



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

Monitor szintézis időzített üzenet szekvencia specifikáció alapján

DIPLOMATERV

Készítette
Bakai István Bálint

Konzulens
Dr. Majzik István

2021. december 6.

Tartalomjegyzék

Kivonat	i
Abstract	ii
1. Bevezetés	1
2. Háttérismeretek	2
2.1. A monitorozás alapjai	2
2.2. Időfüggő viselkedés specifikálására alkalmas formalizmusok áttekintése [1] [2] [5] [6] [8]	3
2.2.1. MSC - Message Sequence Chart [6] és UML - Unified Modelling Language [8]	3
2.2.2. MTL - Metric Temporal Logic	5
2.2.3. MITL - Metric Interval Temporal Logic	5
2.2.4. PSC – Property Sequence Chart	6
2.3. A TPSC bemutatása	8
2.4. TPSC szcenárió alapú automata konstrukció	9
2.5. A felhasznált technológiák	12
2.5.1. Eclipse	12
2.5.2. Xtext	12
2.5.3. Xtend	13
2.5.4. Sirius	13
3. Szöveges PSC leíró nyelv kibővítése	15
4. TPSC specifikációk vizualizációja	17
5. Monitor forráskód generálás	20
5.1. Időzített automata generátor	20
5.1.1. Az automata generátor célja	20
5.1.2. Az automata generátor megvalósítása	20
5.1.3. Mintapéllda	23
5.2. Monitor forráskód generátor	25
5.2.1. A monitor interfészei	25
5.2.2. A monitor forráskód megvalósítása	26
5.2.3. Mintapéllda	28
5.2.4. Összetett szerkezetek	33
5.2.5. Időzítési feltételek	33
6. A generált monitor forráskód helyességének tesztelése	35
6.1. Tesztelési célok	35

6.2.	Monitor forráskód generátor tesztelése	36
6.3.	Continuous Integration	39
6.3.1.	Github Actions CI	39
6.4.	Tesztesetek	41
6.4.1.	Egyszerű időzíti megkötéseket tartalmazó tesztszenárió	41
6.4.2.	Többféle üzenetet és megkötést tartalmazó egyszerű tesztszenárió	43
6.4.3.	Alt operátort tartalmazó tesztszenárió	45
6.4.4.	Par operátort tartalmazó tesztszenárió	47
6.4.5.	Komplex tesztszenárió loop és alt operátorokkal	48
6.5.	Tesztelés összefoglaló	50
7.	A monitor integrálása a Gamma keretrendszerben tervezett komponensekkel	52
7.1.	Gamma keretrendszer	52
7.2.	Generált monitor integrációja	53
8.	Összefoglalás	55
9.	Források	56
Függelék		57
F.1.	A 5.2.3. fejezet minta példájához tartozó Specification osztály	57
F.2.	Monitor forráskód generátor - operátorok támogatása	63
Irodalomjegyzék		57

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott *Bakai István Bálint*, szigorló hallgató kijelentem, hogy ezt a diplomatervet meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, csak a megadott forrásokat (szakirodalom, eszközök stb.) használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Hozzájárulok, hogy a jelen munkám alapadatait (szerző(k), cím, angol és magyar nyelvű tartalmi kivonat, készítés éve, konzulens(ek) neve) a BME VIK nyilvánosan hozzáférhető elektronikus formában, a munka teljes szövegét pedig az egyetem belső hálózatán keresztül (vagy autentikált felhasználók számára) közzétegye. Kijelentem, hogy a benyújtott munka és annak elektronikus verziója megegyezik. Dékáni engedéllyel titkosított diplomatervek esetén a dolgozat szövege csak 3 év eltelte után válik hozzáférhetővé.

Budapest, 2021. december 6.

Bakai István Bálint
hallgató

Kivonat

A futásidőbeli monitorozással történő hibadetektálás kiemelt fontosságú egy kritikus rendszer működtetésében és karbantartásában. A monitorozás sok hibát fel tud deríteni, amiket a tesztek nem feltétlenül tudnak.

A diplomaterv célja az volt, hogy a korábban elkészített monitor komponens generátort kiegészítsem úgy, hogy időzített üzenet szekvencia specifikáció alapján is képes legyen monitor komponenseket generálni. A generált monitor feladata az üzenet szekvencia által specifikált viselkedés ellenőrzése. Ilyen követelményeket egyszerűen specifikálhatunk *TPSC* (*Timed Property Sequence Chart*) diagramokkal. A szakdolgozatomban során elkészített *Xtext* alapú *PSC* nyelvet kiegészítettem a *TPSC* tulajdonságaival.

