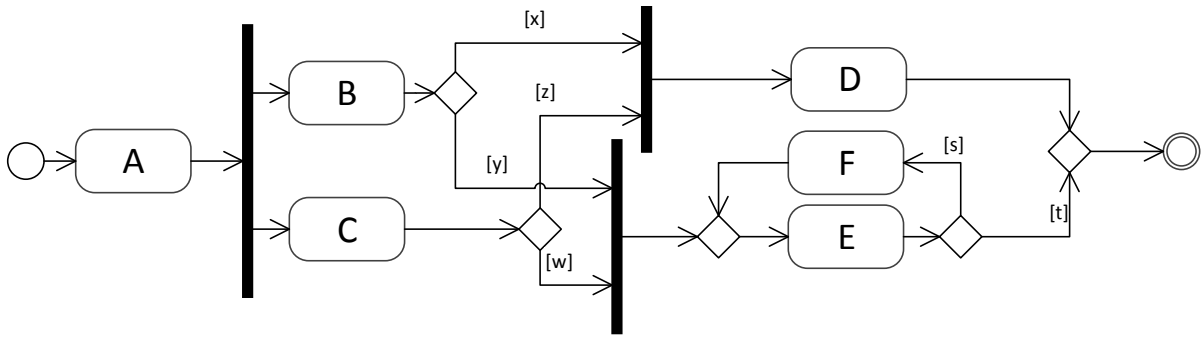
4. gyakorlat – Modellek ellenőrzése és tesztelése – Megoldások

1. Folyamat statikus analízise

Ellenőrizzük az alábbi folyamatmodellt.



a) Milyen feltételek mellett teljesen specifikált a folyamat?
b) Milyen feltételek mellett determinisztikus is a folyamat?
c) Milyen feltételek mellett holtpontmentes is a folyamat?
d) Milyen további feltételek mellett termináló a folyamat?
e) Jólstrukturált-e a folyamat? Ha nem, hogyan lehetne azzá tenni? Segít-e ez a problémákon?

Megoldás

a) Az állapotgépekkel analóg módon a folyamat akkor teljesen specifikált, ha minden elágazáshoz érkezéskor (decision) a kimenő élek őrfeltételei közül legalább az egyik igaz – magyarul mindig járható legalább az egyik kimenő él. Ehhez elégséges feltétel, hogy teljes feltételrendszert alkossanak az őrfeltételek, de igazából elég annyit megkövetelni, hogy feltételesen teljes rendszer legyen, tehát ha odakerülhet a vezérlés, akkor álljon fenn, hogy legalább az egyik kimenő igaz (a harmadik decisionnél ez számít).
   - Következésképp:
     - $x \vee y$
     - $z \vee w$
     - $w \wedge y \rightarrow s \vee t$ (a jobb oldal a ciklus bárhány végrehajtása után igaz).

b) A folyamat akkor determinisztikus, ha minden elágazáshoz érkezéskor (decision) a kimenő élek őrfeltételei közül legfeljebb az egyik igaz – magyarul mindig csak az egyik kimenő él járható. Ehhez elégséges feltétel, hogy kizárólagos feltételrendszert alkossanak az őrfeltételek, de igazából elég annyit megkövetelni, hogy feltételesen kizárólagos rendszer legyen, tehát ha odakerülhet a vezérlés, akkor álljon fenn, hogy legfeljebb az egyik kimenő igaz (a harmadik decisionnél ez számít).
   - Következésképp:
     - $\neg(x \wedge y)$
     - $\neg(z \wedge w)$
     - $w \wedge y \rightarrow \neg(s \wedge t)$ (a jobb oldal a ciklus bárhány végrehajtása után igaz)
   - Az a) feladatrésszel összesítve némileg egyszerűsíthetjük az első két kritériumot:
     - $y = \neg x$ (ugyanis x és y nem lehetnek egyszerre igazak és nem lehetnek egyszerre hamisak, tehát x XOR y)
     - $w = \neg z$

c) Holtpont (deadlock): örök várakozás. Először is nyilván feltesszük, hogy maguk az elemi tevékenységek holtpontmentesek – ha nem így lenne, akkor nem a folyamatmodell a holtpont forrása. Holtpont itt úgy fordulhat elő, hogy a fork után az egyik ág a fenti, a másik ág a lenti joint választja, és örökké várnak egymásra. Baj van, ha az egyik joinba csak az egyik ág fut be.
   - Következésképp:
     - $x = z$
     - $y = w$

d) Először is nyilván feltesszük, hogy maguk az elemi tevékenységek terminálnak – ha nem így lenne, akkor nem a folyamatmodell a nemterminálás forrása. A folyamatmodellben probléma lehet, ha

a join örökké vár – de a holtpontot már kizártuk. Utolsó lehetőségként marad a livelock, vagyis a végtelen ciklus. Ebben akkor ragadunk bele, ha ráfutunk, és a kilépési feltétel sose válik igazzá.

