Bajczi Levente
XAO5ER

Formális Módszerek (VIMIMA07)

Házi Feladat dokumentáció

Formális modell

A megalkotott modell teljes egészében (részleteiben a dokumentáció további szekciói taglalják):

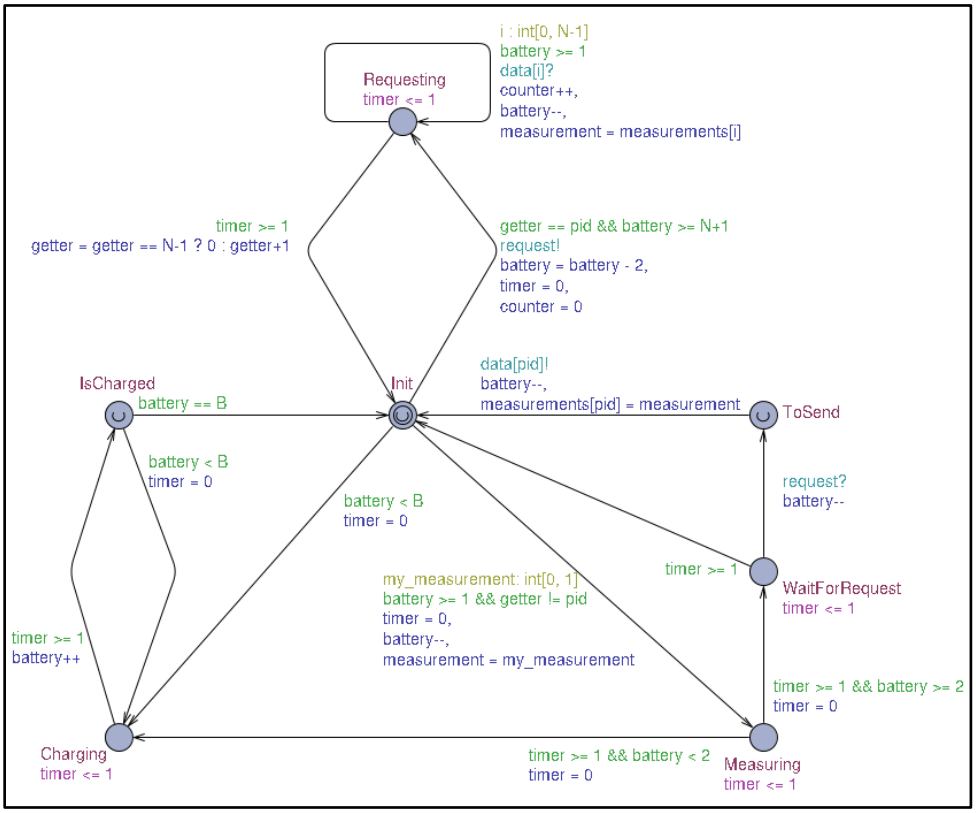
Globális deklarációk:

```
const int N = 3;
const int B = 6;
int[0,N-1] getter;
broadcast chan request;
urgent chan data[N];
int[0,1] measurements[N];
```

Processz-lokális deklarációk:

```
int[0,B] battery = B;
clock timer;
int[-1,N-1] counter = -1;
int[0,1] measurement;
```

Sensor (parameter: `int[0,N-1] pid`):



Tervezési lépések

Ez a szekció leírja a tervezési lépéseket ami az informális leírástól a formális modell megalkotásáig vezetett.

Követelmények

Az informális leírásból a következő (szintén informális, de strukturált) listát állítottam össze a követelményekről:

1. *A szenzorhálózat N számú szenzorból áll.*
- ***1.1.*** *Pontosan 1 szenzor kérő típusú egy adott pillanatban*
  - ***1.1.1.*** *A szenzorok váltják ezt a szerepet egymás között: 0, 1, .. N-1, 0*
- ***1.2.*** *Aki nem kérő típusú, az küldő típusú szenzor*