A monitor generálás következő lépése, hogy a *TPSC* diagramokból időzített automatákat generálunk (*Timed Automaton*). A *TA* fogja megadni, hogy a megfigyelt kommunikáció helyes viselkedést jelent-e. A szakdolgozatomban készített automata generátort kibővítettem úgy, hogy képes legyen a minta alapú módszert használva *TA* automatákat generálni a *TPSC* diagramokból.

A szöveges szcenárió leírásból generált automata alapján legenerálható a monitor forráskódja. A monitor forráskód generátor előállítja a monitor *Java* implementációját, ami képes egy rendszer monitorozására adott követelmény alapján.

A diplomaterv további feladatai közé tartozik a *TPSC* szcenáriók vizualizációja, a generált forráskódok szisztematikus tesztelése és a generált monitor komponens illesztése a *Gamma* keretrendszerrel. A cél az, hogy elosztott komponens alapú rendszerek szimulációja közben monitorozható legyen a *TPSC* üzenet szekvencia specifikáció teljesülése illetve az ebben rögzített tulajdonságok megsértése. Végezetül az utolsó feladat a monitorozás működésének demonstrációja.

Abstract

Runtime verification of a critical system is essential for its operation and maintenance. With runtime verification we can discover a lot of errors that may stay undiscovered after testing.

The goal of this thesis is to further enhance the previously created monitor generator, so that it is able to generate monitor source code from scenario containing clock constraints. We can specify this sort of scenario using the *TPSC* (*Timed Property Sequence Chart*) diagrams. During my *BSc* thesis, I have developed a language using *Xtext* for specifying *PSC* diagrams via text. I have extended this language so that *TPSC* diagrams can be created using a textual format.

The next step of monitor generation is to convert the *TPSC* scenarios into *Timed Automata*. The *TA* will serve as the representation which indicates if the system's behaviour has satisfied the *TPSC* requirement or not. I have further enhanced the automaton generator created during my *BSc* thesis so that it is able to generate *Timed Automata* from *TPSCs*.

We can synthesize the monitor source code using the generated automaton from the *TPSC* scenario. The monitor source code generator creates the *Java* implementation of the monitor which is able to perform runtime verification of a system based on a specified requirement.

The remaining tasks for the thesis are the visualization of *TPSC* scenarios, the systematic testing of generated monitor source code and the integration of the generated monitor with the *Gamma* framework. The goal is to be able to monitor component-based system based on a requirement specified with a *TPSC* scenario. The last task is to demonstrate the runtime verification of a system.

1. fejezet

Bevezetés

Diplomamunkám során az volt a cél, hogy a „*Monitor komponensek generálása kontextusfüggő viselkedés ellenőrzése*” című szakdolgozatom során elkészített monitor komponens generátort kibővítssem úgy, hogy támogassa időzítési feltételek megadását. A szakdolgozat során egy olyan monitor komponens generátor készült el, amely képes volt *PSC* (*Property Sequence Chart*) diagramok szöveges leírásából *Büchi* automatákat generálni. A generátornak a kimenete a generált *Büchi* automata *Java* implementációja. A generált *Büchi* automatát lehet felhasználni monitorozásra. Az *Önálló laboratórium* keretében az volt a feladatom, hogy a szakdolgozatom során definiált szöveges *PSC* diagram leíró nyelvet kibővítssem úgy, hogy időzítési feltételeket is meg lehessen adni a szcenáriókban. A *Timed Property Sequence Chart* formalizmust választottam az időzített feltételek bevezetéséhez. Definiáltam a meglévő *PSC* szöveges leíróhoz új nyelvi elemeket, amelyekkel a *TPSC* elemeket lehet szöveges formában leírni. Ezután az automata generátort kellett úgy kibővíteni, hogy a *TPSC* diagramokból tudjon *TA* időzített automatákat generálni. Ennek érdekében, a szakdolgozat során készített *Büchi* automata generátort bővítettem ki úgy, hogy az új *TPSC* szöveges leírásokból időzített automatákat generáljon. Egy monitor forráskód generátor pedig az automata alapján elkészítheti a monitor forráskódját.

