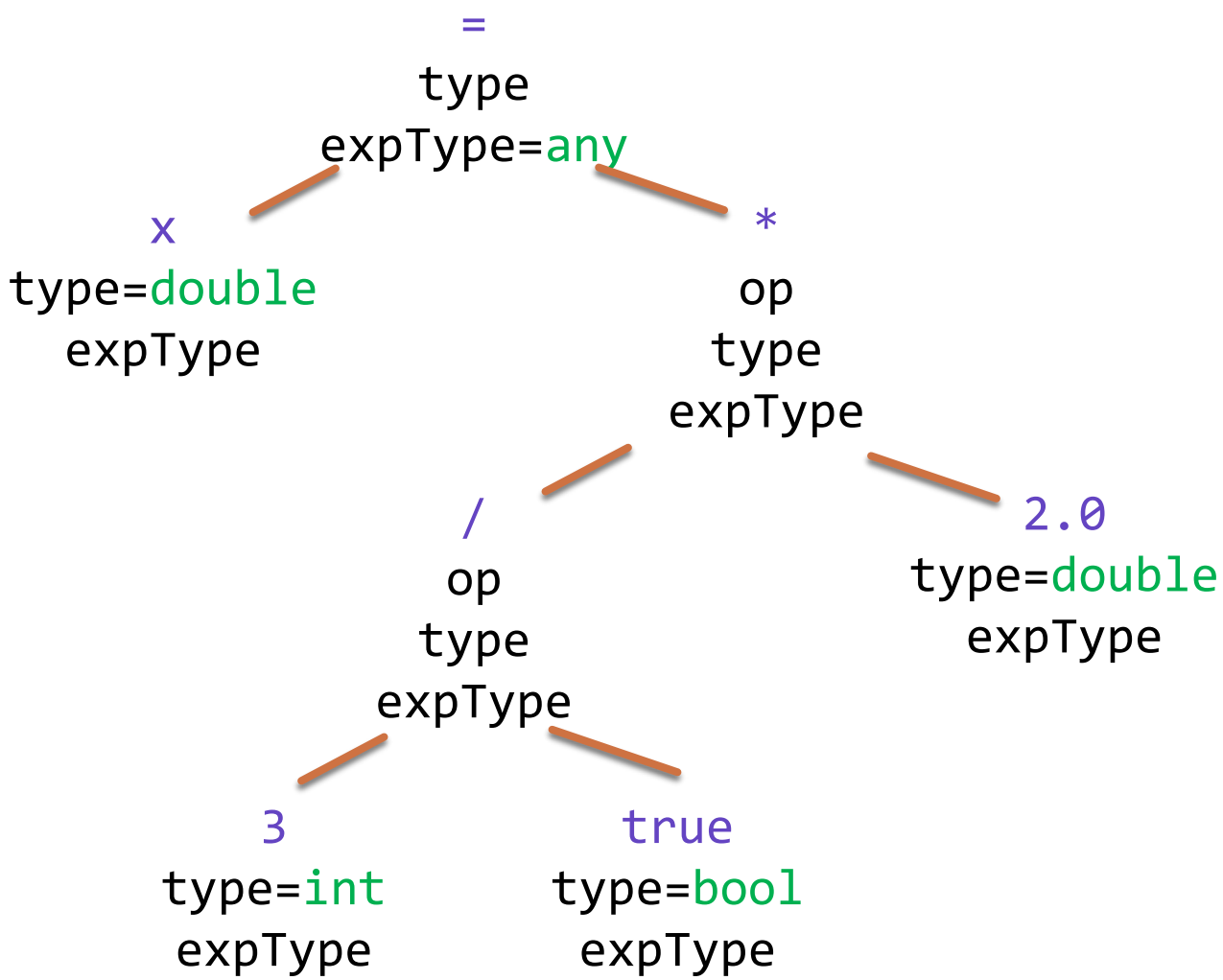
```
double x = 3/4*2.0;
```



Példa: típushiba

Utasítás:

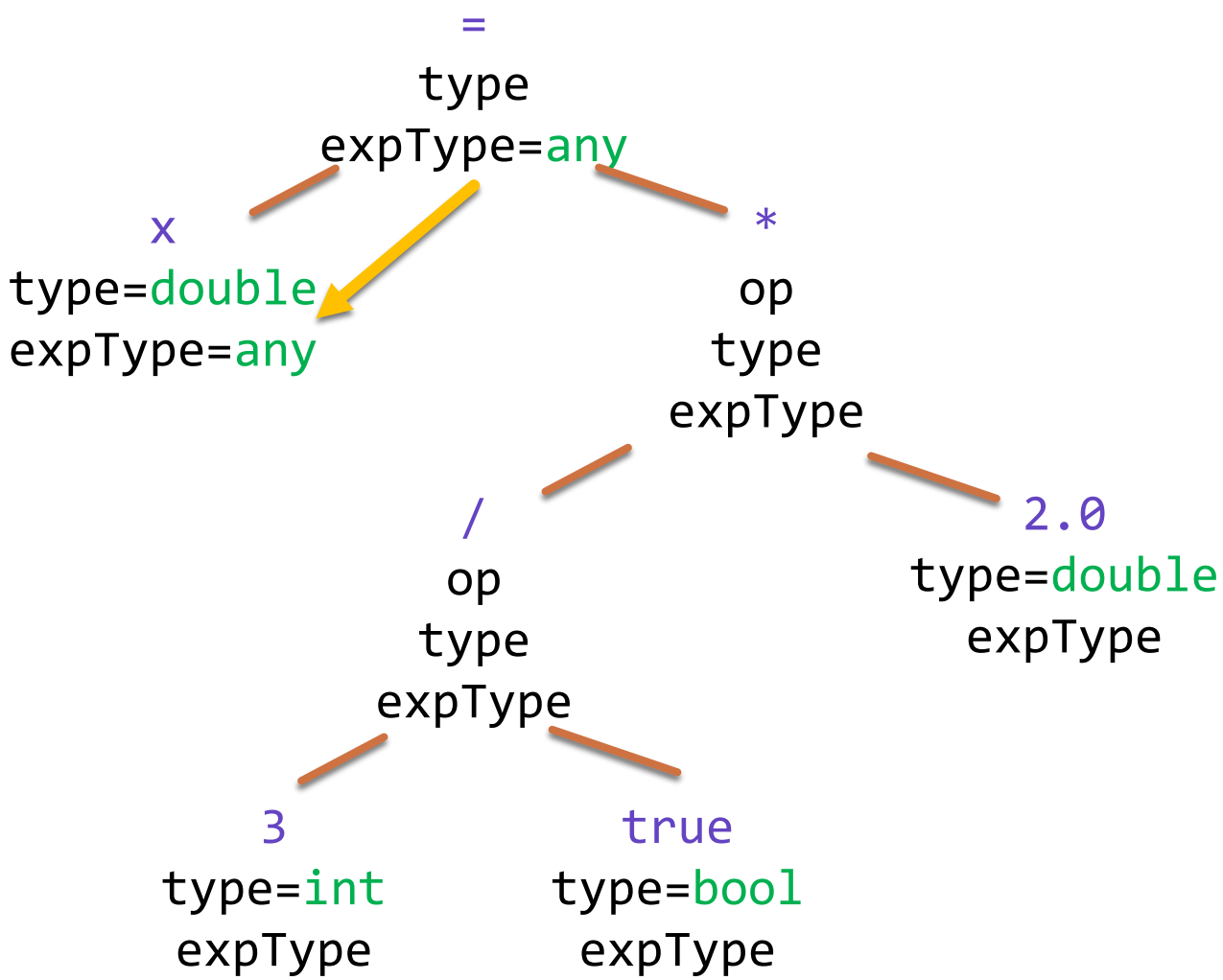
```
double x = 3/true*2.0;
```



Példa: típushiba

Utasítás:

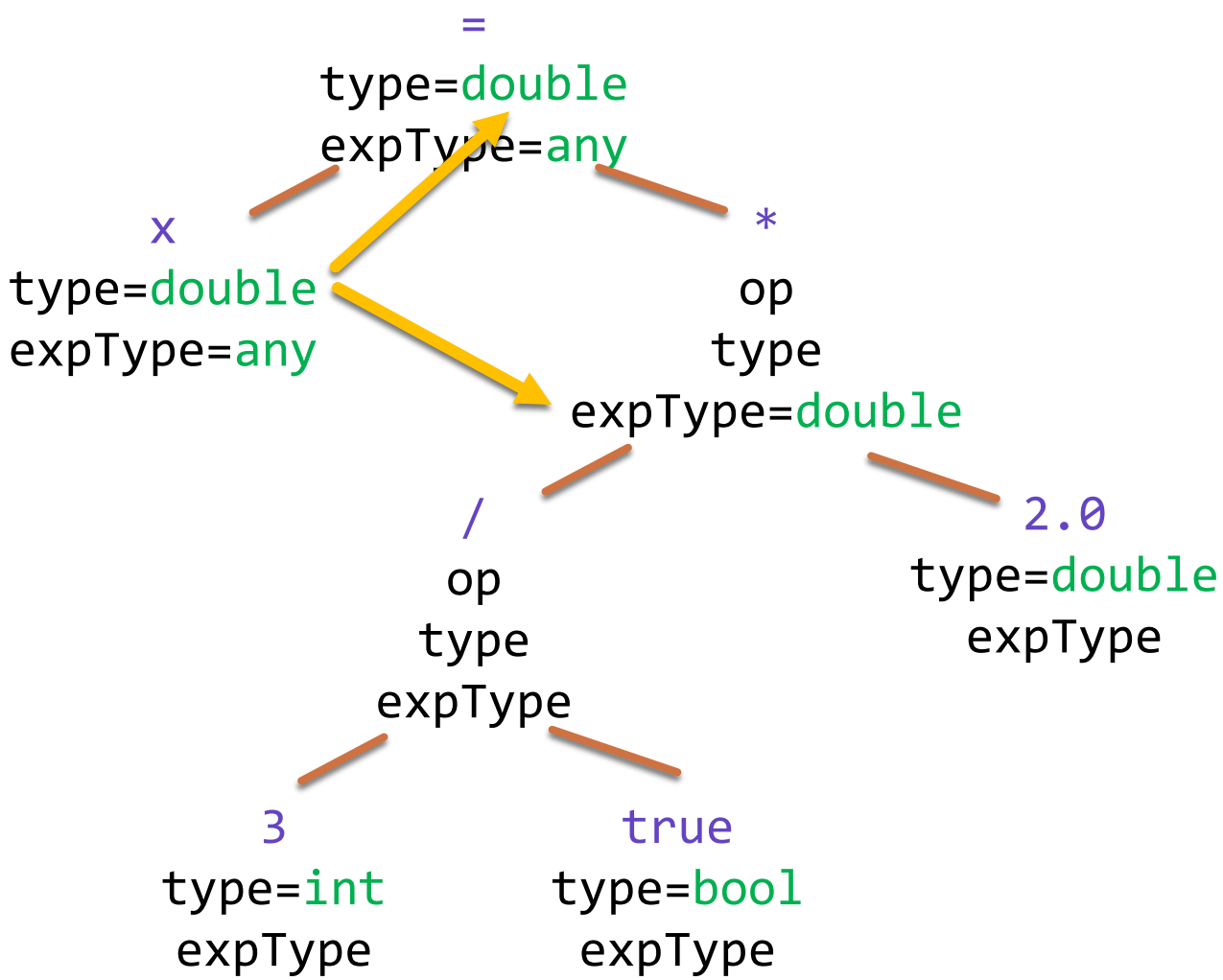
```
double x = 3/true*2.0;
```



Példa: típushiba

Utasítás:

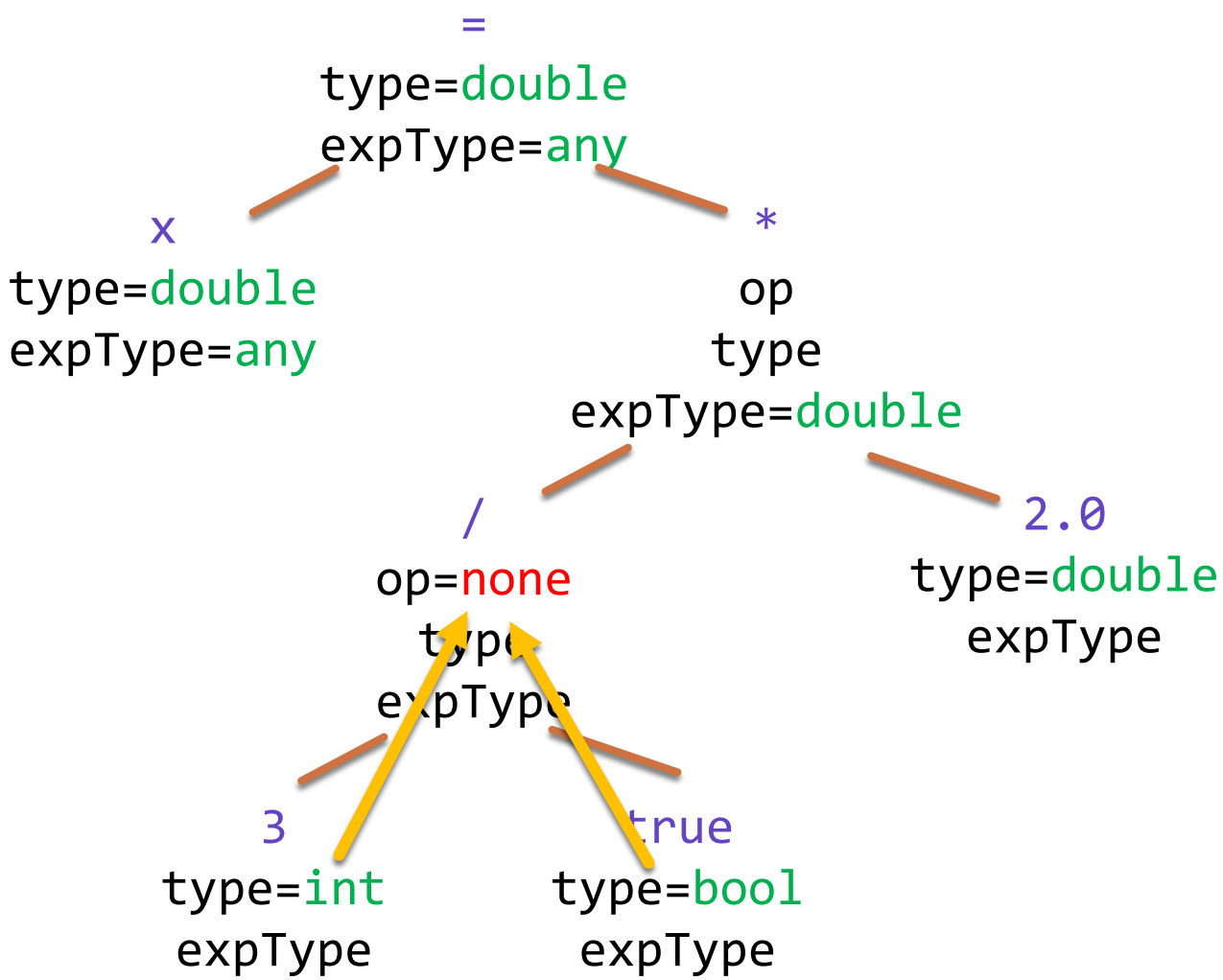
```
double x = 3/true*2.0;
```



Példa: típushiba

Utasítás:

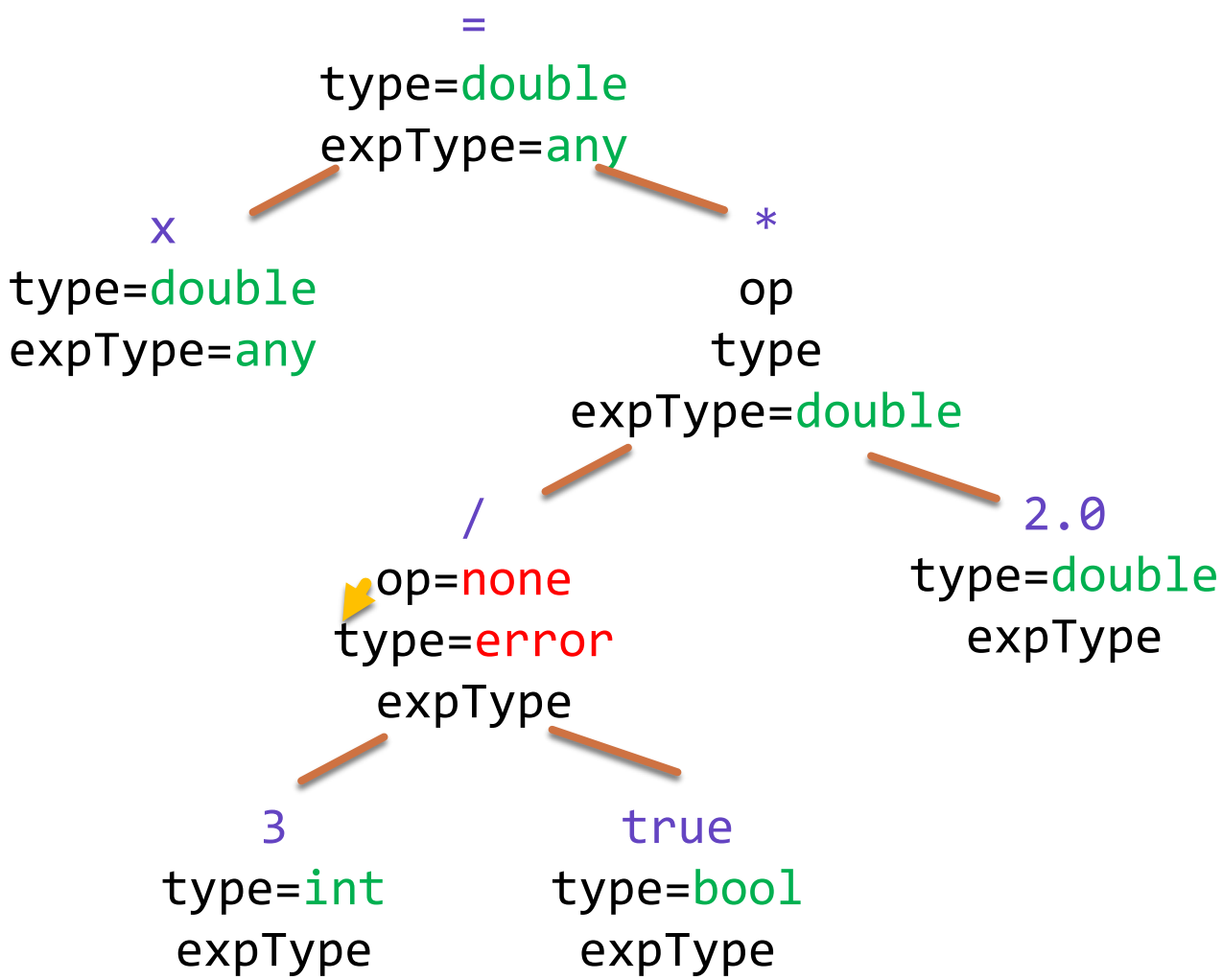
```
double x = 3/true*2.0;
```



Példa: típushiba

Utasítás:

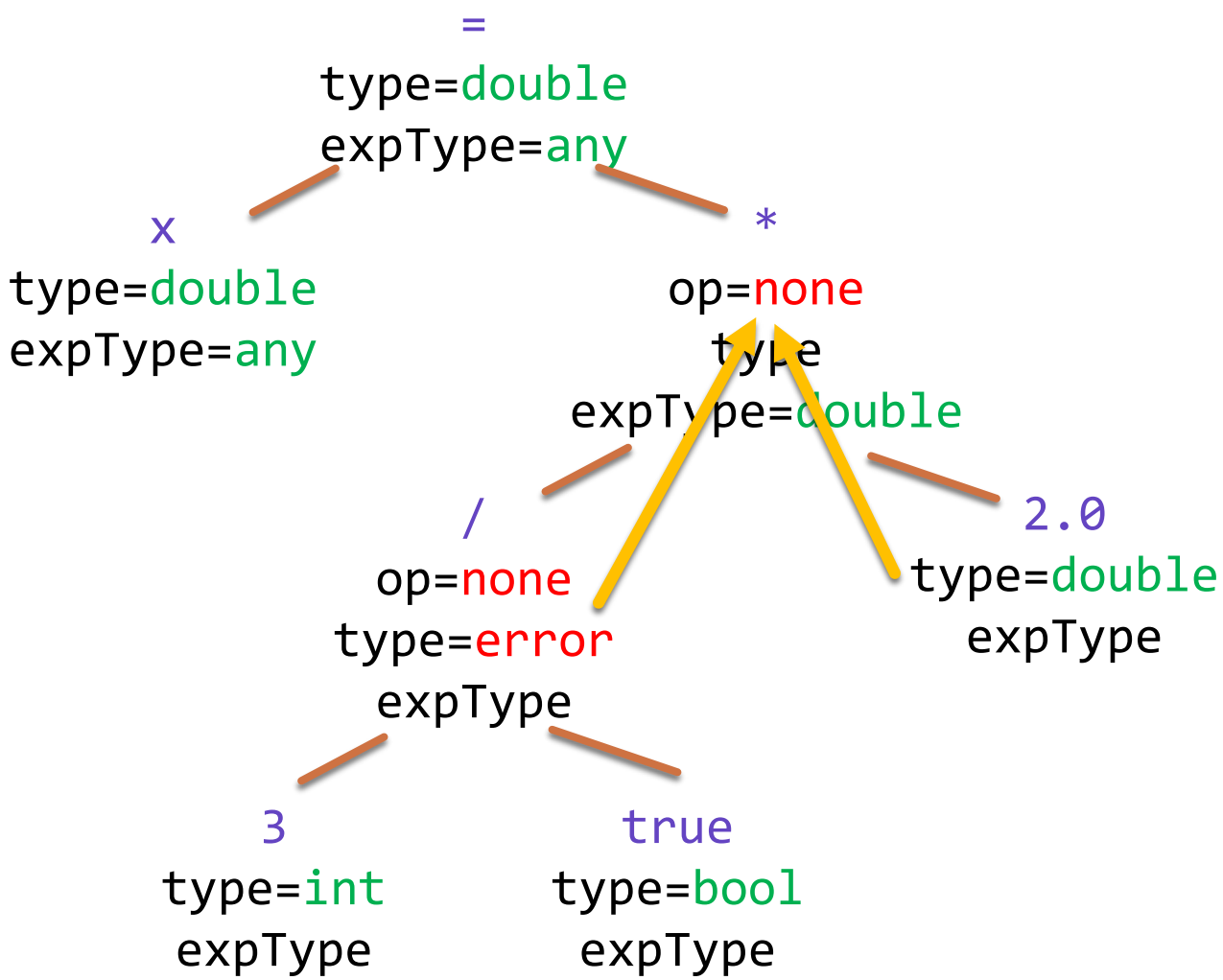
```
double x = 3/true*2.0;
```



Példa: típushiba

Utasítás:

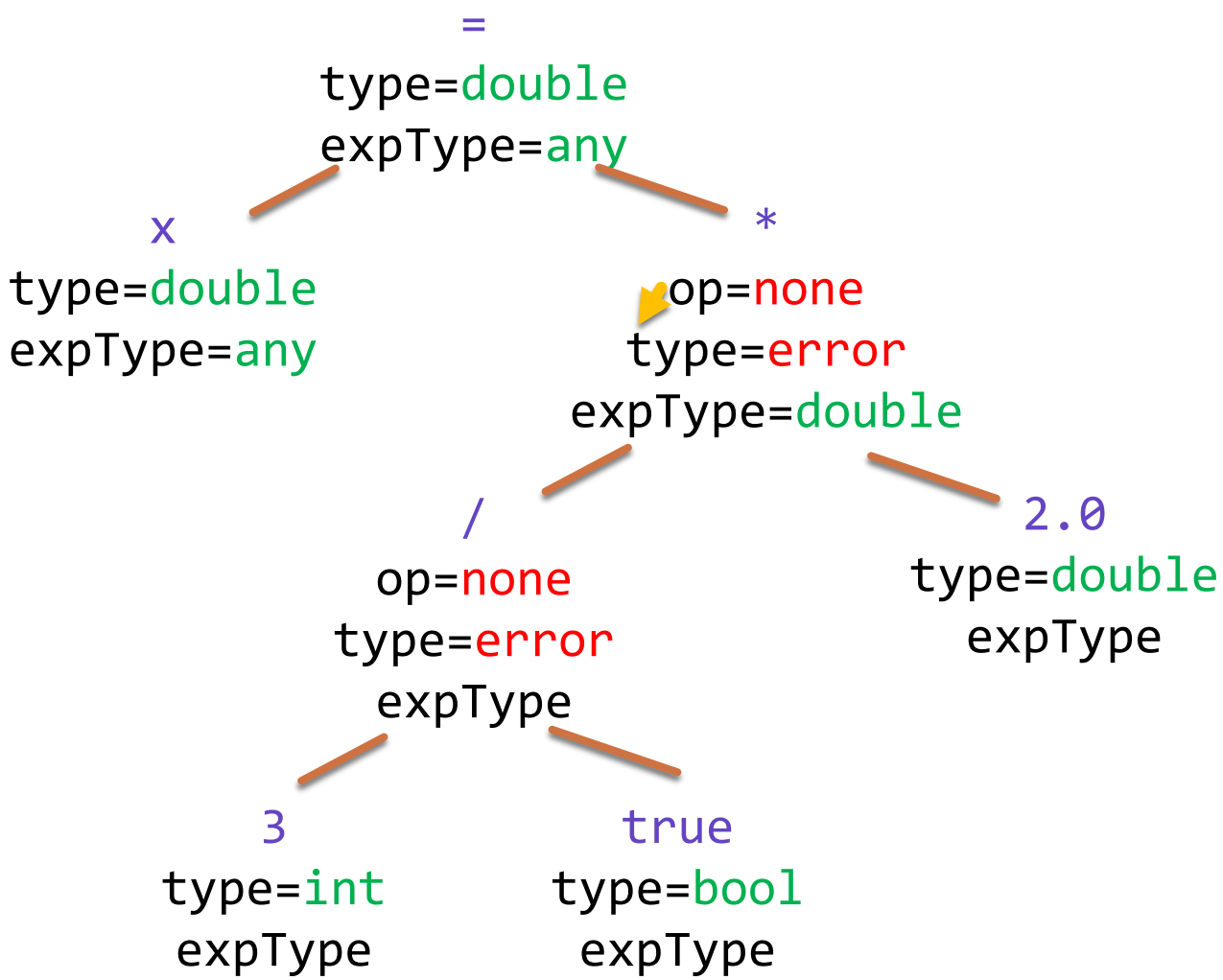
```
double x = 3/true*2.0;
```



Példa: típushiba

Utasítás:

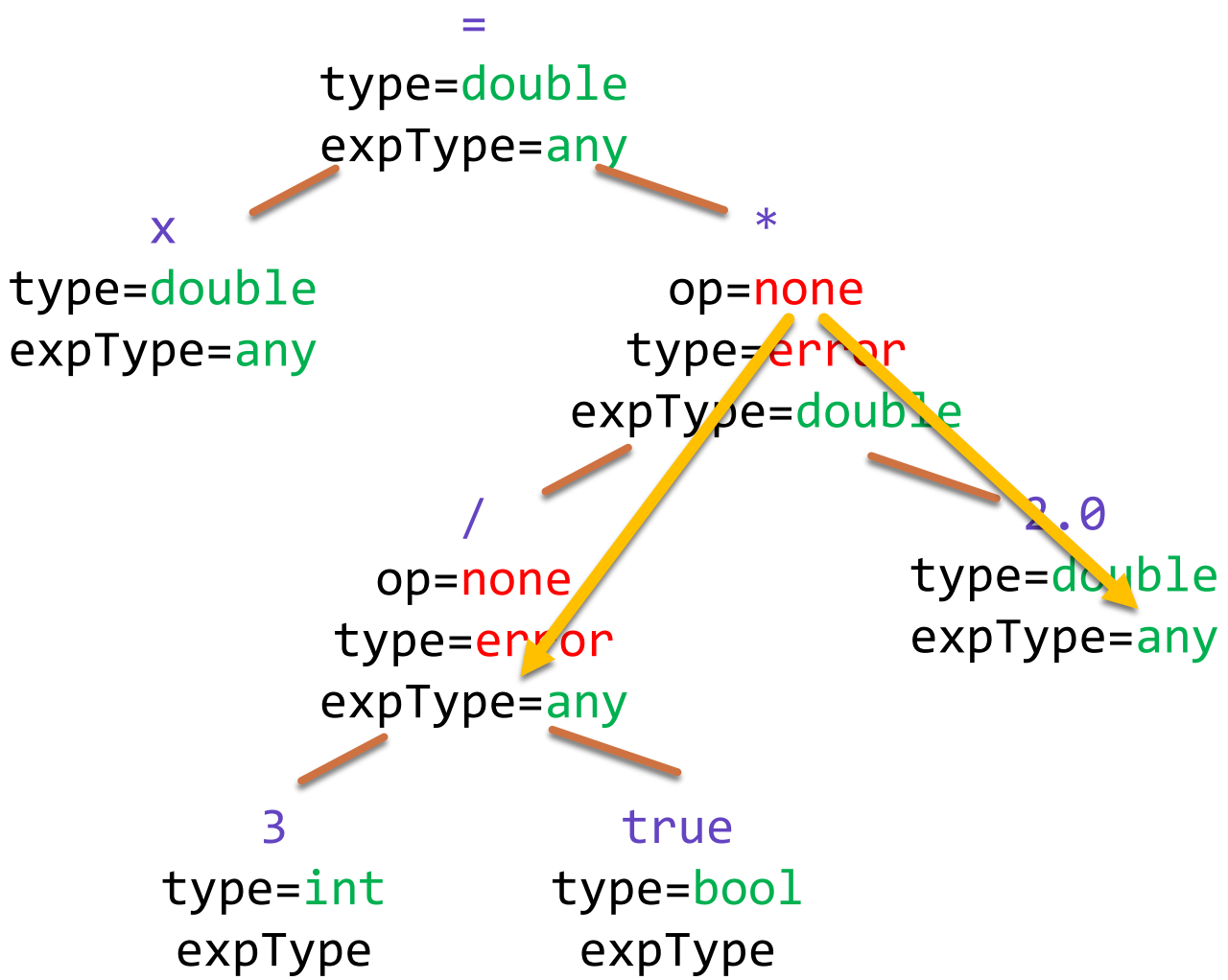
```
double x = 3/true*2.0;
```



Példa: típushiba

Utasítás:

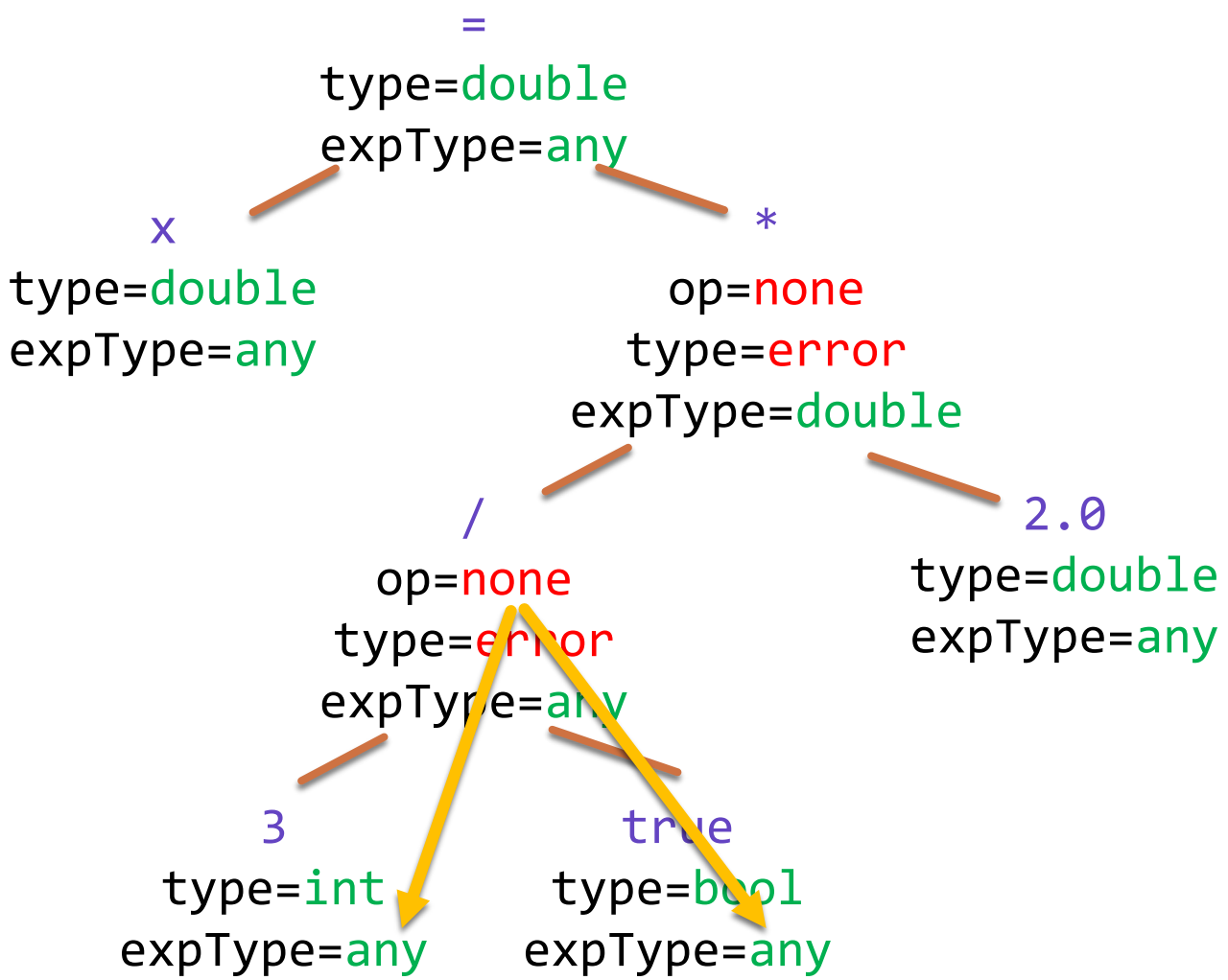
```
double x = 3/true*2.0;
```



Példa: típushiba

Utasítás:

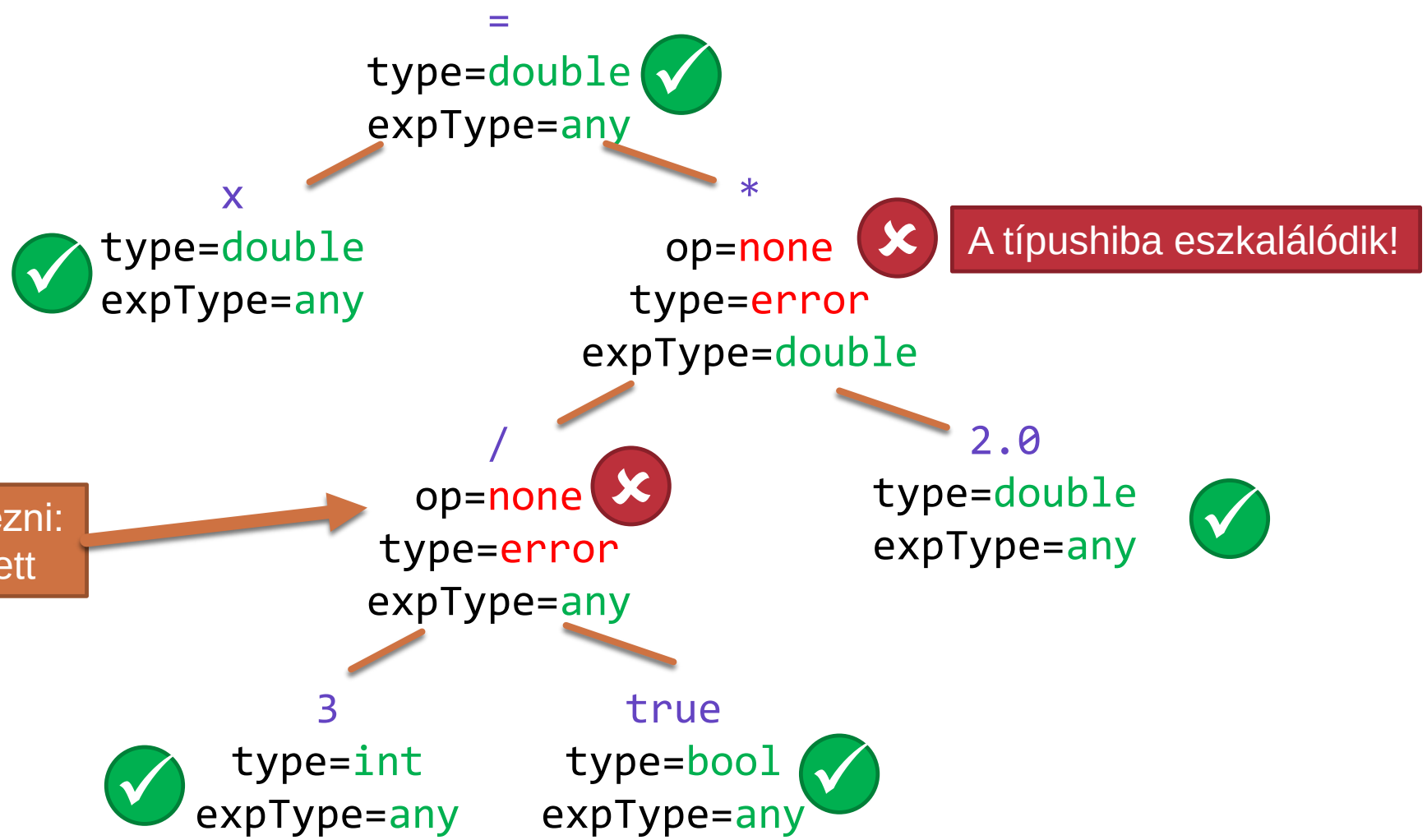
```
double x = 3/true*2.0;
```



Példa: típushiba

Utasítás:

```
double x = 3/true*2.0;
```



Elegendő csak egy helyen jelezni: ahol a kiindulási hiba keletkezett

A mai előadás: Szemantikai elemzés

I. Szemantikai elemzés

II. Attribútumnyelvtanok

III. Névelemzés

IV. Típuselemzés

V. Egyéb nyelvi szabályok

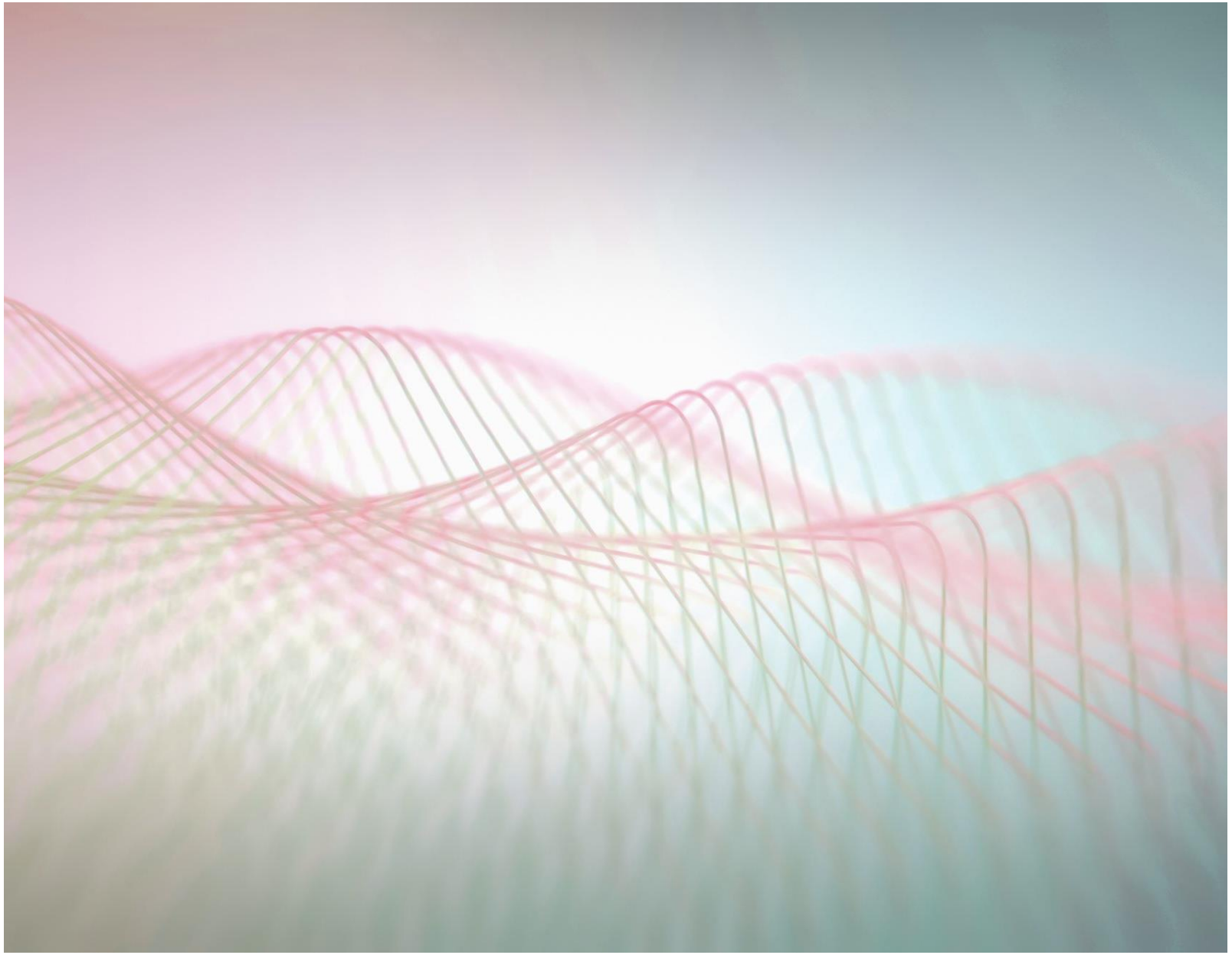
Egyéb nyelvi szabályok

- Adott programnyelvre specifikusak
- Példák:
  - láthatóság (`private`, `protected`, `public`, stb.)
  - virtuális függvények (`abstract`, `virtual`, `override`, `sealed`, stb.)
  - interfész implementációja, többszörös öröklődés (multiple inheritance)
  - `this`, `base`, `super` kulcsszavak
  - memóriakezelés
  - tömbök
  - nullable típusok
  - generikus típusok (generic types)
  - típuskikövetkeztetés (type inference)
