Eötvös Loránd Tudományegyetem

Informatikai Kar

Programozási Nyelvek és Fordítóprogramok

Tanszék

Táblázatkezelő szoftver implementálása Haskell nyelven

Supervisor:
Dr. Kaposi Ambrus
egyetemi docens

Author:
Széles Márk
programtervező informatikus BSc

Budapest, 2021

This page should be the original Thesis Topic Declaration.

Tartalomjegyzék

fejezet 1

Bevezetés

Ha indokolni szeretnénk egy új táblázatkezelő szoftver elkészítésének létjogosultságát, két kérdésre kell választ adnunk:

1. Milyen funkciókat kell ellátnia egy táblázatkezelő szoftvernek?
2. Mi az, ami hiányzik a jelenleg elterjedt szoftverekből? (Pl. Microsoft Excel)

Az első kérdésre talán az a legegyszerűbb válasz, hogy egy táblázatkezelő lehetőséget ad adatok tárolására és a bevitt adataink alapján újabb adatok kiszámítására. Ez a valóságban számtalan alkalmazási lehetőséget jelent. Az Excel-lel például lehet színes, táblázatos formájú órarendet készíteni, egy gyakorlati csoport eredményeit számontartani, családi költségvetést vezetni, stb.

Egy táblázatkezelőben minden cella tartalma egy funkcionális program. Egy cellába írhatunk egy egyszerű kifejezést (adat), vagy egy összetettebb programot, ami korábbi adatok függvényében számít ki egy új adatot. A táblázatkezelő tehát nem más, mint egy könnyen használható interfész a háttérben meghúzódó funkcionális nyelvhez. Ennek a nyelvnek az intuitív használatát számos funkció segíti. Lehetővé válik az összetett program komponensekre bontása, és az egyes komponensek eredményeinek hatékony vizualiuációja.

Ha tekintjük napjaink legnépszerűbb táblázatkezelő szoftverét, az Excel-t, azt láthatjuk, hogy a fent leírt feladatot kiválóan ellátja. Bővelkedik megjelenítéssel kapcsolatos opciókban, a felhasználói felület használata intuitív, az elérhető dokumentáció közérthető. Fő hiányosságát nem is ebben látom, hanem az általa használt programozási nyelvben. Az Excel-ben a szoftver saját programozási nyelvét használhatjuk, aminek bővítésére a VBA programnyelv használatával van lehetőség. *(refe-*

rencia?) Ez azonban nem a legkényelmesebb megoldás, nehézkes egy összetettebb számítási funkciót hozzáadni az eszköztárunkhoz.

Ezen probléma megoldására teszek kísérletet dolgozatomban. Egy olyan táblázatkezelő szoftvert készítettem el, aminek a celláiba – a táblázatkezelő funkciók megfelelő ellátása érdekében kissé kiegészített – Haskell nyelven lehet programokat írni. Így a felhasználó rendelkezéysére áll egy általános célú programnyelv teljes eszköztára.

fejezet 2

Felhasználói dokumentáció

2.1 Rendszerkövetelmények

A program futtatásához szükséges, hogy a *pgrep* program telepítve legyen, és a helye hozzá legyen adva a *PATH*-hoz. Ez Ubuntu 20.04 LTS operációs rendszer esetén alapértelmezett.

2.2 Telepítés és indítás

A program fordításához az alábbiakra van szükség:

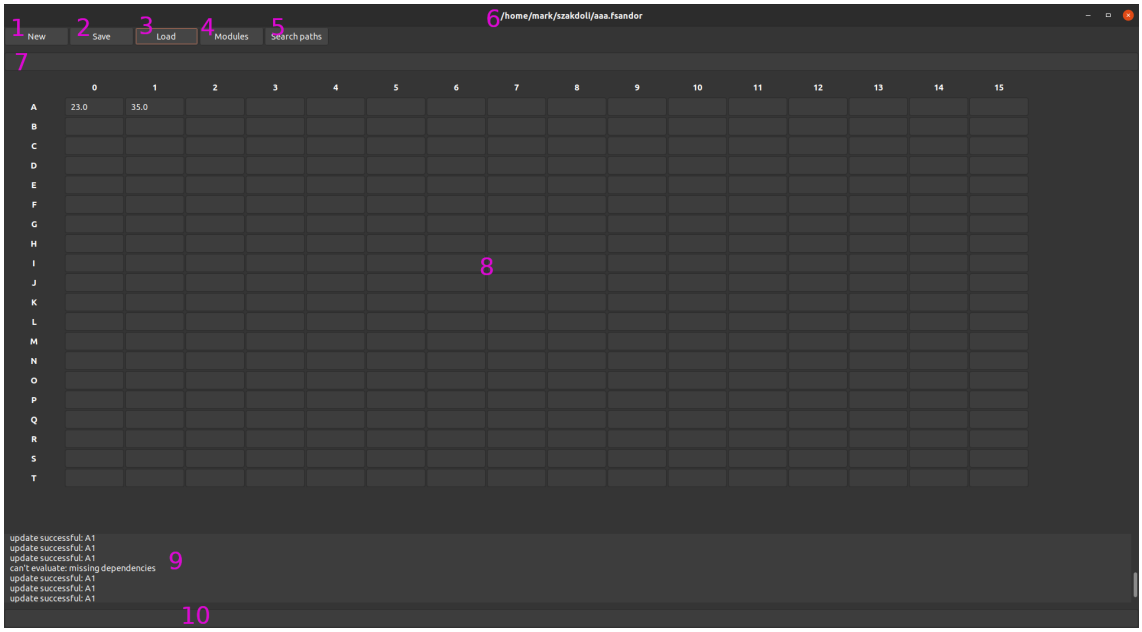
1. GHC, legalább 8.6.5 verzió (valószínűleg korábbiakra is működik)
2. Haskell csomagok: *base, cereal, fgl, ghcid, gtk2hs, microlens-platform, parsec, split, unliftio*, illetve ezen csomagok függőségei.

A fentiek megléte esetén a program az alábbi paranccsal fordítható:

ghc Main.hs -o insertNameHere

insertNameHere helyére írható a futtatható állomány kívánt neve. Az alkalmazás az így kapott futtatható állomány futtatásával indítható el. Fontos, hogy az *Empty.hs* fájl a futtatható állománnyal egy mappában helyezkedjék el, hogy a kiértékelés az ezen dokumentációban leírt módon működjék. **EZ AM FULL GÁZ, KONFIGURÁLHATÓVÁ KÉNE TENNI.**

2.3 A felhasználói felület áttekintése



ábra 2.1: A felhasználói felület

1. Ezzel a gombbal lehet új számolótáblát létrehozni. Ekkor a számolótábla üres lesz. Billentyűkombináció: Alt-N.
2. Ezzel a gombbal lehet elmenteni a számolótábla aktuális állapotát. A fájl az alkalmazás saját *.fsandor* kiterjesztésében kerül mentésre. Ha a tábla még nem volt mentve, felugrik egy dialógus, ahol meg lehet adni a mentés útvonalát. Ha már be van töltve egy fájl, a mentés frissíti a mentett fájl tartalmát. Billentyűkombináció: Alt-S.
3. Ezzel a gombbal lehet fájlt betölteni. Billentyűkombináció: Alt-L.
4. Ezzel a menüponttal lehet beállítani a háttérben futó GHCi-be betöltendő modulok listáját. A felugró szövegmező minden sora egy modult jelent. **KELL ÁBRA?**
5. Ezzel a menüponttal lehet beállítani, hogy az alapértelmezett útvonalakon kívül hol keresse a GHCi a betöltendő modulokat. Minden sor egy elérési útvonalat jelent. Az elérési útvonal lehet abszolút (ez utóbbi a javasolt) vagy relatív a futtatható állomány helyéhez képest.
6. A betöltött fájl neve. Ha épp nincs elmentve a számolótábla, a "*new file" szöveg jelenik meg. Ha a betöltött fájl neve előtt szerepel egy "*", az azt

jelenti, hogy a legutóbbi mentés óta történt módosítás.

7. Kódszerkesztő. Ebbe a sorba lehet kódot írni az aktuálisan kijelölt cellához. A kijelölt cella az a cella, amelyre a felhasználó legutóbb kattintott. A beírt kód akkor kerül kiértékelésre, ha a felhasználó egy másik elemre kattint vagy leüti az entert.
8. A számolótábla. A cellába beírt kód akkor kerül kiértékelésre, ha a felhasználó egy másik elemre kattint vagy leüti az entert.
9. A log mutatja a végrehajtott akciók (pl. cella kódjának átírása, GHCi query eredménye) eredményét. Jobb oldalt görgethető.
10. Az alkalmazáshoz tartozó parancssor. A beírt parancs akkor kerül kiértékelésre, ha a felhasználó leüti az entert.

2.4 Cellák és kiértékelés

2.4.1 A kifejezések

Egy cella tartalma négyféle lehet: üres cella, szám, szöveg vagy formula. A cellába beírt kifejezés pontosan akkor formula, ha az első (nem szóköz) karaktere "=". Amennyiben az első (nem szóköz) karakter nem "=", és a beírt szöveg értelmezhető tizedestörtként, annyiban a cella tartalma számként kerül értelmezésre. Minden más esetben a cella tartalma egy string. Példák:

1. Szám: "0.12", "-11", "-12.", ".123"
2. Formula: " =sum [1..10]", "= §a0§+sumD §a2:b4§"
3. String: "alma", ".12aa"

A formulákba lehetséges cellahivatkozásokat írni. Kétféle cellahivatkozás létezik:

1. Egyszerű hivatkozás. Pl: §a0§,§B1§.
2. Listahivatkozás. Pl: §a0:B4§.

A cellahivatkozások nem kisbetű-nagybetű érzékenyek.

A formula összes többi része Haskell kódként kerül értelmezésre. A típushelyesség a kiértékelés során kerül ellenőrzésre.

2.4.2 A futásidejű reprezentáció

Egy cella futásidejű reprezentációja egy *Maybe a* típusú érték. Az üres cella reprezentációja *Nothing*, a nemüres cella reprezentációja *Just val*, ahol *val* a cellába beírt string/szám. A kiszámított értékek is mindig Just-ba wrappelődnek, hogy y a GHCi továbbszámolhasson velük. Az értékek visszaolvasásakor ez a háttérben egy *fromJust* hívással unwrappelődik. Egész szám esetén a kódgeneráló algoritmus figyel arra, hogy olyan literált generáljon a cellaértékből, ami értelmezhető egész típusúként (azaz ilyenkor levágja a tizedesrészt).