A szöveges *TPSC* szcenárió leírása alapján el kell készítenünk a diagram vizualizációját, hogy grafikusán megtekinthessük a definiált szcenáriot. Ehhez felhasználható a „*Modell alapú rendszertervezés*” tárgy keretében készített *PSC* diagram szerkesztő alkalmazás. A következő a generált monitor forráskód tesztelése, majd ezután ezt illesszük a *Gamma* keretrendszerhez. Ezzel az a célunk, hogy elosztott komponens alapú rendszerek szimulációja közben monitorozható legyen a *TPSC* üzenet szekvencia specifikáció teljesülése illetve az ebben rögzített tulajdonságok megsértése.

Elkészítettem a monitor forráskód generátort és elkezdtem annak tesztelését. A hátra maradó feladatok a tesztelés befejezése, a diagramok vizualizációja és a monitor komponens illesztése a *Gamma* keretrendszerhez.

A dolgozatomat a háttérismeretek összefoglaló fejezettel kezdem. Először bemutatom a legelterjedtebb formalizmusokat, amelyek időfüggő viselkedés specifikálására szolgálnak. Ezután a *TPSC* formalizmust mutatom be és a felhasznált technológiákat. A dolgozatomat a kibővített szöveges *TPSC* leíró nyelv bemutatásával folytatom, amit a harmadik fejezetben írok le. Ezt a *TPSC* specifikációk vizualizációjáról szóló fejezet követi.

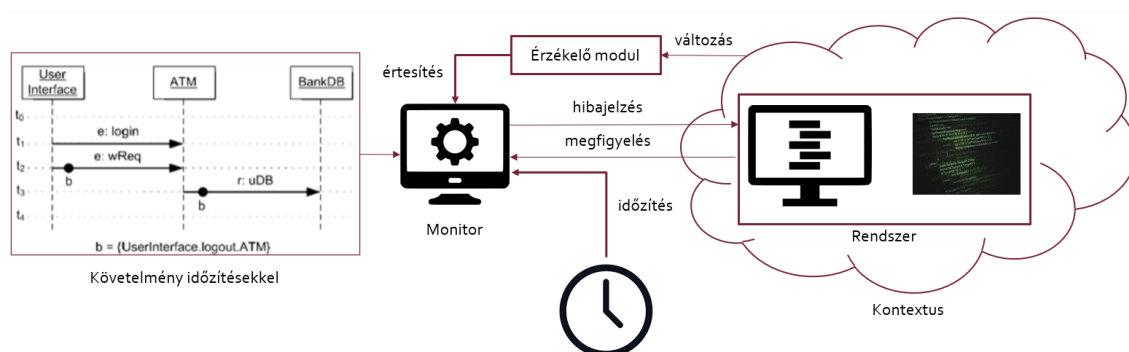
Az ötödik fejezet a monitor forráskód generálásról szól és annak teszteléséről. Ezt követi a hatodik fejezet, amely a monitor komponens illesztését mutatja be a *Gamma* keretrendszerhez és elosztott komponensű rendszerek monitorozását. Ez a keretrendszer komponens alapú elosztott rendszerek tervezését, kódgenerálását segíti, így ehhez érdemes a monitor generálást illeszteni. A dolgozatomat egy összefoglalóval zárom.

2. fejezet

Háttérismeretek

2.1. A monitorozás alapjai

Egy monitor feladata az, hogy futási időben egy rendszert megfigyeljen, elemezzen és adott követelmények alapján felismerje a rendszer helytelen viselkedését. Ezt a helytelen viselkedést jelzi a rendszernek, de néhány esetben a rendszer működését is befolyásolhatja. Ez egy kritikus rendszernél különösen fontos lehet hiszen, egy ilyen rendszernél elvárt, hogy folyamatosan biztonságosan tudjon működni. Ezen kívül, a monitornak időmérésre is szüksége van, mert a követelmény tartalmazhat időzítéseket is. Az 2.1 ábra bemutatja a monitorozás koncepcióját.



2.1. ábra. Kontextusfüggő rendszerek monitorozása időzítési feltételekkel.

Több monitorozási módszert ismerünk. Ilyen például az „online” [11] monitorozás. Ebben az esetben a rendszernek olyan érzékelői vannak, amelyek képesek a rendszer viselkedését detektálni, és továbbítani azt egy feldolgozó egységnek. Ez utóbbi, a kapott adatok alapján, el tudja dönteni, hogy a rendszer helyesen működik-e, illetve amennyiben hibát érzékel, azt képes jelezni. Az olyan monitort, amely a hiba érzékelését követően megpróbálja a hibát helyreállítani, „beavatkozó” monitornak hívjuk. A „nem beavatkozó” monitor pedig csak a hibát képes jelezni.