2. *A szenzorhálózat szenzorai tevékenységek között várakozás nélkül váltanak.*
- ***2.1.*** *Egy szenzor töltheti az akkumulátorát.*
  - ***2.1.1.*** *A szenzor addig tölti az akkumulátorát, amíg tele nem lesz.*
  - ***2.1.2.*** *1 egységnyi töltést 1 időegység alatt tölt vissza a szenzor.*
  - ***2.1.3.*** *Az akkumulátor teljes feltöltése után alapállapotba*
- ***2.2.*** *Egy kérő típusú szenzor kérhet jelentést.*
  - ***2.2.1.*** *Egy kérő típusú szenzor broadcast csatornán értesítés küld a jelentéskérésről.*
  - ***2.2.2.*** *A broadcast értesítés azonnal megtörténik.*
  - ***2.2.3.*** *A broadcast értesítés 2 egységnyi töltést fogyaszt.*
  - ***2.2.4.*** *Egy kérő típusú szenzor dedikált csatornákon fogadja az adatot.*
  - ***2.2.5.*** *A válaszokra összesen 1 időegységet vár a szenzor.*
  - ***2.2.6.*** *Egy válasz feldolgozása azonnal megtörténik.*
  - ***2.2.7.*** *Egy válasz feldolgozása 1 egységnyi töltést fogyaszt.*
  - ***2.2.8.*** *A beérkezett jelentések számát a kérő szenzor eltárolja.*
  - ***2.2.9.*** *A válaszok feldolgozása után alapállapotba visszatér (tehát újra tevékenységet választ)*
- ***2.3.*** *Egy küldő típusú szenzor mérhet, és küldhet jelentést, ha kap kérést.*
  - ***2.3.1.*** *A mérés 1 időegység alatt történik meg.*
  - ***2.3.2.*** *A mérés 1 egység töltést fogyaszt.*
  - ***2.3.3.*** *A mérés egy véletlen szám 0 és 1 közül.*
  - ***2.3.4.*** *Egy küldő típusú szenzor kaphat jelentéskérést.*
  - ***2.3.5.*** *A jelentéskérés 1 egység töltést fogyaszt.*
  - ***2.3.6.*** *A jelentéskérés azonnal megtörténik.*
  - ***2.3.7.*** *A jelentéskérésre 1 időegységet vár a szenzor.*
  - ***2.3.8.*** *A jelentéskérés után elküldi a mért adatot dedikált csatornán a kérő szenzornak.*
    - ***2.3.8.1.*** *A jelentésküldés azonnal megtörténik.*
    - ***2.3.8.2.*** *A jelentésküldés 1 egység töltést fogyaszt.*
  - ***2.3.9.*** *A mért adat elküldése, vagy az időkeret letelte után alapállapotba visszatér*

3. *Mindegyik szenzor rendelkezik B kapacitású akkumulátorral.*
- ***3.1.*** *Egy tevékenységhez csak akkor kezdhet hozzá egy szenzor, ha elég a töltöttsége.*
- ***3.2.*** *Ha nem tud jelentéskérést fogadni a mérés után, a szenzor töltési tevékenységbe kezd.*
- ***3.3.*** *Akkor kezdhet egy szenzor tölteni, ha nincs teljesen feltöltve az akkumulátora.*

Követelmények kiegészítése

E-mail konzultáció alapján a következőknek is teljesülnie kell:

1. *Szerepeljen az adatátadás a modellben is.*
2. *Az akkumulátor feltöltése után a szenzor rögtön visszatér alapállapotba.*
3. *Akkor kezdhet adatot kérni a kérő szenzor, ha töltöttsége alapján minden szenzortól tud választ is fogadni.*
4. *Akkor kezdhet mérni a szenzor, ha töltöttsége alapján azt el is tudja sikeresen végezni (nem kell feltétlen tudnia elküldeni az adatot).*
5. *Akkor fogadhat jelentéskérést mérés után a szenzor, ha töltöttsége alapján fogadni, majd adatot küldeni is tud.*

Követelmények megvalósítása

Annak bemutatására, hogy az általam megalkotott modell megfelel az elvárásoknak, bemutatom, mely részei valósítják meg az adott követelményt.

1. *A szenzorhálózat N számú szenzorból áll.*

Szabad paraméterként tartalmazza a *pid* értéket minden szenzor a [0;N-1] tartományon. Mivel a rendszer példányosításakor nem adok meg ennek értéket, minden lehetőséget példányosítani fog az eszköz – ezzel N darab szenzor jön létre. Az N egy globális konstans.