- Következésképp:
  - Ha $\neg x$ (ilyenkor y és w igaz), akkor *előbb-utóbb* t-nek igazzá kell válnia. Érdekesség: ahogy a fenti állításokat, úgy ezt is le lehet írni logikai formulaként (van *előbb-utóbb* szimbólum, a *future* operátor (F)), de az ehhez szükséges ún. temporális logikákat nem tanultuk.
  - $\neg x \rightarrow \mathsf{F}t$

e) A tanult módszerrel megvizsgálva kiderül, hogy nem jólstrukturált. Azzá lehet tenni, ha B és C után van egy join, és utána egyetlen decision. Azzal a feltételezéssel tudjuk jólstrukturálttá tenni, hogy a c) feladatban megállapított összefüggések igazak. Ez a deadlockot automatikusan kiküszöböli, a többi hibalehetőséget viszont nem – legfeljebb a modell átláthatóbbá tételével segít –, így pl. livelock megmaradhat, determinizmust nem garantál.

2. Dinamikus analízis teszteléssel

Az `f()` függvénnyel szemben a következő *követelmény*einek vannak:

R1 Az `f()` függvénynek minden végrehajtása során legalább egyszer outputot kell kiadnia.

R2 Az `f()` függvénynek tetszőleges inputsorozat esetén terminálnia kell.

R3 Az `f()` függvény végrehajtása során kiadott legutolsó output értéke kötelezően 0.

A függvény egy lehetséges megvalósítását adja meg az alábbi C nyelvű kódrészlet:

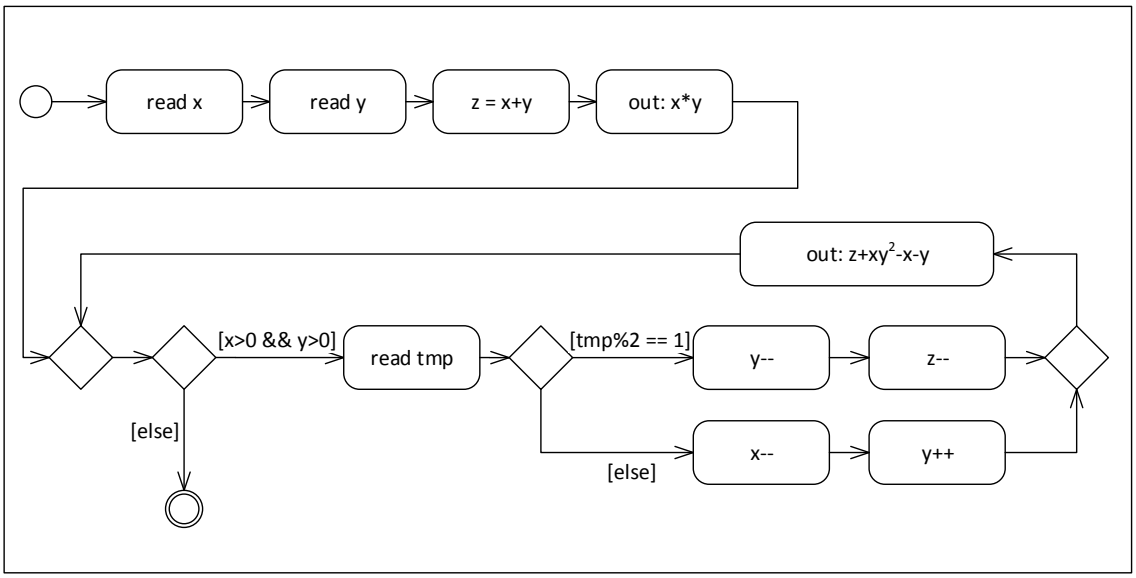
```c
int readInput();
void writeOutput(int out);

void f() {
  int x = readInput();
  int y = readInput();
  int z = x + y;
  writeOutput(x * y);
  while (x > 0 && y > 0) {
    if (1 == readInput() % 2) {
      y--;
      z--;
    } else {
      x--;
      y++;
    }
    writeOutput(z + x * y * y - x - y);
  }
}
```

A következő lépések során ellenőrizzük a függvény működését!

a) Ábrázoljuk folyamatmodellként `f()` vezérlési folyamát!

