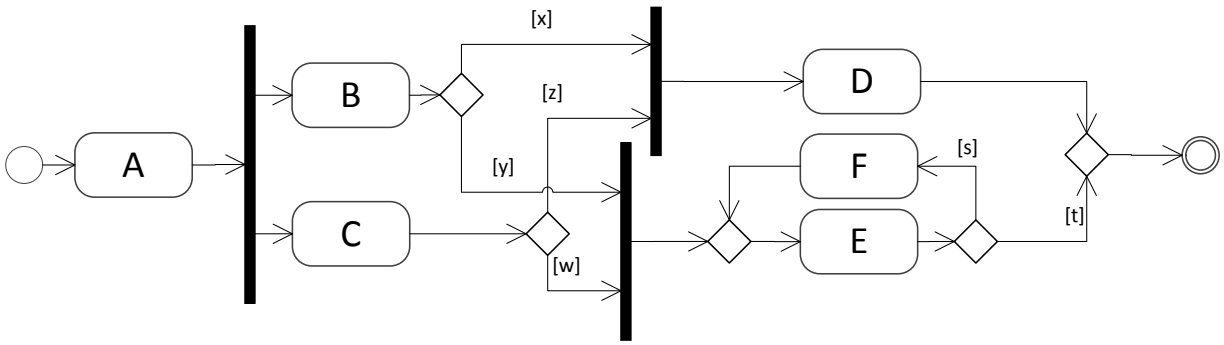
5. gyakorlat – Modellek ellenőrzése és tesztelése – Megoldások

Figyelem: Jelen anyag belső használatra készült megoldási útmutató, melyet a ZH felkészülés segítése érdekében publikáltunk. A feladatok részletesebb megoldása magyarázattal gyakorlaton hangzott el.

1. feladat

Ellenőrizzük az alábbi folyamatmodellt.



a. Milyen feltételek mellett teljesen (ellentmondásmentesen) specifikált a folyamat?
b. Milyen feltételek mellett determinisztikus is a folyamat?
c. Milyen feltételek mellett holtpontmentes is a folyamat?
d. Milyen további feltételek mellett terminál 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:

     – $x \vee y$
     – $z \vee w$
     – $w \wedge y \implies s \vee t$ (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:

     – $\neg(x \wedge y)$
     – $\neg(z \wedge w)$
     – $w \wedge y \implies \neg(s \wedge t)$ (a jobb oldal a ciklus bárhány végrehajtása után igaz)

   - Az előzővel összesítve némileg egyszerűsíthetjük az első két kritériumot:

  - $y = \neg x$
  - $w = \neg z$

c. Holtpont (deadlock) = örök várakozás; 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 sem 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 stb.), de az ehhez szükséges ún. temporális logikákat nem tanultuk.
  - $\neg x \implies \mathrm{F}t$

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

2. feladat

Az `f()` függvénnyel szemben a következő követelményeink 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:

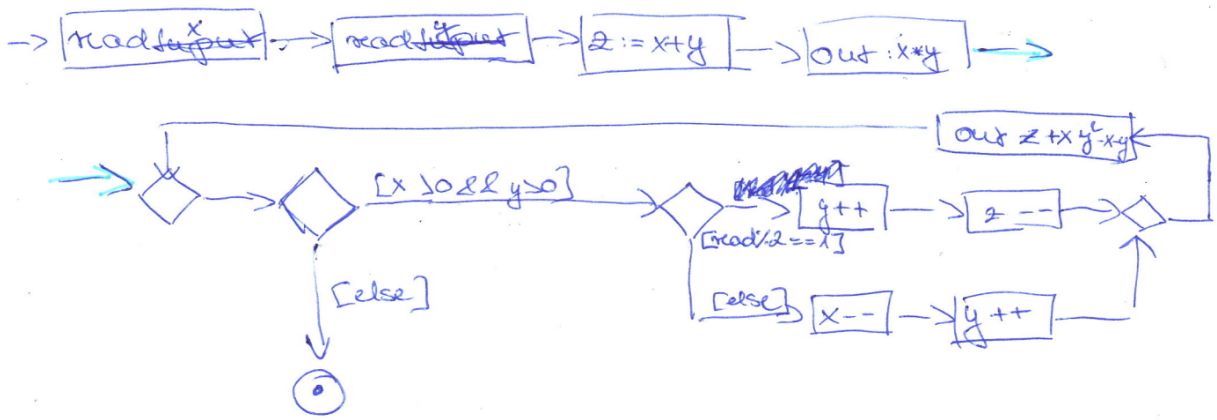
```
int readInput();
void writeOutput(int out);

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!
b. Miért lehetünk biztosak az R2 teljesülésében?
c. 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.
d. Építsünk olyan adatfolyamhálót, amely összekapcsolja a tesztelés alatt álló (SUT) automatamodellt, a tesztorákulumot, és egy olyan komponenst, amely a fenti tesztszekvenciát generálja!
e. Miért lehetünk biztosak az R1 teljesülésében?
f. Számítsunk *utasításszintű tesztfedést*, vagyis hogy az utasítások mekkora hányadát járja be a tesztelt függvény a teszteset végrehajtása során! Hogy jelenik meg ez a mérőszám a vezérlési folyamon?
g. Milyen tesztfedettségi metrika számítható a korábban megépített állapotgép alapján?
h. Készítsünk olyan *tesztorákulum* automatát, 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?
i. Kimaradt-e a fedésből a vezérlési folyam, ill. az automatamodell bármelyik része? Milyen fedési metrika mutathatja ezt ki?
j. Az R3 követelményt teszteléssel ellenőrizzük. A $t_1 = \langle 2, 3, 5, 7, 11, 13, ... \rangle$ input szekvencia a tesztesetünk. Detektálunk-e hibát?
k. Adjunk meg egy tesztesetet, amely kimutat egy hibát a programban! Milyen elv alapján sejthettük volna meg, hogy a korábban összeállított tesztkészletünk kiegészítésre szorul?
l. Az R3 követelményt teszteléssel ellenőrizzük. A $t_2 = \langle 1, 2, 4, 1, 2, 4, ... \rangle$ input szekvencia a tesztesetük. Detektál-e hibát ez a teszteset? Mekkora a két tesztből álló tesztkészlet együttes utasításfedése?
m. *Otthoni munka: 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?
n. *Kiegészítő feladat: határozzuk meg, hogy pontosan milyen input szekvenciák esetén sérül R3, és javasoljunk hibajavítást!

Megoldás

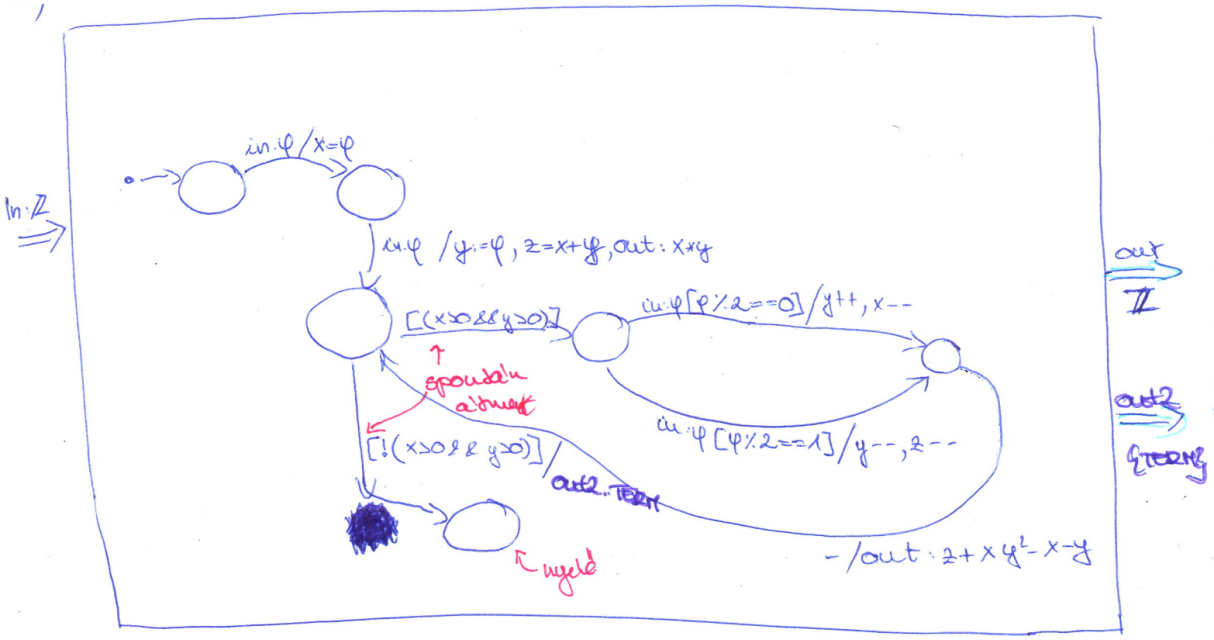
a. Készítsük el a folyamatmodellt.



b. 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.)

c. 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.



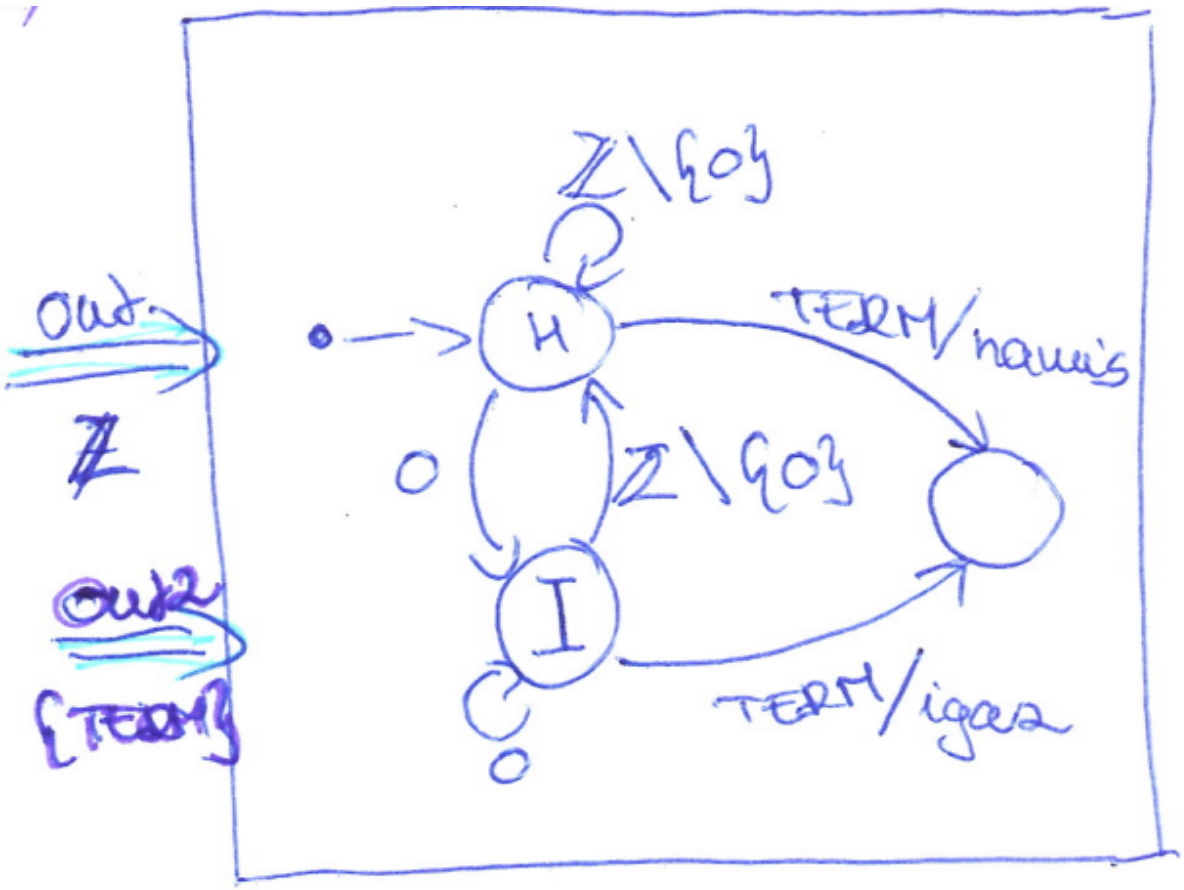
d. Odáig egyszerű, hogy tesztgenerátor csomópontból egy csatornán kijön a tesztszekvencia, bemegy a SUT csomópontba, onnan kijön az output és a terminálás (egy csatorna vagy két párhuzamos), ez utóbbiak bemennek az orákulum csomópontba. A tesztgenerátor működése egy triviális ciklikus generátor automata, a SUT-ot korábban modelleztük automataként, az orákulumot később fogjuk. **Fontos:** általános esetben az orákulum is megkapja az inputot, és azt is figyelembe veheti!