1.1. *Pontosan 1 szenzor kérő típusú egy adott pillanatban*

A kérő szenzor szerepét egy globális *int[0,N-1] getter* változó tárolja. Ahhoz, hogy egy szenzor eldönthesse, hogy ő éppen kérő típusú-e, a saját *pid* értékét kell ezzel összehasonlítania – ha egyezik, kérő, ha nem egyezik, küldő. Ezzel mindig 1 kérő és N-1 küldő lesz.

1.1.1. *A szenzorok váltják ezt a szerepet egymás között: 0, 1, .. N-1, 0*

Amikor egy szenzor befejezi az adatkérést és -feldolgozást, visszatér az alapállapotba, és átállítja a *getter* értékét:

```
getter = getter == N-1 ? 0 : getter+1
```

Ezzel amennyiben *N-1* az értéke (tehát a legmagasabb *pid* értékű szenzor volt az aktuális kérő), 0-ra állítja, egyébként 1-el növeli. Eredetileg jól beállított értékkészletű változó túlcsordulásával akartam megoldani, azonban az UPPAAL eszköz nem így kezeli a változókat, ezért hibát okozott amikor „túlcsordult”.

1.2. *Aki nem kérő típusú, az küldő típusú szenzor*

Ld. **1.1.** – mindig N-1 küldő szenzor lesz.

2. *A szenzorhálózat szenzorai tevékenységek között várakozás nélkül váltanak.*

Az alapállapot (*Init*) „urgent”, tehát nem telhet idő benne. Ez azt eredményezi, hogy nincs üresjáraton egy szenzor sem – amennyiben ezt valami kikényszerítené, az hiba (ilyen eset pl.: B == N esetén soha nincs elég töltöttség a kérő szenzornak a kérés elvégzéséhez, viszont amennyiben tele van az akkumulátora, töltésbe se tud kezdeni – ez viszont pont olyan helyzet, amit nem szeretnénk lekezelni, sőt, jó ha ezt az eszköz hibásnak jelzi).

2.1. *Egy szenzor töltheti az akkumulátorát.*

Létezik átmenet az alapállapotból (*Init*) a töltési állapotba (*Charging*).

2.1.1. *A szenzor addig tölti az akkumulátorát, amíg tele nem lesz.*

A *Charging* állapotból az *Init* állapotba egyetlen irányított út vezet, az *IsCharged* állapoton keresztül. Ez az átmenet azonban csak `battery == B` esetben engedélyezett.

2.1.2. *1 egységnyi töltést 1 időegység alatt tölt vissza a szenzor.*

A *Charging* állapotba érkezéskor a *timer* nevű lokális óraváltozó értéke minden esetben 0 (*IsCharged*-ból is, és *Init*-ből is) a közvetlen átmeneteken. Ebben az állapotban addig tartózkodhatunk, amíg `timer <= 1` az invariáns miatt, és akkor hagyhatjuk el az egyetlen kifele vezető átmeneten át, amikor `timer >= 1` az őrfeltétel miatt. Ezzel a *Charging* állapotban biztosan 1 egységet fogunk tartózkodni. Ezen felül az egyetlen kivezető átmeneten nő 1 egységgel a töltöttség: `battery++`. Továbbá, a *Charging* állapotba való visszatérés egyből megtörténik, mivel az *IsCharged* állapot „urgent”. Tehát 1 időegység pontosan 1 töltöttség egységet tölt vissza.

2.1.3. *Az akkumulátor teljes feltöltése után alapállapotba kerül.*

Az *IsCharged* („urgent”) állapotból csak akkor lehet az alapállapotba jutni, ha az akkumulátor teljesen fel van töltve. Továbbá amennyiben ez igaz, ez az egyetlen engedélyezett átmenet, és mivel a forrás „urgent”, muszáj késlekedés nélkül alapállapotba visszatérnie.

2.2. *Egy kérő típusú szenzor kérhet jelentést.*

Létezik átmenet az alapállapotból (*Init*) a kérő állapotba (*Requesting*).

2.2.1. *Egy kérő típusú szenzor broadcast csatornán értesítést küld a jelentéskérésről.*

Az *Init* állapotból *Requesting* állapotba történő átmeneten szerepel a `request!` szinkronizációs kifejezés, ami a *request* broadcast csatornán történő üzenetküldést jelenti.