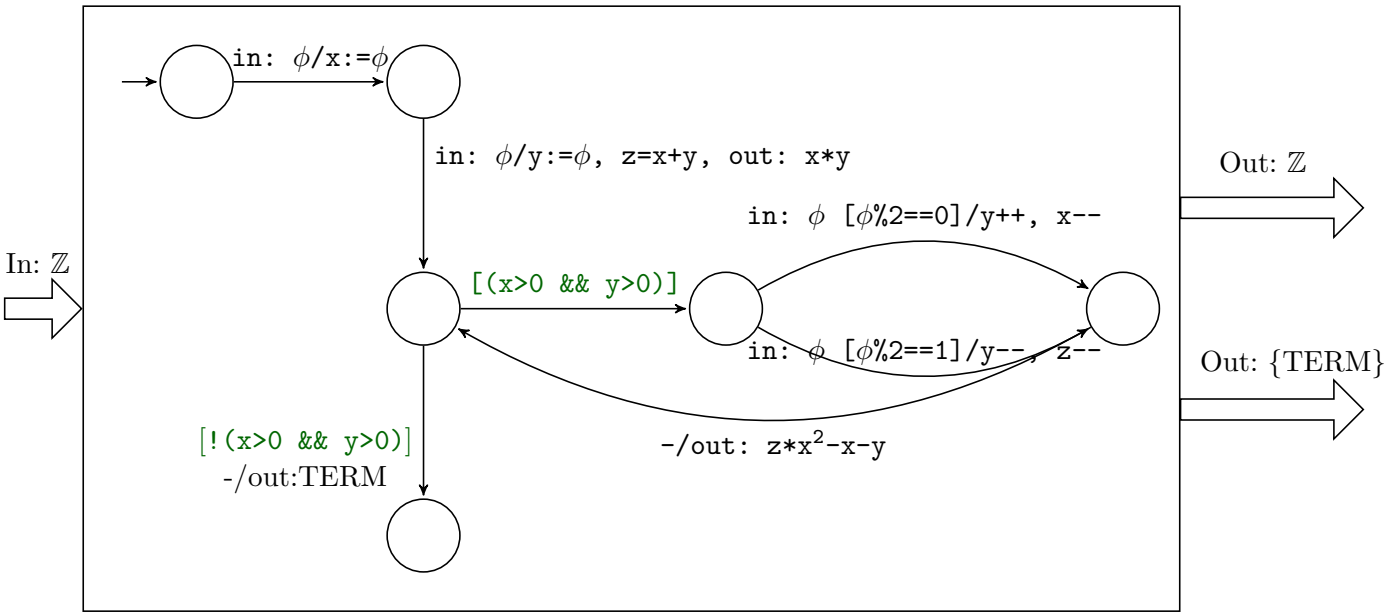
Megoldás. Készítsük el a folyamatmodellt.



b) Miért lehetünk biztosak az R1 teljesülésében?
Megoldás. A folyamatmodellen jól látszik: minden út átmegy az első output adási tevékenységen.

c) Miért lehetünk biztosak az R2 teljesülésében?
Megoldás. Pozitív x és y esetén vagyunk a ciklusban; itt x nem nőhet, ezért a második ág csak véges sokszor hajtódhat végre; így pedig egy idő után csak az első ágat hajthatnánk végre, ahol y előbb-utóbb elfogy. (Van még az az eset is, hogy y negatívba túlcsordul, de akkor is rögtön leáll.)