  - dinamikus típusellenőrzés (dynamic type checking)

Szemantikai elemzés összefoglalás

- Attribútum nyelvtanok
- Szimbólumtábla
- Névelemzés
- Típuselemzés
- Operátorok azonosítása
- Konzisztencia-ellenőrzés
- Egyéb nyelvi szabályok

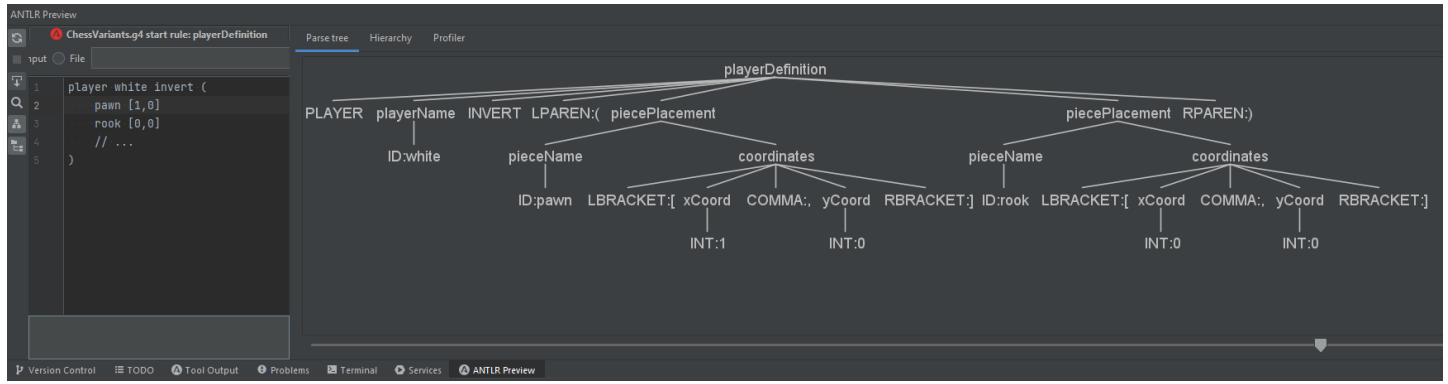
Ha a szintaktikai és a szemantikai elemző nem talál hibát:
a programkód megfelel a nyelvi specifikációnak -> lefordítható!



Harmadik gyakorlat

A következő rész tartalmából…

- Témakör: Szöveges szakterületi nyelvek a gyakorlatban
- ANTLR4 – Another Tool for Language Recognition
  - https://www.antlr.org/download.html
- IntelliJ IDEA környezetben – Java nyelv
  - Más környezet is lehetne, az ANTLR több célnyelvet támogat!
- Sakkvariánsokat leíró nyelv elkészítése
  - Prototípus
  - Nyelvkészítés a nulláról



Köszönöm a figyelmet!