2.2.2. *A broadcast értesítés azonnal megtörténik.*

Egy „urgent” állapotból (*Init*) lépünk át a *Requesting* állapotba, ami alatt nem megengedett az idő múlása.

2.2.3. *A broadcast értesítés 2 egységnyi töltést fogyaszt.*

Az *Init* állapotból *Requesting* állapotba történő átmeneten szerepel a `battery = battery - 2` kifejezés, ami az akkumulátor töltöttségéből 2 egységet elvesz.

2.2.4. *Egy kérő típusú szenzor dedikált csatornákon fogadja az adatot.*

A *Requesting* állapotból induló hurokél reprezentálja az adat fogadását. A küldéssel való egyidejűséget a `data` channel tömb elemein történő szinkronizáció reprezentálja, az adatátadást a globálisan elérhető `measurements: int[0,1]` tömb elemeinek írása és olvasása reprezentálja. Az átmeneten egy sorsolás található (`i : int[0, N-1]`), aminek a nemdeterminizmusa miatt az eszköz minden lehetőséget meg fog próbálni – tehát olyan, mintha minden szenzor csatornáján egyszerre figyelne a kérő szenzor. Az adatot egy lokális változóba menti (`measurement = measurements[i]`), de ezt nem fogja felhasználni.

2.2.5. *A válaszokra összesen 1 időegységet vár a szenzor.*

A *Requesting* állapotba érkezéskor (ez csak az *Init* állapotból lehetséges) a timer értékét nullázzuk, majd az állapoton belüli `timer <= 1` invariáns és az *Init* állapotba tartó átmenet `timer >= 1` őrfeltétele biztosítja, hogy pontosan 1 időegységet tartózkodjunk a *Requesting* állapotban, ezzel ennyi időt tölthessünk csak a válaszokra várással.

2.2.6. *Egy válasz feldolgozása azonnal megtörténik.*

A *Requesting->Requesting* hurokél végrehajtása alatt nem telik el idő, mivel azonnal megtörténik amint tud a `data[i]` channel „urgent” tulajdonsága miatt.

2.2.7. *Egy válasz feldolgozása 1 egységnyi töltést fogyaszt.*

Az adatfogadást reprezentáló élen a töltöttséget 1 egységgel csökkentjük: `battery--`

2.2.8. *A beérkezett jelentések számát a kérő szenzor eltárolja.*

A lokális *counter* változóban számoljuk, hány kérés érkezett be. A *Requesting* állapotba való első belépéskor 0 az értéke (`counter = 0` miatt), majd minden adatfogadással 1-el növeljük (`counter++`).

2.2.9. *A válaszok feldolgozása után alapállapotba visszatér (tehát újra tevékenységet választ)*

Amint engedélyezetté válik a *Requesting->Init* átmenet a guard teljesülése miatt, meg is kell ezt lépnünk mivel a *Requesting* állapot invariáns kifejezése sértetté válna további várakozás hatására.

2.3. *Egy küldő típusú szenzor mérhet, és küldhet jelentést, ha kap kérést.*

Létezik átmenet az alapállapotból (*Init*) a *Measuring*, onnan a *WaitForRequest*, majd onnan a *ToSend* állapotba. Ezekkel (ebben a sorrendben) tud a szenzor **mérni**, **kapni kérést**, **küldeni adatot**.

2.3.1. *A mérés 1 időegység alatt történik meg.*

A mérést a *Measuring* állapotban végzi el a szenzor, ahová érkezve a *timer* 0-ra van állítva, az invariáns miatt maximum 1 egységet várakozhat a szenzor, a kimenő átmenetek pedig legalább 1 egység után engedélyezettek. Tehát ebben az állapotban pontosan 1 időegységet tölt a szenzor.