A cellahivatkozások feloldását példákon keresztül mutatjuk be. Bal oldalt található a hivatkozás, jobb oldalt a generált kód.

1. *§a0§* → *fromJust v0*
2. §a0:a3§ → *[v0,v2,v5,v10]*
3. *§a1:b0§* → *[]*

A cellahivatkozások feloldásakor a cellákhoz egy $\mathbb{N} \times \mathbb{N} \to \mathbb{N}$ bijekción keresztül egy azonosító kerül hozzárendelésre (innen származnak a kódban írt *vi* változónevek. A függvény definíciója megtalálható a fejlesztői dokumentációban.

A fentiek alapján *a* típusú cellára mutató egyszerű hivatkozás ugyanúgy használható, mint egy *a* típusú érték. Az üres cellára való egyszerű hivatkozás hibát okoz. Példák (beírt kód és generált kód):

1. A0 kódja: *"12.0"*, B1 kódja: *"=§a0§+11"* → B1 értékét kiszámító Haskell kód: *v3 = Just $ fromJust (Just 12) + 11*
2. A0 kódja : *""* B1 kódja: *"=§a0§+11"* → B1 értékét kiszámító (hibát eredményező): *v3 = Just $ fromJust Nothing + 11*

A listahivatkozások feloldásakor azonban a lista elemei *Maybe a* típusúak maradnak. Példa:

A0 kódja: *"12"*, A1 kódja: *"13"*, A2 kódja: *=sum §a0:a10* → A2 értékét kiszámító (típushibás) Haskell kód: *v5 = Just $ sum [Just 12, Just 13]*

Ez látszólag komoly problémákat eredményez, de az € operátor (lásd 2.5.3) egy könnyen használható megoldást ad a problémára.

2.4.3 Lehetséges hibák

Egy cella kódjának megváltoztatása után előfordulhatnak hibák, az alábbiakban ezek foglaltatnak össze:

1. Ha egy cella kódját nem sikerül parseolni, a cellában az "FNoParse" szöveg jelenik meg. Parseolási hiba csak formula esetén léphet fel, ha szerepel a kódban '§' karakter, de nem egy értelmes hivatkozás részeként. Példák: "=§a§", "=a1§". A Haskell szintaxis helyessége csak a kiértékelés során kerül elenőrzésre.
2. Ha a megváltoztatott cella olyan cellára hivatkozik, amely hibás (azaz nem nyerhető ki az értéke), akkor a cellában az "FNoCache" hibaüzenet jelenik meg.
3. Ha a kiértékelés során hiba történt (Haskell szintaxishiba/típushiba/futásidejű hiba), akkor a cellában az és leszármazott celláiban az "FGhciError" hibaüzenet jelenik meg.
4. Ha a cella kiértékelése egy másodpercnél tovább tart, a kiértékelés leáll, és a cellában az "FTimeoutError" szöveg jelenik meg. A leszármazott cellákban az "FGhciError" szöveg jelenik meg. Megjegyzés: a végtelen GHCi számítások terminálása nem működik teljesen megbízhatóan, így a legjobb tudatosan elkerülni az ilyen számítások futtatását. (A probléma részletes leírása megtalálható a 3.3.5 szakaszban.)

2.5 A standard könyvtár

2.5.1 Kombinátorok

A fentiekben már láttuk, hogy *a* típusú cellák listájának futásidejű reprezentációja egy *[Maybe a]* típusú érték. Ez a megoldás teszi lehetővé, hogy a program kezelni tudja az üres cellákat. A probléma, ami ilyenkor felmerül, hogy egy *[a] -> b* függvényt szeretnénk alkalmazni egy *[Maybe a]* típusú értékre, valamilyen módon kezelve az üres cellákat.

Az első megoldás az üres cellák helyettesítése egy alapértelmezett értékkel. Erre használható az € kombinátor:

```
infix 1 €
(€) :: ([a] -> b) -> a -> [Maybe a] -> b
f € b = f . map (maybe b id)
```

Code 2.1: Az € kombinátor

Példa:

"=sum € (-1) $ §a0:a5§" → az a0-a5 cellalista összege, üres cella esetén levon egyet az összegből.

Előfordulhat, hogy az üres cellákat egyáltalán nem szeretnénk figyelembe venni. Erre szolgál az *onJusts* kombinátor:

```
onJusts :: ([a] -> b) -> [Maybe a] -> b
onJusts f = f . map fromJust . filter isJust
```

Code 2.2: Az onJusts kombinátor

Példa: *"=onJusts (concat . map tail) §a0:a5§"* → az a0-a5 cellalista nemüres elemeinek konkatenálása, de mindegyikből elhagyva az első karaktert.

De természetesen közvetlenül is kihasználható a listahivatkozások *[Maybe a]* reprezentációja. A következő kódrészlettel például megszámolhatók a nemüres cellák: *"=length $ filter isJust $ §a0:a5§"*.

2.5.2 Alapértelmezett függvénypéldányok

Bizonyos függvényeket gyakran szeretnénk egy alapértelmezett módon használni. Például cellák összegének kiszámításához a *sum € 0* függvényt, vagy cellák maximumának megkereséséhez az *onJusts maximum* függvényt.

Az *Empty* modul (**ÁT LESZ NEVEZVE!!**) biztosítja a *Prelude* függvényeinek egy-egy az alkalmazás reprezentációjához igazított alapértelmezett változatát. Az alapértelmezett függvények neve az eredeti függvény neve és utána egy "D". Például: *sumD, maximumD, foldMapD*.

2.5.3 A könyvtár bővítése

A felhasználónak lehetősége van saját modulokat írni az alkalmazáshoz, és azokat használni. (A modulok importálásáról a 2.3 szakaszban esett szó.) Saját polimorf

függvények írásakor érdemes explicit kiírni a típusokat, ugyanis a monomorfizmus-megszorítás (**KELL LINK?**) miatt a Haskell fordító gyakran túl specifikus típust következtet ki. A standard könyvtár definiál két típusszinomimát listafüggvényekhez:

```
type LFun a b = [Maybe a] -> b
type NLFun a b = Num a => [Maybe a] -> b
```

Code 2.3: LFun és NLFun

Emellett természetesen tetszőleges Haskell modul betölthető az alkalmazásba.

2.6 A parancssorban használható parancsok

2.6.1 Kifejezés kiértékelése GHCi-ban

A program a cellák kódjának kiértékeléséhez a háttérben egy GHCi példányt futtat. Jelölje a _ a szóköz karaktert és C az összes karakterek halmazát. Amennyiben a beütött parancs $\_^{+}g\_^{+}C^{*}$ alakú, a "g"-t követő szóközök utáni részstring kiértékeltetik a GHCi-ban. A kiértékelés eredménye megjelenik log üzenetként.

Ezen parancs segítségével lehetséges modulokat importálni és bindingokat létrehozni a GHCi által használt IO monádban. Azonban minden egyes cellakiértékelés előtt a bindingok elvesznek, a betöltött modulok pedig azok lesznek, amelyek a "Modules" menüpontban meg lettek adva. Így a gyakorlatban a GHCi ezen funkciói nem használhatók.

2.6.2 Cellatartalom másolása és áthelyezése

A *cp* parancs használható cellák egy blokkjának átmásolására, az *mv* parancs pedig egy cellablokk áthelyezésére. A két parancs szintaxisa nagyon hasonló formátumú: *<parancs> <listahivatkozás> <egyszerű hivatkozás>*

A listahivatkozás adja meg a másolandó/áthelyezendő tartományt (bal felső és jobb alsó sarok), az egyszerű hivatkozás pedig a céltartomány bal felső sarkát. Példák:

1. *mv §a0:a5§ §b10§*
2. *cp §b1:c3§ §e9§*
3. *cp §a0:a3§ §a1§*

A parancsot lehet úgy paraméterezni, hogy a kiinduló és a céltartomány átfedésben legyen (fenti 3. példa). Ebben az esetben a parancs az új értékekkel felülírja a metszetben lévő cellákat. Ha pl. a harmadik példában *§a0:a4§* rendre *[1,2,3,4,ÜRES]*, akkor a parancs végrehajtása után *[1,1,2,3,4]* lesz a cellák tartalma.

fejezet 3

Fejlesztői dokumentáció

3.1 A fejlesztői dokumentáció felépítése

A fejlesztői dokumentáció három nagy részből áll.

A 3.2 részben ismertetésre kerülnek a szoftver készítése során felhasznált technológiák, valamint nagy vonalakban a szoftver logikai felépítése. (Milyen programkomponensek vannak, milyen feladatokat látnak el, hogyan kapcsolódnak egymáshoz.)

A 3.3 rész tartalmazza az egyes komponensek részletesebb leírását. Minden komponens esetén ismertetésre kerül a más komponensek felé nyilvánosságra hozott interfész, valamint a komponensek működési elve, beleértve a használt típusok leírását és a fontosabb algoritmusok működési elvét. A rész sorrendileg úgy van felépítve, hogy először szerepelnek a vezérlő komponens (*App*) által használt komponensek leírásai, majd ezt követően a fő komponens. Így "lentről fölfelé" haladva először meg lehet érteni az egyes kisebb részek működését, majd azok segítségével az egész alkalmazás működését.

A 3.4 rész tartalmazza a tesztelési eljárás leírását és a tesztelés eredményeit.

3.2 A szoftver felépítése

3.2.1 Felhasznált technológiák összefoglalása

Az alkalmazás Haskell nyelven íródott. A grafikus megjelenítés *GTK+* alapú, a *gtk2hs* csomag által biztosított bindingokat használtam a grafikus felület kezelésé-

hez. Ez a csomag a *GTK+* osztályhierarchiáját Haskell típusosztályok hierarchiájaként adja vissza. Az egyes osztályok metódusainak a típusosztályok definíciójában szereplő függvények felelnek meg. A *GTK+* típusai foreign pointerek segítségével vannak megvalósítva, és *IO*-ban használhatók.