d) (Kiegészítő feladat.) Építsünk olyan állapotgépet, amely az `f()` függvénnyel ekvivalens módon működik. Modellezzük a `readInput()` hívásokat input csatornaként, valamint a `writeOutput()` hívást output csatornaként. Az `f()` függvény terminálását modellezzük úgy, hogy az automata ad egy speciális outputot, és átmegy egy nyelő (kimenő átmenet nélküli) állapotba.
Megoldás. Tanultunk állapotváltozókat, legyen ilyen az x, y, z. Írjunk az átmeneti élekre őrfeltételeket ezek segítségével, meg akciókat (mint a Yakinduban is). Lehet minden programsorra egy állapot, de lehet sokkal kevesebb is, pl. az egész ciklusmag lehet két hurokél egyazon állapot fölött (kicsit szebb annyira szébontani, hogy először a ciklusfeltételt teszteljük, utána a belső elágazást); ezek mind helyes megvalósítások lesznek.



e) Az R3 követelményt teszteléssel ellenőrizzük. A $t_1 = \langle 2, 3, 5, 7, 11, 13, ... \rangle$ input szekvencia a tesztesetünk. Detektálunk-e hibát?
Megoldás. Mit csinál a program?

- $t_1 = \langle 2, 3, 5, 7, 11, 13, ... \rangle$

- $x = 2$
- $y = 3$
- $z = 5$
- out: 6
- belépünk a ciklusba
- true ág
- $y = 2$
- $z = 4$
- out: $4 + 8 - 2 - 2 = 8$
- bent maradunk a ciklusban
- true ág
- $y = 1$
- $z = 3$
- out: $3 + 2 - 2 - 1 = 2$
- bent maradunk a ciklusban
- true ág
- $y = 0$
- $z = 2$
- out: $0 + 2 - 2 - 0 = 0$
- kilépünk a ciklusból
- futás vége

f) Számítsunk *utasításszintű tesztfedést* a programkódon, vagyis hogy az utasítások mekkora hányadát járja be a tesztelt függvény a teszteset végrehajtása során! Hogy jelenik meg ez a mérőszám a vezérlési folyamon?
Megoldás. 10 utasítást hajt végre és 2 utasítást kihagy $10/12 \approx 83\%$-os utasításfedés. A vezérlési folyamon a csomópontokat lehet karikázni, és a csomópont szintű fedettséget jelenti (kis eltéréssel / korrekcióval, mert a decision-merge pár csak egyszer számított utasításnak).

g) Az R3 követelményhez a $t_2 = \langle 1, 2, 4, 1, 2, 4, ... \rangle$ input szekvencia a második tesztesetünk. Detektál-e hibát ez a teszteset? Mekkora a két tesztből álló tesztkészlet együttes utasításfedése?
Megoldás. $t_2 = \langle 1, 2, 4, 1, 2, 4, ... \rangle$ Mit csinál a program?

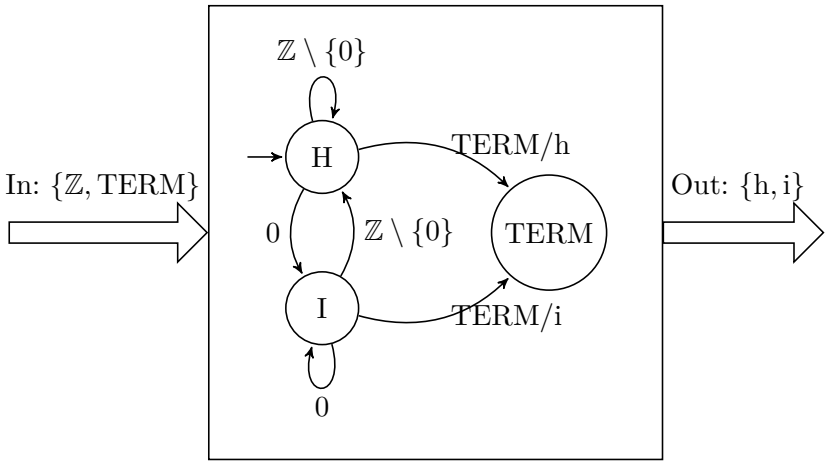
- $x = 1$
- $y = 2$
- $z = 3$
- out: 2
- belépünk a ciklusba
- false ág
- $x = 0$
- $y = 3$
- out: $3 + 0 - 0 - 3 = 0$
- kilépünk a ciklusból.
- futás vége

Tehát nem sérült az R3. A teszteset utasításfedése 100%.