2.3.2. *A mérés 1 egység töltést fogyaszt.*

A *Measuring* állapotba mutató átmenet csökkenti 1-el az akkumulátor töltöttségét: `battery--`

2.3.3. *A mérés egy véletlen szám 0 és 1 közül.*

A mérést a *Measuring* állapotba mutató átmenet szelekciós kifejezése (0 és 1 közül választ) valósítja meg: `my_measurement: int[0, 1]`

2.3.4. *Egy küldő típusú szenzor kaphat jelentéskérést.*

A mérés elvégzése után, amennyiben van elég töltöttsége az akkumulátornak, a szenzor átkerül a *WaitForRequest* állapotba, ahonnan elérhető a request csatornán történő üzenetfogadás (szinkronizáció): `request?`

2.3.5. *A jelentéskérés 1 egység töltést fogyaszt.*

A *Measuring->WaitForRequest* átmeneten történik a jelentéskérés fogadása, és ugyanazon az élen szerepel az akkumulátor töltöttségének 1 egységgel való csökkentése: `battery--`

2.3.6. *A jelentéskérés azonnal megtörténik.*

Mivel a jelentéskérés broadcast csatornán történik, azonnal lépnie kell a fogadónak, amint tud. Ezzel nem telhet el idő a *WaitForRequest->ToSend* átmenetek között.

2.3.7. *A jelentéskérésre 1 időegységet vár a szenzor.*

A jelentéskérésre a *WaitForRequest* állapotban várakozik a szenzor, ahová érkezve a *timer* 0-ra van állítva, az invariáns miatt maximum 1 egységet várakozhat a szenzor, a kimenő átmenetek pedig legalább 1 egység után engedélyezettek. Tehát ebben az állapotban pontosan 1 időegységet tölt a szenzor.

2.3.8. *A jelentéskérés után elküldi a mért adatot dedikált csatornán a kérő szenzornak.*

Amennyiben a *ToSend* állapotba léptünk, az egyetlen átmenet az *Init* állapotba vezet, amin beállítjuk a mért adatot a globális measurements tömb megfelelő elemén (`measurements[pid] = measurement`), illetve szinkronizálunk a megfelelő csatornán (`data[pid]!`). Mivel a „küldő” (! jellel) átmenet kifejezései hamarabb értékelődnek ki, mint a „fogadó”-é (? jellel), ezért a kérő szenzor mindig friss adatot kap.

2.3.8.1. *A jelentésküldés azonnal megtörténik*

Miután megkaptuk a jelentéskérést, az „urgent” *ToSend* állapotba kerülünk. Itt, az „urgent” jelző miatt nem telhet el idő, tehát azonnal elküldjük az adatot.

2.3.8.2. *A jelentésküldés 1 egység töltést fogyaszt.*

A *ToSend->Init* átmeneten csökkentjük az akkumulátor töltöttségét 1 egységgel: `battery--`

2.3.9. *A mért adat elküldése, vagy az időkeret letelte után alapállapotba visszatér*

Amennyiben kaptunk jelentéskérést, azonnal megtörténik az adat elküldése és ezzel visszatérünk az alapállapotba (ld. **2.3.8.1.**). Amennyiben nem kaptunk 1 egység alatt jelentéskérést, a *WaitForRequest* állapot invariánsa 1 időegység után meg lenne sértve, ha nem haladnánk át az *Init* állapotba, mely átmenet csak 1 időegység után kerül engedélyezésre. Tehát pontosan 1 időegység után visszatér az alapállapotba a szenzor.

3. *Mindegyik szenzor rendelkezik B kapacitású akkumulátorral.*

Létezik egy B globális konstans, és minden szenzor akkumulátora erre inicializálódik (`int[0,B] battery = B;`). Ezt nem lehet meghaladni (ld. **2.1.3.**).

3.1. *Egy tevékenységhez csak akkor kezdhet hozzá egy szenzor, ha elég a töltöttsége.*

1. Csak akkor kérünk jelentést, ha mindet fogadni is tudjuk. (*Init->Requesting* átmenet feltétele, hogy a töltöttség legalább N-1+2=N+1 legyen, tehát magunkon kívül mindenkitől tudjunk jelentést fogadni, és a jelentéskérést is el tudjuk küldeni).
2. Csak akkor fogadunk jelentést, ha legalább 1 egységnyire töltött az akkumulátor, tehát fogadni tudjuk (erre ebben a formában jelenleg nincs szükség, mivel ezt biztosítja a 1-es pont, de ha azt megváltoztatnánk, akkor itt hibába futhatnánk – és ártani nem árt).
3. Csak akkor kezdünk el mérni, ha legalább 1 egyésgnyire töltött az akkumulátor, tehát el tudjuk végezni.
4. Csak akkor fogadjuk a jelentéskérést, ha fogadni és adatot küldeni is tudunk, tehát a töltöttségnek legalább 2 egységnek kell lennie.