Az alkalmazás a *GTK+* logikájának megfelelően eseményvezérelt. A felhasználó akciói eseményeket váltanak ki, amelyek hatására handlerek futnak le. A handlerek minden esetben *IO* akciók, amelyek valamilyen módon módosítják a globális állapotot (lásd 3.2.1. Globális állapot). A szoftver fejlesztése során fontos volt, hogy minél kevesebb legyen az tisztátalan (impure), *IO*-n belül elvégzett számítás. Igyekeztem a program logikájának minél nagyobb részét egy tiszta, nem monadikus környezetben megvalósítani. Így a számítások helyessége könnyebben tesztelhető/verifikálható, a handlerek már keveset számolnak az *IO*-ban.

Az alkalmazás a parseolási feladatokhoz a *parsec* csomagot, a gráfok kezeléséhez az *fgl* csomagot, a ghci futtatásához pedig a *ghcid* csomagot használja. A modell adatainak könnyebb kezeléséhez a *microlens-platform* csomagot használtam, ami a jól ismert *lens* csomag egy kevesebb funkciót és kevesebb függőséget tartalmazó változata. A függőségek pontos listája elérhető a Felhasználói dokumentációban, illetve az egyes programkomponensek részletes leírásakor is említésre kerülnek a fontosabb felhasznált csomagok.

3.2.2 A globális állapot

Az alkalmazás fő felépítését egy az FP Complete blogján megjelent cikk **(IDE KÉNE EGY REFERENCIA)** inspirálta. Az alkalmazás a globális (olvasható) állapotot a *ReaderT* monád transzformer segítségével valósítja meg, az alkalmazás vezérlése így egy *ReaderT Env IO* környezetben történik, ahol *Env* a globális állapotot leíró adattípus. Fontos megjegyezni, hogy bár az *Env* típus komponensei az inicializálás után sosem módosulhatnak, a mögöttes állapot még változhat, hiszen a komponensek módosítható referenciák. Ez nagyon hasonló a Java nyelvben használható konstans referencia koncepciójához: a referencia nem változhat, de a referált adat igen.

A fentebb referált cikk által inspirálva a (GUI komponensein kívüli) globális állapot egy *StateT* transzformer helyett módosítható referenciákkal (*IORef* és *MVar*)

kezeltetik. Ugyanis hiába tiszta, ha globálisan használjuk a *StateT*-t, valójában – a programlogika szintjén – ugyanúgy egy globális, módosítható állapotot vezetünk be. Szintén egy szempont, hogy a *GTK+* alapú *GUI* miatt eleve szerepelnek módosítható referenciák (foreign pointer) a globális állapotban, így ez a probléma semmiképpen nem kerülhető el teljesen. Egy további érv a globális *StateT* ellen, hogy egy nagyobb monad stack szükségszerűen bonyolítja a programot. A *ReaderT IO* ellenben még kifejezetten könnyen kezelhető. A cikk konkurrenciához köthető problémákat is említ a *StateT*-vel kapcsolatban. Ez a szoftver jelenlegi verziójában még nem olyan jelentős (lévén a mostani implementáció nagyon kis mértékben épít konkurrenciára). Azonban a jövőre nézve mindenképpen előnyös, ha a szoftvert könnyen lehet a konkurrens paradigma szerint bővíteni.

Ezen bevezető után tekintsük a globális állapot definícióját! Az alábbi típusdefiníció az *App.Types* modulban található:

```
1  data EvalConfig = EvalConfig { modules :: [String]
2                               , paths :: [String]
3                               }
4
5  data EvalControl = EvalControl { eGhci    :: MVar Ghci
6                                 , eCommand :: MVar String
7                                 , eResult  :: MVar (Either String [
                                     String])
8                                 , eConfig  :: MVar EvalConfig
9                                 } deriving Eq
10
11 data SaveStatus = Saved | Modified
12
13 data File = File FilePath SaveStatus
14
15 data Env = Env { evalControl  :: EvalControl
16               , gui          :: Gui
17               , state        :: IORef Spreadsheet
18               , file         :: IORef (Maybe File)
19               }
```

Code 3.1: Az Env típus

Az *evalControl* mező tartalmazza a kifejezések ghci-ban való kiértékelés hez szükséges erőforrásokat. Az *eConfig* mező tartalmazza a GHCi-hoz tartozó konfigurációs beállításokat. (Betöltött modulok listája, és a modulok keresési útvonalainak listája.) Az *eGhci* mező tartalmazza a háttérben futó GHCi példányra való hivatkozást. Az *eCommand* és az *eResult* valósítják meg a kommunikációt a kiértékelést végző szál és az alkalmazás fő szála között. Az *eCommand*-nak a fő szál a termelője, és a kiértékelő szál a fogyasztója, az *eResult*-nak pedig fordítva.

A *gui* mező tartalmazza a GUI komponenseit. A pontos típusdefiníció a GUI leírásánál fog szerepelni.

A *state* mező egy módosítható referencia, ami a számolótáblát reprezentáló, *Spreadsheet* típusú adatot referálja. A file adattag tartalmazza az éppen a táblázatkezelőbe betöltött fájl fontosabb adatait, amennyiben be van töltve egy fájl. (Fájl neve, és állapota.)

Az *EvalConfig* típus példánya *Generic* és *Serialize* típusosztályoknak. Erre a perzisztenciához van szükség.

3.2.3 A GUI

Az alábbi kódrészlet a GUI definíciója az *App.Types* modulból:

```
data Menubar = Menubar { newButton :: Button
                       , saveButton :: Button
                       , loadButton :: Button
                       , modulesButton :: Button
                       , pathsButton :: Button
                       }

data Gui = Gui { mainWindow  :: Window
               , logWindow   :: ScrolledWindow
               , log         :: TextBuffer
               , table       :: Table
               , entryKeys   :: [(Entry,(Int,Int))]
               , editor      :: Entry
               , commandLine :: Entry
               , menu        :: Menubar
```

```
16                  }
```

Code 3.2: A Gui típus

A *Gui* típus tartalmazza a Gui azon komponenseit, amelyekre szükség van a handlerek hozzáadásához. A *mainWindow* komponens tartalmazza az alkalmazás főablakát.

A számolótábla megjelenítése egy *Table* segítségével történik. A cellákat a *Table*-ben elhelyezett *Entry*-k reprezentálják. Minden *Entry*-hez egy *(Int,Int)* kulcs is eltároltatik. Ez mutatja, hogy a tábla melyik pozíciójához tartozik az adott *Entry*. Ez egy objektumorientált nyelvben megoldható lenne egy leszármazott widgettel (amelynek van egy extra mezője), azonban a *gtk2hs* keretein belül ezt körülményes lett volna megoldani, így inkább ezt a megoldást választottam. Az *Entry*-kulcs párokat az *entryKeys* mező tartalmazza.

A grafikus felület alján található log egy *ScrolledWindow*-ban elhelyezkedő *TextView*. Magára a *TextView*-ra nincs szükség, csak az általa használt *TextBuffer*-re, ezért azt nem is tartalmazza a *Gui*. Az editor és a parancssor egy-egy *Entry*-vel vannak implementálva. A *menu* komponens tartalmazza felső menüsoron elérhető gombokat.

A GUI layout ennél alaposabb dokumentációja az *App.CreateEnv* modul leírásában érhető el.

3.2.4 Programkomponensek és modulszerkezet (nem teljes!!!!!!!!!)

Az alábbiakban röviden összefoglalom a szoftver moduljainak fő feladatát:

- **Main** – főprogram
- **App** – az alkalmazás fő logikája, eseménykezelés
  - **App.CreateEnv** – a globális állapot inicializálása, GUI funkcionalitás nélkül
  - **App.RunApp** – a főprogram definiálása, a main loop terminálásakor végrehajtandó IO akciók megadása

  - **App.Setup** – funkcionalitás hozzárendelése a GUI komponenseihez
    * **App.Setup.CommandLine** – a parancssor eseményeinek kezelése
    * **App.Setup.Editor** – a kódszerkesztő eseményeinek kezelése
    * **App.Setup.Global** – több GUI komponens által is használt akciók
    * **App.Setup.Menubar** – menüsor gombjaihoz tartozó események kezelése
    * **App.Setup.Table** – a számolótáblát megjelenítő táblázat eseményeinek kezelése
  - **App.Types** – a globális állapothoz tartozó típusdefiníciók
- **Eval** – kifejezések GHCi-ban történő kiértékelése
  - **Eval.CodeGeneration** – kódgenerálás a kiértékeléshez (ezen modul dokumentációjában szerepel a kiértékelési modell leírása is)
  - **Eval.CommandLine** – a parancssorba beütött parancsok reprezentációjának előállítása
  - **Eval.EvalMain** – a tényleges kiértékelést végző szál főprogramja
  - **Eval.Ghci** – az App számára biztosított interfész a kiértékeléshez
- **GraphFunctions** – a *DynGraph* típusosztályhoz kapcsolódó, más modulokban felhasznált segédfüggvények
- **Persistence** – az App számára biztosított interfész fájlok mentéséhez és betöltéséhez
- **Spreadsheet** – a számolótábla reprezentációja és műveletei
  - **Spreadsheet.Interface** – a számolótábla műveletei, amiket az App használhat
  - **Spreadsheet.Parser** – felhasználó által írt kód reprezentációjának előállítása
  - **Spreadsheet.Types** – a számolótábla és kapcsolódó kivételek típusdefiníciói

3.3 A program komponenseinek részletes leírása

3.3.1 Spreadsheet.Types

Az alkalmazás a Spreadsheet típussal reprezentálja a számolótábla állapotát. Alább látható a Spreadsheet.Types modulban szereplő definíció:

```
type CellID = Int

data Cell' = Str String | Number Double | EmptyCell

data ForPiece = Code String | Refs [CellID]

data FormulaError = FNoParse
                  | FCycleRefError
                  | FNoCache
                  | FListTypeError
                  | FMissingDepError
                  | FGhciError
                  | FTimeoutError

data Formula = Formula { _code :: String
                       , _cache :: Either FormulaError Cell'
                       , _value :: Maybe [ForPiece]
                       }

data Cell = Val {_cellV :: Cell'} | For {_cellF :: Formula}

data Spreadsheet = SS { _sheet :: Gr Cell Int
                      , _selected :: Maybe CellID
                      , _logMessage :: Maybe String
                      }
```

Code 3.3: A Spreadsheet típus

A Spreadsheet egy rekord típus, amelynek három mezője van. A *selected* mező jelenti az aktuálisan kijelölt cellát. Ez a mező kerülhetett volna a globális állapotba is, azonban a tervezés korai fázisában másképp döntöttem, és már nem feltétlenül éri meg refaktorálni a kódot. A *_logMessage* mező tartalmazza a legutóbbi művelet kiértékeléséből származó szöveges (a GUI-ban a logra írandó) üzenetet.