A fentiekben leírt monitorozási módszernek a párja az „offline” [11] monitorozás. Ennél a módszernél a regisztrált viselkedés elemzése nem futásidőben, hanem azon kívül (futás után) történik.

A szcenárió alapú monitorozás során a kommunikáció megfigyelésével szeretnénk felismerni a problémákat a rendszerünkben. A rendszerben lévő objektumok közti interakciókat, üzeneteket fogja megfigyelni a monitor. A követelményt szcenárió formájában adjuk meg az üzenet szekvenciák specifikálásával. Szekvencia diagramok segítségével egyszerűen

megadhatunk ilyeneket. A diagramokat a későbbiekben olyan alakra kell majd hoznunk, hogy abból a monitor létrehozható legyen.

2.2. Időfüggő viselkedés specifikálására alkalmas formalizmusok áttekintése [1] [2] [5] [6] [8]

2.2.1. MSC - Message Sequence Chart [6] és UML - Unified Modelling Language [8]

Az egyik legelterjedtebb szcenárió alapú modellezésre használt vizuális formalizmus a *Message Sequence Charts (MSC)*. A nyelv célja két, vagy több üzeneteket cserélő objektum között az interakciónak a leírása. A *Unified Modelling Language (UML)* 2.0 szekvencia diagram leíró részét nagyban inspirálta ez a nyelv. Az *MSC* főbb elemei:

- *MSC head*, *lifeline* és *end*
- Objektum létrehozása
- Üzenet csere
- Függvényhívás és válasz
- *Timer*-ek
- Idő intervallumok
- Összetett szerkezetek: *alt*, *opt*, *parallel*, *loop* (*high-MSC*)

Az összetett szerkezetek a *high-MSC* (*h-MSC*) nevű *MSC* kiterjesztésben találhatók. Ezzel a nyelvvel már könnyedén lehet a szcenárióban lévő üzeneteket specifikálni, és azokat a rendszer komponenseket, amelyek ezeket az üzeneteket egymásnak küldik.

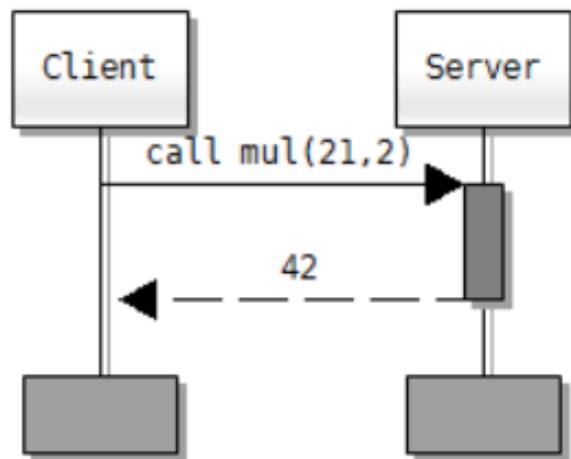
Az *UML* és az *MSC* sokban hasonlítanak, de az alapelveik különbözőek.

MSC-ben a függőleges vonalak („*lifeline*”-ok) autonóm entitásokat képviselnek, míg a szekvencia diagramok esetén ezek egy-egy objektumot reprezentálnak. *MSC* esetén az entitásoknak nem szükséges ugyanazon a számítógépen lenniük.

MSC-ben egy átmenet egy aszinkron üzenetet reprezentál, amely két entitás között jött létre, míg az *UML* szekvencia diagram leíró nyelvében, egy átmenet egy függvényhívást jelent.

Az *MSC*-nek sajnos sok hiányossága is tapasztalható. Hiányzik belőle az üzenetek típusossága. Egy követelmény megfogalmazásakor fontos, hogy meg tudjuk mondani, melyek az elvárt üzenetek vagy, hogy melyek jelentenek hibát. Az is nagy hiányosságnak számít, hogy az üzenetekre nem lehetséges megkötéseket megadni. Ez megnehezíti egy követelmény leírását is.

A 2.2 ábrán megtekinthető egy példa *MSC* diagram.



2.2. ábra. Példa MSC diagram.