3.2. *Ha nem tud jelentéskérést fogadni a mérés után, a szenzor töltési tevékenységbe kezd.*

A *Measuring* állapotból 1 időegység után *Charging* állapotba kerülünk, amennyiben a töltöttség nem engedi meg, hogy *WaitForRequest* állapotba kerüljünk.

3.3. *Akkor kezdhet egy szenzor tölteni, ha nincs teljesen feltöltve az akkumulátora.*

Amennyiben B>=2, ez teljesül, mert *Init* állapotból csak akkor kerülhetünk *Charging* állapotba, ha nem teljesen töltött az akkumulátor, és a *Measuring* állapotból csak akkor juthatunk *Charging* állapotba, ha az akkumulátor töltöttsége 0 vagy 1.

A további követelmények teljesülése:

1. *Szerepeljen az adatátadás a modellben is.*

Ld. **2.2.4.**

2. *Az akkumulátor feltöltése után a szenzor rögtön visszatér alapállapotba.*

Ld. **2.1.3.**

3. *Akkor kezdhet adatot kérni a kérő szenzor, ha töltöttsége alapján minden szenzortól tud választ is fogadni.*

Ld. **3.1.**

4. *Akkor kezdhet mérni a szenzor, ha töltöttsége alapján azt el is tudja sikeresen végezni (nem kell feltétlen tudnia elküldeni az adatot).*

Ld. **3.1.**

5. *Akkor fogadhat jelentéskérést mérés után a szenzor, ha töltöttsége alapján fogadni, majd adatot küldeni is tud.*

Ld. **3.1.**

Megjegyzés: Ezek azért teljesülnek a fenti követelmények alapján automatikusan, mivel azoknál lehetett volna máshogy is dönteni, de a további követelmények alapján született a fent bemutatott megoldás.

Bajczi Levente
XAO5ER

Követelmények

A követelmények formalizálása, kiértékelése, és az eredmény magyarázata:

Lehetséges, hogy egyetlen küldő szenzor sem válaszolt a kérő jelentéskérés üzenetére.

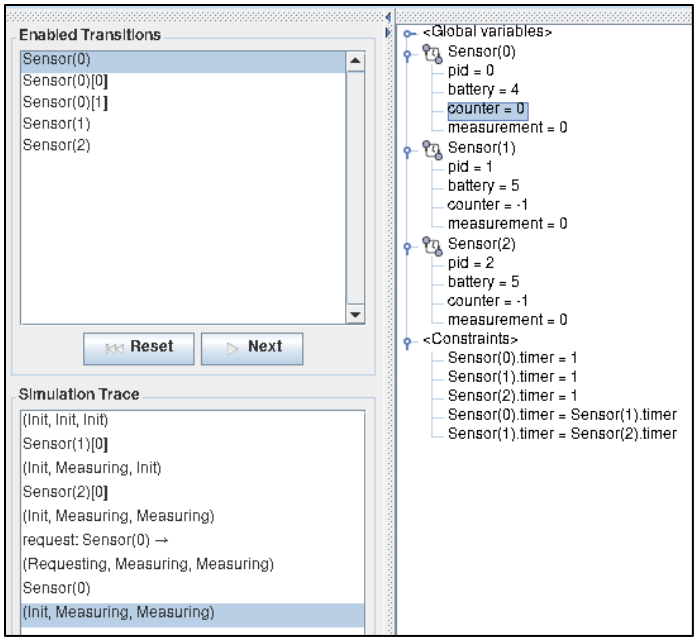
```
E<>exists(i : int[0,N-1])(Sensor(i).Init && Sensor(i).counter == 0)
```

A követelmény formalizálásának megkönnyítése érdekében a counter nem egy értelmezhető értékre, hanem -1 -re van inicializálva. Így az egyetlen lehetőség arra, hogy az Init állapotban a counter értéke 0 legyen (vagy akármi [0; N-1] között) az, hogy a legutóbbi kérés során ennyi válasz érkezett.