A *_sheet* mező reprezentálja a tényleges számolótáblát. A számolótábla egy irányított gráf, aminek a csúcsai *Cell* típusú értékekkel vannak címkézve. Az élek egész számokkal vannak címkézve. (Lehetett volna *()*-tal is, azonban a használt gráfcsomag által biztosított legrövidebb utak implementációnak szüksége volt számszerű élcímkékre. Az implementációban minden él címkéje *1.*) A gráfban minden csúcs a számolótábla egy cellájának felel meg. Egy A csúcsból pontosan akkor megy él egy B csúcsba, ha a B csúcsban található cella kódja hivatkozik az A csúcsban található cellára.

Egy cella pontosan akkor szerepel a gráfban, ha nemüres vagy van olyan cella, amelyik hivatkozik rá. Így az üres és nemhivatkozott cellák tárolására nincs szükség.

A fent megadott gráfreprezentációnak két további előnye is van. Egyrészt könnyű körfigyelést implementálni, így elkerülve, hogy cellák körkörösen hivatkozzanak egymásra; másrészt ha módosul egy A cella tartalma, akkor pontosan az A-ból elérhető csúcsoknak megfelelő cellákat kell újra kiértékelni.

A gráfreprezentáció megvalósításához az *fgl* csomagot használtam. A műveletek a *DynGraph* típusosztály tetszőleges megvalósítására működnek. A *Spreadsheet* típus definíciójában a PatriciaTree alapú *Gr* típust használtam.

Egy cella tartalmát a *Cell* típus fejezi ki. Egy cella tartalma lehet érték (*Cell'*) vagy formula (*Formula*). Az érték jelenleg háromféle lehet: szám (*Double*), string vagy üres.

Ha egy cella formulát tartalmaz, az a háromelemű *Formula* rekorddal reprezentáltatik. A *_code* mező tartalmazza a felhasználó által megadott kódot. Ez egy kényelmi funkció, hogy a kód megjelenítéséhez ne kelljen visszakonvertálni a reprezentációból. A *_cache* mezőben szerepel, hogy mi a formula legutóbbi kiértékelésének eredménye (ha egyáltalán már ki lett értékelve). A cache értéke vagy egy érték (*Cell'*) vagy valamilyen hiba (*FormulaError*).

A *_value* jelenti a formula kódgeneráláshoz szükséges reprezentációját. Ez a reprezentáció *ForPiece*-ek (formuladarabok) listája. Egy formuladarab vagy egy kódrészlet (*String*) vagy cellaazonosítók listája. A *_value* mezőről részletesebben lesz szó a *Spreadsheet.Parser* és a *Spreadsheet.CodeGeneration* modulok leírásában.

A *Formula* típushoz tartozik egy invariáns állítás: a program futása során egy *Formula* mindig a 3.1 táblázatban leírt állapotok valamelyikében figyelhető meg.

Minta			Jelentés
Formula _	(Left FNoParse)	Nothing	parseolási hiba
Formula _	(Left FCycleRefError)	Nothing	sikeres parseolás, azonban a formula körkörös referenciákat adott volna a táblához
Formula _	(Left FNoCache)	(Just _)	sikeres parseolás, érvényes referenciák, de a formula még nem lett kiértékelve
Formula _	(Left FListTypeError)	(Just _)	**ALMA?**
Formula _	(Left FMissingDepError)	(Just _)	a formula nem értékelhető ki, mivel egy hivatkozott cella nem volt cache-elve.
Formula _	(Left FGHCIError)	(Just _)	a formula egyéb okokból nem volt kiértékelhető (pl. típushiba, Haskell szintaxishiba)
Formula _	(Left FTimeoutError)	(Just _)	időtúllépés miatt sikertelen kiértékelés, valószínűleg végtelen ciklus miatt
Formula _	(Right cell')	(Just _)	sikeres kiértékelés, az eredmény cell'

táblázat 3.1: Egy *Formula* lehetséges állapotai

Érdemes megjegyezni, hogy ez az invariáns típuszinten is garantálható lett volna (feladat az olvasó számára!). A jelenlegi megoldás a korai tervezési fázis eredménye, a későbbiekben már erőforrásigényes lett volna refaktorálni a kódot.

További megjegyzések a *Spreadsheet* típussal kapcsolatban:

1. A *Spreadsheet.Types* modul alapértelmezett nevű lenseket is exportál a *Cell, Formula* és *Spreadsheet* típusokhoz.
2. A *Spreadsheet.Types* modulban szereplő összes típus (a kivételek kivételével) példánya a *Generic* és *Serialize* típusosztályoknak (ez utóbbit a *cereal* csomag exportálja). Erre a perzisztencia implementációjához van szükség.

3.3.2 Spreadsheet.Parser

A modul feladata egy a felhasználó által egy cellához megadott kód (*String*) reprezentációjának (*Cell*) előállítása. A modul egy függvényt exportál. (*rep :: String -> Cell)*

Legyen a felhasználó által megadott kód *str*. A *rep* függvény az alábbi specifikáció szerint állítja elő a kód cellareprezentációját. A reguláris kifejezések megadásakor a kifejezésre illeszkedő string előtt és után tetszőlegesen sok szóköz lehet, ha nincs másképp jelezve.

1. Ha str = "", rep str = *Val EmptyCell*
2. Ha str illeszkedik a $((+|-|\varepsilon)D^+(.D^*|\varepsilon))|.D^+)$ reguláris kifejezésre, ahol D=(0|1|2|3|4|5|6|7|8|9), akkor rep str = *Val (Num n)*, ahol n a literál által ábrázolt lebegőpontos szám.
3. Ha a fenti esetek egyike sem áll fent, és str nem (=C*) alakú (ahol C az összes karakterek halmaza), akkor rep str = *Val (Str str)*
4. Ha B a betűk halmaza (a *Data.Char* modul *isLetter* függvényének igazsághalmaza), C' = $C\backslash\{\S\}$ és str (= $((\S BD^+ : BD^+\S)|(\S BD^+\S)|(C'^+))^+$) alakú, akkor a kód formulaként parseolható. rep str = *Formula str (Left FNoCache) (Just ps)*, ahol ps definíciója alább szerepel.
5. Ha egyik fenti eset sem áll fent, akkor a parseolás sikertelen. Ekkor rep str = *Formula str (Left FNoParse) Nothing*

Ha *str* formulaként parseolható (fenti 4. eset), egy egyszerű szintaktikus elemzés segítségével kaphatjuk a reprezentációjának _*value* komponensét. A parser először

elhagyja az = karaktert. Ezután sorban parseol substringeket a szó elejéről az alábbi módon:

1. Először megpróbálja cellahivatkozásként olvasni a soron következő részt: $((\S BD^* : BD^*\S)|(\S BD^+\S))$. Ha sikerült, a hivatkozást cellaazonosítók sorozatává konvertálja (lásd alább), és a kapott rs azonosítólistát $Refs\ rs$ módon az eredménylista végére fűzi.
2. Ha a soron következő substring nem olvasható cellahivatkozásként, akkor a parser végigolvassa a lehető leghosszabb $s = C'^+$ substringet, és az eredménylistához egy $Code\ s$-t ír.

A cellahivatkozások feloldásához kihasználjuk, hogy a karakterek injektíven az egész számok halmazára képezhetők (az *Enum* típusosztály műveleteivel). A kis- és nagybetűket nem különbözetjük meg. Emellett definiálunk egy *Enum* példányt *(Int,Int)* párokra. **STACKOVERFLOW LINK KELL** Ez a példány csak nemnegatív elemű párokra működik helyesen, de a program számára ez is elég. Jelölje $fromEnum^C$ a karaktert Int-té kódoló függvényt, és $fromEnum^P$ az *(Int,Int)* párt Int-té kódoló függvényt. Jelölje $a, b :: Int$ esetén $[a..b]$ az $a \leq n \leq b$ n egész számok rendezett listáját! Ekkor a cellahivatkozások feloldása az alábbiak szerint történik:

1. Ha a hivatkozás $(\S BD^*\S)$ alakú, legyen b a betű, és n a számjegyek által reprezentált egész szám. Ekkor a kapott rs lista egyelemű. $rs = [fromEnum^P\ (fromEnum^C, n)]$
2. Ha a hivatkozás $(\S BD^* : BD^*\S)$ alakú, felbontható a *:* mentén két egyszerű hivatkozásra. Legyenek a betűk d_1 és d_2, a számjegyek által reprezentált számok pedig rendre n_1 és n_2! Ekkor haskelles listakifejezésként a következő módon definiálhatjuk a kapott azonosítólistát: $rs = [fromEnum^P(r, c)|r \leftarrow [fromEnum^C(d_1)..fromEnum^C(d_2)], c \leftarrow [n_1..n_2]]$

3.3.3 Spreadsheet.Interface

Ebben a modulban szerepelnek az *App* komponens számára elérhető, a *Spreadsheet* típushoz kapcsolódó függvények. A 3.2 táblázatban láthatók a modul által exportált függvények feladatai:

Függvény	Típus	Feladat
emptySpreadSheet	Spreadsheet	üres számolótábla (0 csúcsú gráf, nincs kijelölt cella, nincs log üzenet)
getCellText	CellID -> Spreadsheet -> String	egy cellában megjelenítendő szöveg lekérdezése
getCellCode	getCellCode :: CellID -> Spreadsheet -> String	egy adott cellába legutóbb beírt kód lekérdezése
setCellState	CellID -> String -> Spreadsheet -> Spreadsheet	a megadott cella állapotának módosítása egy a felhasználó által megadott String alapján
cacheCell	CellID -> Either EvalError String -> Spreadsheet -> Spreadsheet	kiértékelés eredményének cachelése
getSelected	Spreadsheet -> Maybe CellID	kijelölt cella azonosítója
setSelected	CellID -> Spreadsheet -> Spreadsheet	kijelölt cella azonosítójának beállítása
getLogMessage	Spreadsheet -> String	legutóbbi log üzenet lekérdezése

táblázat 3.2: A *Spreadsheet.Interface* által exportált függvények

setCellState :: CellID -> String -> Spreadsheet -> Spreadsheet

A *setCellState* függvény feladata, hogy a megadott cellaazonosítóhoz tartozó csúcsban lévő cella állapotát a felhasználó által megadott *String*-nek megfelelően módosítsa, valamint felülírja a *_logMessage* mező tartalmát a művelet sikerességétől függően.