h) (Kiegészítő feladat.) Milyen tesztfedettségi metrika számítható a korábban megépített állapotgép alapján?
Megoldás. Az állapotgépen fedettség szempontjából hasonló a helyzet, mint a kódban, amennyiben elég közeli formában építettük fel – de a javasolt összevonások után jóval egyszerűbb, nem látszik rajta ez a fedettségi mérték (van persze állapotfedettség, de az most akár 100% is lehet; megfelelő összevonásokkal itt csak az átmenetfedettség marad el a 100%-tól).

i) Készítsünk olyan *tesztorákulum* állapotgépet, amely `f()` input és output szekvenciái és terminálása alapján el tudja dönteni, hogy az adott lefutás során az R3 követelmény sérült-e! Hogy viselkedik az orákulum a fenti tesztinputra?
Megoldás.
A tesztorákulum a tesztbemenet és a valós kimenet alapján eldönti a teszt eredményét és I/H-t ad vissza. Az automata két legfontosabb állapota, hogy I („utolsó input 0") és H („utolsó input nem 0"), ezek között értelemszerűen ugrál. A SUT terminálódásának eseményére pedig átmegy a nyelő állapotba, és rendre igaz („i"), ill. hamis („h") kimenetet ad. (A kezdőállapot működése

nincs teljesen specifikálva, lehet mondjuk az „utolsó input nem 0” állapot). Az orákulumon az outputok és a terminálás alapján végigjátszható, hogy (az elvárásoknak megfelelően) „i” outputot ad ki.



j) Adjunk meg egy tesztesetet, amely kimutat egy hibát a programban! Milyen elv alapján sejthettük volna meg, hogy a korábban összeállított tesztkészletünk kiegészítésre szorul?
Megoldás. Egy lehetséges teszteset: $t_3 = \langle -1, -1, -1, ... \rangle$. Mit csinál a program?
- $x = -1$
- $y = -1$
- $z = -2$
- out: 1
- nem lépünk be a ciklusba
- futás vége

Ez megsérti az R3 követelményt, az orákulum fülön is csípi.
Tanulság: nem elég az utasítás vagy ág szintű fedettséget nézni, a *robusztusságot* is meg kell vizsgálni a szélső vagy kritikus inputértékekre és közvetlen környezetükben (jelen esetben ilyen a 0 az x és y esetén). Ez nagyon hasznos lesz a programozásos házi feladatoknál!
Ez egy dinamikus ellenőrzési módszer, mert konkrétan *végre kellett hajtanunk* a lépéseket.

k) (Kiegészítő feladat.) Vegyük hozzá a tesztkészlethez a $t_3 = \langle 0, 1, 2, 3, 4, 5, ... \rangle$ és $t_4 = \langle 1, 2, 3, 4, 5, 6, ... \rangle$ input szekvenciákat mint további teszteseteket! Detektálunk-e hibát? Hogyan változnak a tesztfedési számok?
Megoldás. Otthoni munka.

l) (Kiegészítő feladat.) Határozzuk meg, hogy pontosan milyen input szekvenciák esetén sérül R3, és javasoljunk hibajavítást!
Megoldás. Lássuk csak!
- triviális megoldás a `void f() { writeOutput(0); }`, de inkább olyan megoldást keressünk, ami legalább nyomokban őrzi az eredeti működést.
- ha x és y közül az egyik negatív és a másik nem nulla, és nem lépünk be a ciklusba, akkor $x \cdot y$ lenne az utolsó output – ilyenkor el kell dönteni, mi a helyes viselkedés, pl. a ciklus helyett mondjuk ki lehetne adni egy 0 outputot. Vagy eleve elutasítani a negatív bemenetet, ha az érvénytelennek számít.
- $z = x + y$ végig igaz, így a ciklusmagban kiadott outputból egyedül a szorzattag marad.
- ha belépünk legalább egyszer a ciklusba, akkor a ciklus utolsó lefutása után, feltéve ha nem volt negatívba overflow, akkor x vagy y 0 lett, tehát a szorzatuk is 0, ez eleve stimmel.
- azt kell tehát még kivédeni, hogy ne csorduljon túl y `MAXINT`-ból negatívba eldöntendő, hogy ilyenkor mi a teendő, pl. egy magas küszöbszám feletti y értékek esetén hibát adunk és leállunk, vagy detektáljuk az overflow-t és kiadunk 0-t stb.