Maga a követelmény így hangzik formálisan:

A bejárt útvonalak legalább egyikén legalább egy állapotban igaz, hogy legalább egy szenzor az init állapotban van, és a számlálója 0 értéket vesz fel.

Az UPPAAL szerint ez **teljesül**. A következő példa trace-t adja:



Látszik, hogy a 0. szenzor counter-je 0, és init állapotban van. Előtte Requesting állapotban volt, de nem kapott egy választ sem.

Lehetséges, hogy mindegyik küldő szenzor válaszolt a kérő jelentéskérés üzenetére.

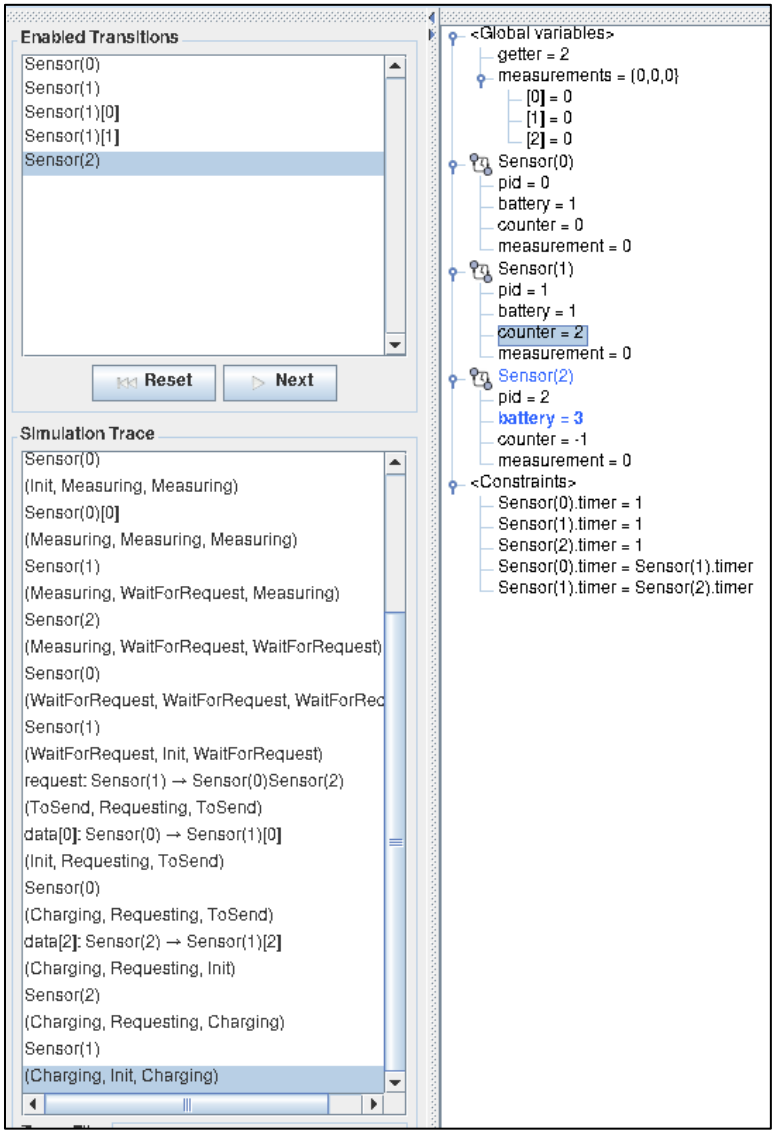
```
E<>exists(i : int[0,N-1])(Sensor(i).Init && Sensor(i).counter == N-1)
```

A követelmény formalizálásának megkönnyítése érdekében a counter nem egy értelmezhető értékre, hanem -1 -re van inicializálva. Így az egyetlen lehetőség arra, hogy az Init állapotban a counter értéke N-1 legyen (vagy akármi [0; N-1] között) az, hogy a legutóbbi kérés során ennyi válasz érkezett.

Maga a követelmény így hangzik formálisan:

A bejárt útvonalak legalább egyikén legalább egy állapotban igaz, hogy legalább egy szenzor az init állapotban van, és a számlálója N-1 értéket vesz fel.