Ehhez szükség van a megadott *String Cell* reprezentációjára, amit a *Spreadsheet.Parser* modul által exportált *rep* függvény számít ki. A kapott reprezentáció alapján az alább leírtaknak megfelelően viselkedik a függvény:

1. Ellenőrzi, hogy a cella állapotának megváltoztatásával keletkeznék-e körkörös referencia. Pontosan akkor keletkeznék, ha a megváltoztatandó c azonosítójú cellához tartozó csúcsba bemenő összes él kitörlésével keletkezett gráfban van olyan n azonosítójú csúcs, hogy c kódja hivatkozik n-re és a gráfban már van $c \to n$ út. (Ez utóbbi feltétel azt jelenti, hogy az n cella értéke függ c értékétől.) Ezt a feltételt az *isLegal* függvény ellenőrzi. Érdemes megjegyezni, hogy ilyen hiba csak akkor fordulhat elő, ha a kapott reprezentációnk egy formula.
2. Amennyiben az *isLegal* eredménye *False*, a c csúcsban levő cella reprezentációja *For (Formula str' (Left FCycleRefError) Nothing)* lesz, ahol *str'* a paraméterként kapott *String*. A *_logMessage* mezőbe egy hibaüzenet kerül.
3. Amennyiben az *isLegal* segédfüggvény *True* eredményt ad, a gráfból kitörültetik az összes c-be menő él, és új c-be menő élek kerülnek behúzásra a c kódja által referált celláknak megfelelő csúcsokból. (Ezeket a *references* függvény számolja a reprezentációból.) A *_logMessage* mező tartalma egy sikert jelző üzenet lesz.
4. Amennyiben a módosított cella üressé vált, az összes olyan üres cellához tartozó csúcs kitörültetik a gráfból, melyekből csak a módosított cellába ment él.
5. Amennyiben a módosított cella üressé vált, és a hozzátartozó csúcs kifoka 0 (nem hivatkozik más cella az üressé tett cellára), úgy a csúcs törültetik a gráfból.

Megjegyzés: az utolsó két pont garantálja, hogy nem a program nem tárol el feleslegesen cellákat a gráfban.

cacheCell :: CellID -> Either EvalError String -> Spreadsheet -> Spreadsheet

A függvény feladata, hogy a megadott cellaazonosítóhoz tartozó csúcsban lévő cella állapotát frissítse a kiértékelés során kapott eredménnyel. A frissítendő cella szükségszerűen egy formula, a *cacheCell* ennek *_cache* mezőjét módosítja az alábbiak szerint:

1. Ha a kiértékelés eredménye hiba (a második paraméter *Left*), akkor a cache-be a megfelelő hiba kerül.
2. Ha a kiértékelés eredménye értelmes (a második paraméter *Right*), akkor a függvény értékként parseolja a kapott eredményt, és a parseolt értéket írja a cache-be.

3.3.4 Eval.CodeGeneration

A kiértékelési folyamat az alábbi szempontok alapján került megtervezésre:

1. Listán értelmezett függvények esetén legyen lehetőség könnyen kezelni az üres cellákat, alapértelmezett értékek megadásával.
2. Ha a kiértékelés során hiba történik, annak a hatása minimális legyen.

Az első szempont megvalósításához a kiértékelés során egy kiszámított vagy paraméterként kapott *a* típusú értéket egy *Maybe a* típusú érték reprezentálja. Az üres cellákat *Nothing* reprezentálja, az értékkel rendelkező cellákat pedig egy *Just* érték. Egy a kiértékelés során kiszámított cellaérték is mindig egy *Just*-ba csomagoltatik. Ennek megfelelően *a* típusú cellaértékek listájának futásidejű reprezentációja egy *[Maybe a]*. A Haskellben megszokott listafüggvények a felhasználói dokumentációban részletesen leírt *€* operátor segítségével használhatók ezen a reprezentáción.

A második szempont megvalósításához a kódgenerálás során értékadások sorozata jön létre, és a kiértékelés során ezen értékadások egyesével hajtódnak végre. Így ha valamelyik cella kiértékelésének eredménye egy hiba, csak a tőle függő cellák értéke lesz hiba.

Ha sikeres a generálás, a *generateCode* függvény eredménye két (egy *Right* konstruktorba csomagolt) lista (*[String],[(String,CellID)]*. Az első listába kerülnek az értékadások, amelyek az úgynevezett külső függőségekhez lettek generálva. A második

lista tartalmazza az olyan értékadásokat, amelyek a megváltoztatott id-jű cellától függnek. A *Spreadsheet.Types* modulnál tárgyalt gráfreprezentáció segítségével az előbbi két fogalmat az alábbi módon tehetjük precízzé:

Legyen id a megváltoztatott cella id-je, és legyen $lab : CellID \to Cell$ a gráf csúcsaihoz a megfelelő cellát hozzárendelő függvény! Legyenek $For, Lab : Cell \to$ predikátumok, amelyek akkor adnak igazat, ha a paraméterük a megfelelő konstruktorral jött létre. Legyen b egy létező cellaazonosító! Ekkor:

$$\begin{aligned} \text{b külső függőség} \Leftrightarrow \exists c : (\exists(id \to c \text{ út}) \wedge \exists(b \to c \text{ út}) \wedge \nexists(id \to b \text{ út})) \\ \vee ((b = id) \wedge Val(lab(b))) \\ \text{b függ id-től} \Leftrightarrow ((b \neq id) \wedge \exists(id \to b \text{ út}) \\ \vee ((b = id) \wedge For(lab(b))) \end{aligned}$$

Az id-től függő olyan módon kell sorrendbe rendezni, hogy az eredménylistában egy cella csak az őt a listában megelőző celláktól függjön. Ekkor az értékadásokat lehetséges a lista által megadott sorrendben végrehajtani. A sorba rendezéshez a leghosszabb utak algoritmusa szerinti szintek használatosak, ezek alapján kerülnek növekvő sorrendbe az id-től függő cellák. Könnyű látni, hogy ez a sorrend megfelel a fent megfogalmazott elvárásnak.

A kódgeneráláshoz szükséges ellenőrizni, hogy a kapott külső függőségek értéke kiolvasható-e. Ez akkor lehetséges, ha a külső függőség egy *Val*, vagy egy olyan *For*, amelybe van cachelve érték.

Az id-től függő cellák esetén (ezek szükségszerűen formulák) azt kell ellenőrizni, hogy sikerült-e parseolni. Ez ekvivalens azzal, hogy a *_value* mező értéke *Just*.

A függőségek listáinak kiszámítása és a fenti ellenőrzések elvégzése a *depList* függvény feladata. A leghosszabb utak szerinti szinteket kiszámító függvény a *GraphFunctions* modulban szerepel.

Az értékadások generálásáért a *codeG* függvény felel. Ez az n azonosító cellához egy $vn = someCode$ formájú értékadást generál. A *someCode* részt külső függőség esetén a *cacheG*, id-től függő cella esetén a *cellG* függvény számítja ki.

A *cacheG* függvény üres cellákhoz a *"Nothing"* stringet rendeli. Számokhoz és stringekhez pedig egy *"Just val"* stringet, ahol *val* a megfelelő szám/string.

Amennyiben egész számról van szó, a függvény levágja a tizedesrészt a számliterálról, hogy a GHCi egész típusúként értelmezhesse a literált.

A *cellG* függvény a formula *_value* komponensének elemeiből egy stringet állít elő. Ehhez a *_value* mező minden eleméhez egy stringet rendel, és ezeket konkatenálja, majd a legvégén eléír egy *"Just $ "*-t. A függvény az egyes elemekhez az alábbi módon rendel stringeket:

1. *Code code* → code
2. *Refs [n]* → "fromJust v*n*"
3. *Refs ids*, ha $|ids| > 1$ → az ids-ben szereplő cellaazonosítókból generált változónevek listája. Pl. ids=*[1,2,3]* esetén *"[v1,v2,v3]"*

A fenti leírásból jól látszik, hogy egy cella értéke mindig *Just*-ba lesz csomagolva. Ha egy cella értékét akarjuk használni, az a "szokásos módon" megtehető, mivel a változónév elé egy *fromJust* kerül. Cellák listája esetén azonban *Just* értékek listáját kapjuk. Ez esetben tehát a szokásos Haskell függvények nem a megszokott módon működnek, de az *€* operátor segítségével ez könnyen áthidalható. Érdemes megjegyezni, hogy a cellákhoz kiszámított érték mindig *Maybe a* típusú lesz, így az eredmény kinyeréséhez a *fromJust vn* kód szükséges. Ha az eredmény *Nothing*, ez futásidejű hibát okoz, amit a hívó ki tud olvasni a GHCi-ból, és cachelhet egy hibát a kiértékelt cellához (*EGhciError*).

A modul által exportált *generateCode* függvény segítségével végezhető el a fent leírt kódgenerálás.

3.3.5 Eval.EvalMain

A modul által exportált *evalMain* függvény biztosítja a kifejezések GHCi-ben való kiértékelését végző szál főprogramját. A szál az alábbiak szerint működik:

1. Várakozik, ameddig a globális állapot *evalControl* mezőjének *eCommand* változójába egy GHCi utasítást nem ír a fő szál.
2. Kiüríti a változót, és kiértékeli a kapott utasítást a GHCi-ben.
3. Ha egy megadott idő után nem ér véget a kiértékelés (jelenleg 1 másodperc), lekérdezi a GHCi folyamathoz tartozó PID-et, majd megkeresi annak a gyerekfolyamatát (*childPid*), és az *eResult* változóba *Left childPid*-et ír. Ezt a folyamatot aztán a fő szál fogja kilőni.

4. Amennyiben időben véget ér a kiértékelés, a GHCi által eredményül adott sorok *result* listáját *Right result* módon az *eResult* változóba írja.