e. A folyamatmodellen jól látszik: minden út átmegy az első output adási tevékenységen.

f. 9 utasítást hajt végre és 2 utasítást kihagy –> 9/11 ~ 82%-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 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 élfedettség marad el a 100%-tól).

h. Az automata két legfontosabb állapota, hogy “utolsó input 0” és “utolsó input nem 0”, ezek között értelemszerűen ugrál. A SUT terminálódásának hírére pedig átmegy a nyelő állapotba, és rendre “elfogad”, ill. “elutasít” kimenetet ad. (A kezdőállapot működése nincs teljesen specifikálva, lehet mondjuk a “utolsó input nem 0” állapot). **f2** Az orákulumon az outputok és a terminálás alapján végigjátszható, hogy (az elvárásoknak megfelelően) “elfogad” outputot ad ki.



i. Ha a folyamatmodell vezérlési éleit, ill. az állapotgép átmeneteit is jelöljük, akkor azt láthatjuk, hogy azokban is jártunk mind. Ehhez tartozik egy élfedési metrika, ami a programok esetén ágfedést jelent – most ez is 100%.

j. 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
- Az orákulumon az outputok és a terminálás alapján végigjátszható, hogy (az elvárásoknak megfelelően) “elfogad” outputot ad ki.

- A két tesztet együtt nézve, a program összes utasítását végrehajtottuk, ez 100% utasításfedés. A folyamatmodellen karikázva elvileg azt látjuk, hogy minden csomópontban jártunk, az állapotgépnek is minden élét bejártuk.

k. Egy lehetséges teszteset: $t = \langle -1, -1, -1, ... \rangle$. Mit csinál a program?

- $x = -1$
- $y = -1$
- $z = -2$
- out: 1
- nem lépünk be a ciklusba
- futás vége
- ez bizony megsérti a követelményt, az orákulum fülön is csípi.
- 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!

l. $t_2 = \langle 1, 2, 4, 1, 2, 4, ... \rangle$ 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.

m. Otthoni munka.

n. 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 is negatív, 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 overflowoljon 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.