Az UPPAAL szerint ez **teljesül**. A következő példa trace-t adja:



Látszik, hogy a 1. szenzor counter-je 2, és init állapotban van. Előtte Requesting állapotban volt, és 2 választ kapott.

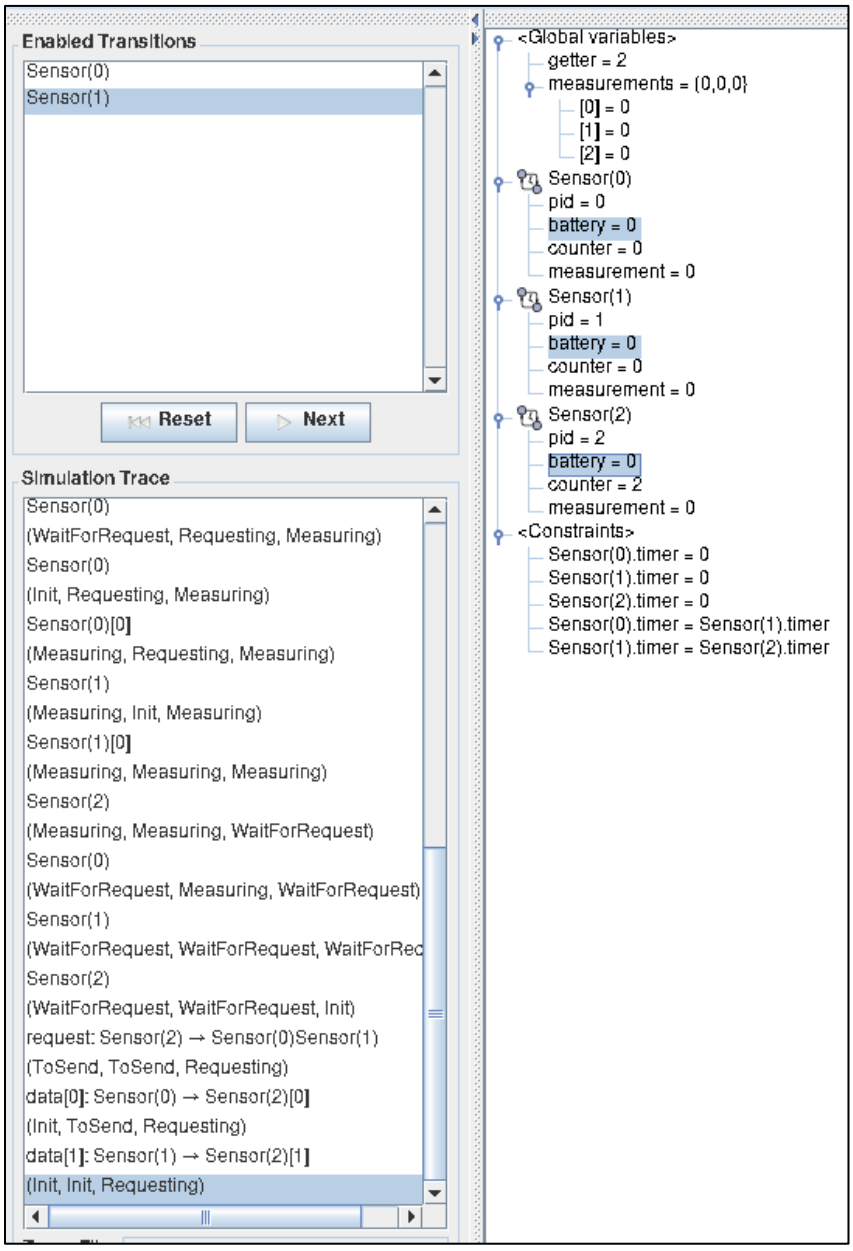
Lehetséges, hogy minden szenzor egyszerre lemerül (mindegyik egyidőben 0 töltöttségi szintre kerül).

```
E<>forall(i : int[0,N-1])(Sensor(i).battery == 0)
```

A követelmény így hangzik formálisan:

A bejárt útvonalak legalább egyikén legalább egy állapotban igaz, hogy mindegyik szenzor töltöttsége 0.

Az UPPAAL szerint ez **teljesül**. A következő példa trace-t adja:



Látszik, hogy a mindegyik szenzor töltöttsége 0.