A timeout utáni viselkedés bonyolultsága egy szerencsétlen helyzet eredménye. A magyarázathoz meg kell ismerni a *ghcid* csomag által biztosított GHCi interfészt. A *startGhci* függvény a dokumentáció alapján elindít egy GHCi háttérfolyamatot, amellyel innentől egy megadott szálról kell interaktálni (a megszakítást kivéve). A valóságban azonban azt tapasztaltam, hogy két folyamatot indít el, amelyek közül az egyik gyereke a másiknak.

Időtúllépés esetén meg kell állítani a háttérben futó számítást. Erre szolgálna az *interrupt* függvény, ami egy *SIGINT* jelzést küld a GHCi folyamatnak. A GHCi folyamat azonban bizonyos esetekben ezt kimaszkolja, ilyenkor a számítást nem lehetséges megszakítani. **IDE KÉNE LINK ERRŐL A DISKURZUSRÓL** A GHCi leállítására szolgáló *stopGhci* függvény pedig csak az egyik (a szülő) folyamatot terminálja a *startGhci* által indított két folyamatból. A másik folyamat pedig tovább folytatja a számítást. Az alkalmazás egy Haskell szálat tartalmazó verziójában ez kiéheztette az fő folyamatot.

Ezért van szükség arra, hogy a kiértékelés külön szálon fusson. Ugyanis időtúllépés esetén a fő szál, miután ütemezésre kerül, a kapott PID alapján a lehető legagresszívabban (*SIGKILL*) terminálja a második GHCi folyamatot. Ez a tapasztalat szerint az első folyamatnak is véget vet. Ezután új GHCi folyamat indítható.

A fenti megoldást a szükség szülte, és tapasztalatok alapján, gyakran próbálgatás útján állt össze. Nem ismert, hogy miért indít a *startGhci* két folyamatot. (Egy "rendes" GHCi folyamathoz például csak egy PID tartozik.) A megoldás az én számítógépemen, Ubuntu 20.04 LTS operációs rendszer mellett működött, de nincs rá garancia, hogy más Linux rendszer (vagy akár egy másik számítógép!) esetén működni fog. (A működés feltétele, hogy ütemezésre kerüljön a fő szál.) Ráadásul csak e miatt az interakció miatt kellett konkurrenciát adni az alkalmazáshoz. Valódi hatékonyságot ezzel nem nyertünk, hiszen az egyik szál mindig blokkolt állapotban lesz. (Mivel mindkét szál a fogyasztóként hozzá tartozó *MVar*-ra várakozik, ha éppen a másik szál dolgozik.)

A gyerekfolyamat megtalálásához a program rendszerhívást hajt végre, a *pgrep* parancsot használja *-P* kapcsolóval.

Függvény	Típus
execGhciCommand	String -> ReaderT EvalControl IO (Either EvalError String)
loadModules	ReaderT EvalControl IO ()

táblázat 3.3: Az *Eval.Ghci* által exportált függvények

3.3.6 Eval.Ghci

A modul fő feladata, hogy kiértékeljen egy GHCi parancsot, és az eredményt értelmezze. Emellett lehetőséget biztosít a modulok és keresési útvonalak újratöltésére a globális konfiguráció alapján (*EvalConfig*).

A kiértékelés folyamata a (nem exportált) *execG* függvényben van leírva, és az alábbi módon zajlik:

1. A paraméterként kapott parancs a *eCommand* változóba kerül.
2. Kiolvasásra kerül az eredmény az *eResult* változóból.
3. Ha az eredmény *Left pid*, a kapott PID-hez tartozó folyamat terminálásra kerül, és a kiértékelés eredménye *Left ETimeoutError*. Új GHCi folyamat indul, és a hivatkozása bekerül a globális állapot *evalConfig* mezőjének *eGhci* mezőjébe.
4. Ha az eredmény *Right result*, ez a kiértékelés eredménye. *result :: [String]* a GHCi által eredményül adott sorok listája.

Az exportált *execGhciCommand* függvény ezt a viselkedést egészíti ki egy extra ellenőrzéssel.

1. Ha az *execG* eredménye *Left ETimeoutError*, akkor ez az eredmény.
2. Ha az *execG* eredménye *Right results*:
   - Ha *results* üres, az eredmény *Right ""*
   - Ha *results* egyelemű, az eredmény *Right (head (results))*
   - Ha *results* több elemű, akkor a GHCi több sornyi eredményt adott vissza. Ezt a függvény hibának tekinti, és az eredmény *Left (EGhciError results)*

A *loadModules* akció beállítja a globális állapot *evalControl* mezőjének *eConfig* mezője alapján az elérési utakat, majd betölti a megadott modulokat. A korábban betöltött modulokat először kitölti (*:m*). Ilyenkor a felhasználó által közvetlenül a

GHCi-ba megadott definíciók is elvesznek. Az akció betölti az *Empty* modult is, ami szükséges ahhoz, hogy működjék az € minta, amit a cellablokkok kezeléséhez biztosít a program.

3.3.7 Eval.CommandLine

A modul feladata a felhasználó által a parancssorba beütött parancsok reprezentációjának előállítása, amely alapján a parancsok végrehajthatók. A parancsok reprezentációját a *ClCommand* típus írja le:

```
1 data ClCommand = ClGhci String
2                | ClMv [(CellID, CellID)]
3                | ClCp [(CellID, CellID)]
```

Code 3.4: A *ClCommand* típus

A *ClGhci* konstruktorral létrehozott parancs a GHCi-ban értékelendő ki. A másik két konstruktor az *mv* és *cp* parancsokhoz szolgál. Ezen konstruktorok paramétere forrás-cél cellaazonosító-párok listája. A parancsok parseolása megfelel a felhasználói dokumentációban leírtaknak. A referenciák feloldása a *Spreadsheet.Parser* dokumentációjában leírtak szerint történik.

3.3.8 Persistence

A modul feladata, hogy fájlokat mentsen és betöltsön. Egy adatot akkor lehet elmenteni, ha az adat típusa példánya a *Serialize* típusosztálynak. Ezt a típusosztályt a *cereal* csomag biztosítja. Egy *Serialize* példány minden eleme bytestring-gé szerializálható. A program a számolótáblák és a konfigurációs fájlok perzisztálásához is bytestring formátumot használ.

Jelenleg a program egy konfigurációs fájlt használ, ennek nevét a *moduleConfigFile* konstans definiálja. Az alkalmazás bezárásakor ebbe a fájlba kerül mentésre a globális állapot *evalControl* mezőjének *eConfig* mezője.

saveSheet :: Serialize a => String -> a -> IO ()

Ez a függvény elment egy szerializálható adatot a megadott fájlnévvel. Létező fájl esetén felülírás történik.

loadSheet :: Serialize a => String -> IO (Either String a)

Betölti a paraméterként kapott fájlból az adatot. Ha nem létezik a fájl, az eredmény egy hibaüzenet, ami jelzi, hogy a paraméterként kapott fájl nem létezik.

saveModuleConfig :: EvalConfig -> IO ()

A *saveSheet* speciális esete. A kapott paramétert a *moduleConfigFile* konstans által megadott fájlba menti.

loadModuleConfig :: IO EvalConfig

Betölti a modulkonfigurációs fájl tartalmát. Ha a fájl nem létezik, az IO akció üres konfigurációt eredményez: (*EvalConfig [] []*).

3.3.9 App.RunApp

Ez a modul definiálja a főprogramot (*appMain :: IO ())*, amellyel egyenlő a *Main*-ben definiált *main* függvény. Az *appMain* két akcióból áll. Először inicializálja a globális állapotot (*App.CreateEnv.createEnv*), majd végrehajtja a *runApp :: ReaderT Env IO ()* akciót, a globális állapotot az inicializált környezetre állítva. A *createEnv* akció elindítja a háttérben futó kiértekelő szálat is. (*Eval.EvalMain.evalMain*).

A *runApp* akció a következőképpen határozza meg a program működését:

1. Hozzárendeli a GUI elemeihez a handlereket (*App.Setup.setupGui*)
2. Betölti a betöltendő keresési útvonalakat és modulokat a GHCi-be (*Eval.Ghci.loadModules*).
3. Beállítja, hogy az alkalmazás bezárásakor álljon le a GHCi és a modulok konfigurációja kerüljön mentésre.
4. Megjeleníti a GUI-t és elindítja a main loopot.

3.3.10 App.CreateEnv

Ez a modul exportálja az *App.RunApp*-ban használt *createEnv :: IO Env* akciót.

A *createEvalControl :: IO EvalControl* segédakció hozza létre az *evalControl* mező tartalmát. Az *eGhci* mezőhöz elindít egy GHCi-t. A GHCi alapértelmezett

munkakönyvtára az alkalmazás futtatásának helye. Az *eCommand* és *eResult* mezőkhöz létrehoz egy-egy üres *MVar*-t. Az *eConfig* mező tartalmát beolvassa a konfigurációs fájlból (*Persistence.loadModuleConfig*).

A state mező az üres számolótáblával kerül inicializálásra (*Spreadsheet.Interface.emptySpreadSheet*). A file mező *Nothing*-gal kerül inicializálásra, mivel kezdetben nincs betöltve fájl az alkalmazásba

A *createGui :: IO Gui* segédakció építi fel a GUI-t. Az alkalmazás grafikus felületét egy *Window* tartalmazza (*mainWindow*). Ennek az ablaknak a gyereke egy *VBox*, amely a további widgeteket tartalmazza. Ezek rendre a menüsor (egy *HBox*, ami *Button*-öket tartalmaz), az egysoros kódszerkesztő (*Entry*), a cellákat tartalmazó táblázat (*Table*), a logot megjelenítő *ScrolledWindow* és a parancssornak megfelelő *Entry*.

A *Table* létrehozásakor jönnek létre a cellák megjelenítésére szolgáló *Entry*-k, melyek a pozíciójukat leíró kulccsal együtt kerülnek mentésre.

A menüsor gombjaihoz itt kerülnek hozzárendelésre a billentyűkombinációk.

Az akció "*new file"-ra állítja a fő ablak címét, mivel az alkalmazás elindításakor nincs betöltött fájl.

3.3.11 App.Setup

Ez a modul exportálja a *setupGui* akciót, amelynek feladata, hogy a GUI-hoz eseménykezelőket rendeljen. Ezek az eseménykezelők definiálják az alkalmazás lényegi működését. A *setupGui* akció rendre végrehajtja a *setupEditor*, *setupCommandLine*, *setupMenubar* és *setupTable* akciókat, amelyek definiálják az egyes GUI komponensek működését. Ezek az akciók a megfelelő nevű *App.Setup.** almodulban vannak definiálva.

Az eseménykezelők megadásához egy *IO ()* akcióra vagy egy *Event-> IO ()* függvényre van szükség. Ez azért hátrányos, mert nem lehetséges az eseménykezelőket közvetlenül a ReaderT kontextusban definiálni. Ezért az eseménykezelők megadására az alábbi minta használatos:

```
1 setupSomeWidget :: ReaderT Env IO ()
2 setupSomeWidget = do
3   widget <- ...
```

```
4   env <- ask
5   ...
6   void $ lift $ onSomeEvent widget $ runReaderT handlerAction env
7
8 handlerAction :: ReaderT Env IO ()
```

Code 3.5: Az eseménykezelők hozzárendelése

Tehát a eseménykezelőt hozzárendelő függvény lekérdezi a globális állapotot, és a handler nem más, mint egy ReaderT IO akció futtatása a globális állapottal. Így viszonylag kényelmesen használható a globális állapot a handlerek megírásakor. A fent leírt minta akkor is alkalmazható, ha van egy extra *Event* paraméter (pl. *onFocusOut*). Ilyenkor a *handlerAction*-nek paraméterként adható az *Event*.

3.3.12 App.Setup.Global

Ez a modul olyan akciókat definiál, melyeket az *App.Setup* további almodulja felhasználhatnak. Az alább leírtak mellett a modul exportál néhány, a globális állapot egyes komponenseinek lekérdezését kényelmesebbé tevő akciót is.

setTitle :: String -> ReaderT Env IO ()

A fő ablak címét a megadott *String*-re állítja.

logAppendText :: String -> ReaderT Env IO ()

A paraméterként kapott *String*-et új sorként hozzáadja a log aljához, majd legörget a logot tartalmazó *ScrolledWindow*-ban. A legörgetés többsoros üzenet esetén csak az első sorig görget le. Ez egy ismert hiba, amit egyelőre nem sikerült javítani. Jelenleg nincs számontartva a log mérete, és nincs is maximális mérete. Ennek értelmében a logüzeneteket tartalmazó buffer mérete tetszőlegesen nagy lehet.

updateView :: ReaderT Env IO ()

A globális állapot *state* mezője alapján frissíti a cellákban megjelenő szöveget. Ehhez felhasználja a *Spreadsheet.Interface.getCellText* függvényt.

evalAndSet :: CellID -> ReaderT Env IO

Kiértékeli a megadott azonosítójú cellához generált kódrészleteket, majd a kiértékelés eredményét cacheli a számolótáblába. A betöltött fájl állapotát *Modified*-ra módosítja.

A kiértékeléshez először kódot generál a kapott azonosítóhoz (*Spreadsheet.CodeGeneration.generateCode*). Kódgenerálási hiba esetén logolja a hibát jelző üzenetet.

Ha sikeres volt a kódgenerálás, akkor a kapott sorrendben kiértékeli az utasításokat a GHCi-ben. Ehhez először törli a korábbi GHCi bindingokat az *Eval.Ghci.loadModules* akcióval. Erre azért van szükség, hogy ha egy cellához rendelt változót nem sikerült kiszámítani (pl. típushiba miatt), akkor a leszármazott cellához ne legyen felhasználható egy korábbi kiértékeléskor kiszámított, elavult érték. Ezután kiértékeli a külső dependenciákat, azaz azon cellákat, amelyek nem függnek a megváltoztatott cellától, de függőségei valamely a megváltoztatott cellától függő cellának. (Ez a kódgenerálás által adott első lista.)

Ezután következik a második lista utasításainak kiértékelése. Minden utasítás esetén először kiértékeli az "értékadást". Ha az eredmény hiba, a kiértékelés eredménye hiba. Ha az eredmény nem hiba, akkor lekérdezi a kiértékelt változót. A kódgenerálás garanciát ad arra, hogy egy cella mindig a függőségei után kerül kiértékelésre.

Az összegyűjtött eredmények ezután cacheltetnek (*Spreadsheet.Interface.cacheCell*). A betöltött fájl állapota *Modified* lesz.

updateView :: ReaderT Env IO

A számolótábla állapota alapján frissíti a cellákban megjelenített szöveget. Ehhez felhasználja a *Spreadsheet.Interface.getCellText* függvényt. A cellatartalmak lekérdezése a GUI *entryKeys* komponensében tárolt kulcsok alapján történik.

3.3.13 App.Setup.CommandLine

A modul a parancssor (*Entry*) *onEntryActivate* eseményéhez (enter billentyű leütése) rendel eseménykezelőt. Az esemény hatására bekövetkező viselkedés a kö-

vetkező:

1. A parancssorban lévő szöveg parancsként parseoltatik.
2. Ha GHCi parancsként értelmezhető (a parseolás eredménye *ClGhci cmd*), akkor végrehajtatik a GHCi parancs, és az eredmény logolásra kerül.
3. Ha *cp* vagy *mv* parancsként értelmezhető (*ClCp ls* vagy *ClMv ls*), akkor a kapott cellaazonosító-párok alapján végrehajtódik a másolás/mozgatás.
4. Ismeretlen parancs esetén logolásra kerül a hiba.
5. A parancsorból eltűnik a szöveg.

3.3.14 App.Setup.Editor

A modul a kódszerkesztő (*Entry*) *onFocusOut* (fókusz elvesztése), *onFocusIn* (fókusz megszerzése) és *onEntryActivate* eseményeihez rendel eseménykezelőt.

A fókusz elvesztésekor és az enter leütésekor az alábbi viselkedés következik be:

1. Amennyiben nem volt kiválasztva cella a táblában, nem történik semmi.
2. Amennyiben volt kiválasztott cella, a cella állapota módosításra kerül a bevitt szöveg alapján (*Spreadsheet.Interface.setCellState)*. Ha ezzel megváltozott a cella állapota, végrehajtódik egy kiértékelés, aminek a gyökere a megváltoztatott cella. (*App.Setup.Global.evalAndSet*).
3. Frissül a táblanézet ((*App.Setup.Global.updateView)*

A fókusz megszerzésekor amennyiben volt kijelölt cella, úgy annak a legutóbb megadott kódja jelenik meg a szerkesztőben.

3.3.15 App.Setup.Menubar

A modul eseménykezelőket rendel a menüsor gombjainak (*Button*) *onClicked* eseményéhez.

runAreYouSureDialog :: IO Bool

Ez a segédakció egy felugró ablak segítségével visszaad egy igen-nem választ ("biztos-e ebben" dialógus). Több handler is használja, amikor fennálna a lehetőség, hogy a végrahajtandó akció végrehajtása során elvesznének nem mentett információk.

getFileChooserDialog :: FileChooserAction -> IO FileChooserDialog

Ez a segédakció hozza létre a mentéshez és betöltéshez szükséges dialógusokat. A kapott paramétertől függ, hogy mentéshez vagy betöltéshez szükséges dialógus jön létre.

newAction :: ReaderT Env IO ()

A "New" gomb megnyomásakor az alábbiak történnek:

1. Felugrik a "biztos-e ebben" dialógus.
2. Nemleges válasz esetén nem történik semmi.
3. Igenlő válasz esetén a globális állapot *state* mezőjébe egy üres számolótábla kerül. A *file* mező értéke *Nothing* lesz. Az ablak címe "*new file" lesz.
4. Frissül a nézet

loadAction :: ReaderT Env IO ()

A "Load" gomb megnyomásakor az alábbiak történnek:

1. Megjelenik a betöltéshez szolgáló fájlválasztó dialógus.
2. Amennyiben a felhasználó a "Load" gombra kattintott, és megadott egy fájlnevet.

3.3.16 App.Setup.Table

A modul eseménykezelőket rendel a cellák megjelenítésére szolgáló *Entry*-k *onFocusIn*, *onFocusOut* és *onEntryActivate* eseményeihez.

A fókusz megszerzésekor a kiválasztott cella értéke beállításra kerül, és az editorban megjelenik a kiválasztott cellába legutóbb beütött kód.

A fókusz elvesztésekor/enter leütésekor ugyanaz történik, mint az editor esetén.

3.4 Tesztelés

3.4.1 A tesztelés folyamata

A tesztelés első fázisában az egyes komponensek kerültek tesztelésre. Az egyes komponensekhez tartozó tesztelési tervekben szerepelnek a tesztelt függvények, és

a függvényenkénti tesztelési szempontok. A tesztesetek kézzel készültek a megadott szempontok alapján. Az egyes modulokhoz tartozó tesztesetek a *Test.<modulnév>* modulokban találhatók. Mindegyik tesztmodul exportál egy *run<modulnév>Tests :: IO ()* akciót, amely a standard outputra logolja a tesztelés eredményét. **IDE MÉG ÍROK, HA TÉNYLEGESEN KÉSZ LESZNEK A TESZTEK.** A tesztelés második fázisában került tesztelésre a szoftver tényleges működése. A felhasználói tesztelés kézzel történt a megfelelő szakaszban **IDE KELL SZÁM** felsorolásszerűen leírt szempontok alapján. **Vastag betűvel jelzem a nem teljesített teszteseteket.**

3.4.2 Test.Spreadsheet.*

Test.Spreadsheet.Parser

A *Spreadsheet.Parser* modulból az általa egyedüliként exportált *rep* függvény teszteltetett. A tesztelés input-elvárt output párok segítségével történt, és az alább leírt eseteket fedte le:

1. ""
2. Számliterálok – egész, tizedestört (. előtti és utáni rész nélkül is), pozitív és negatív számok
3. Formulák – referencia nélkül, egyszerű és többszörös referenciák, csak referenciát tartalmazó formulák, formula elején/végén levő referencia, referencia kisbetűvel és nagybetűvel is.
4. Szintaxishibák – "=", bezáratlan §, §-on belüli hibás szintaxis.
5. Stringliterálok

Test.Spreadsheet.Interface

A *Spreadsheet.Interface* modul által exportált függvények közül csak a *setCellState* és *cacheCell* függvények lettek tesztelve. A további függvények helyes működésének ellenőrzésére elégséges elvégezni a felhasználói teszteket. Ezek többnyire triviálisan implementált getter/setter jellegű függvények. A tesztesetek műveletek sorozatával transzformálnak egy kezdeti üres számolótáblát. Minden művelet végrehajtása után ellenőrzésre kerül, hogy a művelet megőrizte-e a 3.1. táblázatban leírt

típusinvariánst. A nem tesztelt függvények esetén az invariáns megőrzése triviálisan teljesül. Alább felsorolásszerűen szerepelnek a *setCellState* függvényhez tartozó tesztelési szempontok:

1. Értékek, hivatkozást nem tartalmazó formulák hozzáadása, módosítás (*setSimple* teszteset)
2. Formulák hozzáadása, körmentesen (*refsNoCycle* teszteset)
3. 1, 2 és több hosszú körök előidé zésének megkísérlése. (tryCycle* tesztesetek)
4. Nem hivatkozott cella üressé tétele, ekkor a megfelelő csúcsnak el kell tűnnie a gráfból. (*makeEmptyNoRef* teszteset)
5. Az üressé tett, nem hivatkozott cella egyedüliként hivatkozik legalább egy üres cellára. Ekkor a hivatkozott üres cella is eltűnik a gráfból. (*makeEmptyNoRef* teszteset)
6. Hivatkozott cella üressé tétele.
7. Cella módosításakor a cellát reprezentáló csúcsba bemenő és kimenő élek ellenőrzése (több tesztesetben is).

3.4.3 Felhasználói tesztek

1. Az alkalmazás indítása
   - A futtatható állomány futtatásakor elindul a szoftver. Megjelenik az üres számolótábla. A fejléc szövege "*new file".
   - A háttérben elindul a GHCi folyamat.
   - Indításkor betöltésre kerülnek a beállított GHCi modulok és keresési útvonalak. **Nem található konfigurációs fájl esetén egy hibaüzenet kerül megjelenítésre.**
2. Az alkalmazás leállítása
   - A bezárás gombra kattintva a szoftver futása megáll.
   - **Mentetlen munka esetén felugrik a "biztos-e ebben" dialógus.**
   - A szoftver leállítása után leállnak a háttérben futó GHCi folyamatok.
   - Leállításkor mentésre kerülnek a beállított GHCi modulok és keresési útvonalak. (./modules.sanyi)

3. Új tábla létrehozása
    - A megfelelő gombra kattintva, illetve az "Alt-N" billentyűkombináció leütésére elkezdődik egy új tábla létrehozása.
    - Mentetlen munka esetén felugrik a "biztos-e ebben" dialógus.
    - **Új tábla létrehozásakor beállíthatók a tábla dimenziói. Nagy táblaméret esetén lehet görgetni az ablaknézetet.**
    - A létrejött új tábla üres.
4. Tábla mentése és betöltése
    - A megfelelő gombokra kattintva, illetve az "Alt-S"/"Alt-L" billentyűkombinációk hatására megjelenik a mentési/betöltési dialógus.
    - Mentés után a felhasználó által megadott helyen létrejön egy fájl. A fájl neve <megadott fájlnév>.fsandor.
    - Betöltéskor mentetlen munka esetén felugrik a "biztos-e ebben" dialógus.
    - Betöltéskor helyesen töltenek be az üres cellák, értéket tartalmazó cellák, sikeresen kiértékelt formulák és a hibás cellák is.
5. Modulok és keresési útvonalak
    - A megfelelő gombokra kattintva megjelenik a GHCi-ba betöltendő modulok beállítására szolgáló dialógus/a keresési útvonalak beállítására szolgáló dialógus.
    - A módosítások hatása egyből érvényesül. (Hozzáadás és eltávolítás esetén is.)
6. Parancssor *cp* és *mv* parancsainak tesztelése.
    - Üres cellatartomány megadása.
    - Formulák, értékek, üres és hibás cellák másolása/mozgatása.
    - Esetek, amikor a kiinduló- és céltartomány részben/teljesen egybeesik.
    - **Mi történik, ha kilóg a céltartomány?**
    - Körkörös hivatkozás előidézése a céltartományban.
7. Parancssor további tesztelése

- g parancs tesztelése
- Érvénytelen parancs esetén megjelenik egy log üzenet.

8. Cellák tesztelése – helyes cella
   - Értékek beírása cellákba (szám/string).
   - Hivatkozást nem tartalmazó formula beírása.
   - Helyes, hivatkozást tartalmazó kifejezések beírása, egyszerű- és listahivatkozás, többelemű hivatkozási láncok létrehozása.
   - Hivatkozott cella módosítása.
9. Körfigyelés
   - 1, 2 és több hosszú körkörös hivatkozási lánc létrehozása.
   - Megfelelő log üzenet megjelenésének figyelése.
   - Körkörös hivatkozás megszüntetése.
10. Parse hibák előidézése
    - A hibás cellában megjelenik az "FNoParse" szöveg
    - A hibás cellára hivatkozó cellákban megjelenik az "FNoCache" szöveg.
    - **Egy korábban helyes cellát parseolási hibásra átírva a hibás cellára hivatkozó cellák állapota megváltozik.** A parseolási hibát megszüntetve a leszármazott cellák hibája is megszűnik. (amennyiben a beírt kód helyes).
11. GHCi típus- és futásidejű hibák előidézése
    - A hibás cellában és a belőle leszármazó cellákban megjelenik az "FGhciError"/"FNoCache" szöveg. **A hibaüzenetek még nem túl jók a leszármazott cellában.**
    - Egy korábban helyes cellát GHCi hibásra átírva a hibás cellára hivatkozó cellák állapota megváltozik. A hibát megszüntetve a leszármazott cellák hibája is megszűnik. (amennyiben a beírt kód helyes).
12. GHCi időtúllépési hibák előidézése

- A hibás cellában és a belőle leszármazó cellákban megjelenik az "FTimeoutError"/"FNoCache"/"FGhciError" szöveg. **A hibaüzenetek még nem túl jók a leszármazott cellában.**
- Egy korábban helyes cellát időtúllépés miatt hibásra átírva a hibás cellára hivatkozó helyes cellák állapota megváltozik. A hibát megszüntetve a leszármazott cellák hibája is megszűnik (amennyiben a beírt kód helyes).
- Az időtúllépés kezelése után nem szivárog ki a leállítandó korábbi GHCi folyamatok egyike sem.

13. A kódszerkesztő tesztelése
    - A 8-12. tesztek elvégzése a kódszerkesztőt (is) használva, nemcsak közvetlenül a cellákba írva a kódot.
    - Új fájl megnyitásakor cella kijelölése előtt a kódszerkesztőbe írásnak nincs hatása.

fejezet 4

Összegzés

?appendixname? A

Szimulációs eredmények

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Pellentesque facilisis in nibh auctor molestie. Donec porta tortor mauris. Cras in lacus in purus ultricies blandit. Proin dolor erat, pulvinar posuere orci ac, eleifend ultrices libero. Donec elementum et elit a ullamcorper. Nunc tincidunt, lorem et consectetur tincidunt, ante sapien scelerisque neque, eu bibendum felis augue non est. Maecenas nibh arcu, ultrices et libero id, egestas tempus mauris. Etiam iaculis dui nec augue venenatis, fermentum posuere justo congue. Nullam sit amet porttitor sem, at porttitor augue. Proin bibendum justo at ornare efficitur. Donec tempor turpis ligula, vitae viverra felis finibus eu. Curabitur sed libero ac urna condimentum gravida. Donec tincidunt neque sit amet neque luctus auctor vel eget tortor. Integer dignissim, urna ut lobortis volutpat, justo nunc convallis diam, sit amet vulputate erat eros eu velit. Mauris porttitor dictum ante, commodo facilisis ex suscipit sed.

Sed egestas dapibus nisl, vitae fringilla justo. Donec eget condimentum lectus, molestie mattis nunc. Nulla ac faucibus dui. Nullam a congue erat. Ut accumsan sed sapien quis porttitor. Ut pellentesque, est ac posuere pulvinar, tortor mauris fermentum nulla, sit amet fringilla sapien sapien quis velit. Integer accumsan placerat lorem, eu aliquam urna consectetur eget. In ligula orci, dignissim sed consequat ac, porta at metus. Phasellus ipsum tellus, molestie ut lacus tempus, rutrum convallis elit. Suspendisse arcu orci, luctus vitae ultricies quis, bibendum sed elit. Vivamus at sem maximus leo placerat gravida semper vel mi. Etiam hendrerit sed massa ut lacinia. Morbi varius libero odio, sit amet auctor nunc interdum sit amet.

Aenean non mauris accumsan, rutrum nisi non, porttitor enim. Maecenas vel

tortor ex. Proin vulputate tellus luctus egestas fermentum. In nec lobortis risus, sit amet tincidunt purus. Nam id turpis venenatis, vehicula nisl sed, ultricies nibh. Suspendisse in libero nec nisi tempor vestibulum. Integer eu dui congue enim venenatis lobortis. Donec sed elementum nunc. Nulla facilisi. Maecenas cursus id lorem et finibus. Sed fermentum molestie erat, nec tempor lorem facilisis cursus. In vel nulla id orci fringilla facilisis. Cras non bibendum odio, ac vestibulum ex. Donec turpis urna, tincidunt ut mi eu, finibus facilisis lorem. Praesent posuere nisl nec dui accumsan, sed interdum odio malesuada.

Bibliography

[1] O. J. Dahl, E. W. Dijkstra és C. A. R. Hoare, szerk. *Structured Programming*. London, UK, UK: Academic Press Ltd., 1972. ISBN: 0-12-200550-3.

[2] Thomas H. Cormen és tsai. *Introduction to Algorithms, Third Edition*. 3rd. The MIT Press, 2009. ISBN: 0262033844, 9780262033848.

[3] Glenn E. Krasner és Stephen T. Pope. "A Cookbook for Using the Model-View-Controller User Interface Paradigm in Smalltalk-80". *J. Object Oriented Program.* 1.3 (1988. aug.), old. 26–49. ISSN: 0896-8438. URL: `http://dl.acm.org/citation.cfm?id=50757.50759`.

[4] E. Dijkstra. "Classics in Software Engineering". Szerk. Edward Nash Yourdon. Upper Saddle River, NJ, USA: Yourdon Press, 1979. Fej. Go to Statement Considered Harmful, old. 27–33. ISBN: 0-917072-14-6. URL: `http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1241515.1241518`.

?listfigurename?

?listtablename?

List of Codes