2.2.2. MTL - Metric Temporal Logic

A temporális logikák olyan formális rendszerek amelyekkel kijelentések igazságának logikai időbeli változását vizsgálhatjuk. A kijelentések időbeli vizsgálásához temporális operátorokat használunk: *mindig, valamikor, mielőtt, addig, amíg, azelőtt, hogy, stb...*

A temporális logikákat két osztályba sorolhatjuk:

- *lineáris*
- *elágazó*

A lineáris temporális logikáknál a modell egy lefutását vizsgáljuk. A logikai idő egy állapot-sorozatnak tekintjük, ahol minden állapotnak egy rákövetkezője van. Az elágazó temporális logikáknál viszont az összes lehetséges végrehajtást tekintjük. A lineárisal ellentétben itt egy állapotnak több rákövetkezője is lehet és a logikai idő egy fa alakjában jelenik meg.

Az *MTL* egy lineáris temporális logika, amellyel logikai jelek időzítésbeli tulajdonságait specifikálhatjuk. Logikai jelek tulajdonságait specifikálhatjuk vele az időben.

A szintaxisa a *Linear Temporal Logic*-hoz hasonlít:

- atomi kijelentések véges halmaza AP
- \neg és \vee logikai operátorokat
- U_I (*Until*) temporális modális operátor, ahol I egy nem negatív számokból álló intervallum
- S_I (*Since*) temporális modális operátor

A $pU_I q$ („ p Until q ”) kifejezés akkor lesz igaz t időben, ha létezik olyan $t' \in I + t$ idő amire a következők teljesülnek:

- t' időben q igaz
- minden egyes $t'' \in T$ ahol $t < t'' < t'$ és $T \subseteq R_+$ időben p igaz

A $pS_I q$ („ p Since q ”) kifejezés akkor lesz igaz t időben, ha létezik olyan $t' \in I - t$ idő amire a következők teljesülnek:

- t' időben q igaz
- minden egyes $t'' \in T$ ahol $t' < t'' < t$ időben p igaz

Például a $pU_1 q$ *MTL* formula azt követeli meg, hogy minden egy időegységgel előtti állapotban ahol q teljesül, p -nek teljesülnie.

A *past-MTL* megfelel a teljes *MTL*-nek az *Until* operátor kivételével. Hasonlóan, a *future-MTL* a teljes *MTL* a *Since* operátor nélkül.

Az egyes cikkekben változó, hogy az *MTL*-t hogyan definiálják. Az *MTL* megegyezik az előbbi *future-MTL*-el vagy a teljes szintaxissal van definiálva.

2.2.3. MITL - Metric Interval Temporal Logic

Az *MITL* egy részhalmaza az *MTL*-nek. Az *MITL* temporális logika nem képes a következő követelmény megadására: „ A esemény pontosan öt időegység óta történt”. Ezt gond nélkül megfogalmazhatjuk *MTL*-ben. *MITL*-ben csak a következőt tudjuk leírni: „ A esemény négy és öt időegység között történt”.

Például a $pU_{0,1} q$ *MITL* formula azt fejezi ki, hogy minden állapotot amiben q teljesül és egy időegységnyi távolságra van előtt, p -nek kell teljesülnie.

Azt észre vehetjük, hogy a temporális logikák nagy hátránya a szcenárió alapú formalizmusokkal szemben, hogy csak a rendszer változóira vagy kimenetére tudunk megfogalmazni követelményeket az idő függvényében. A rendszer belső működésére, komponensei közti kommunikációra nagyon nehezen tudunk követelményeket megadni temporális logikákat használva. Ugyanígy a szcenárió alapú formalizmusok nagy hátránya a temporális logikákkal szemben, hogy nehezen tudunk vele olyan szekvenciát megadni, ami a rendszer egy állapotára fogalmaz meg követelményt.

2.2.4. PSC – Property Sequence Chart

A *Message Sequence Chart*-nak nagyon sok hiányossága van. Nem lehet vele megkötéseket definiálni vagy egy üzenetről eldönteni, hogy az egy elvárt vagy nem kívánt üzenet. Ebből kifolyólag az *MSC* nem egy alkalmas nyelv arra, hogy az üzenet szekvenciáinkat részletesebben specifikálni tudjuk vele.

Tulajdonság	MSC	PSC
Nem kívánt üzenet	-	<i>Fail message</i>
Elvárt üzenet	-	<i>Required message</i>
Sima üzenet	<i>Default message</i>	<i>Regular message</i>
Megkötött sorrendezés	-	<i>Strict sequencing</i>
Gyenge sorrendezés	<i>Seq</i>	<i>Loose sequencing</i>
Üzenet megkötések	-	<i>Constraint</i>
Alternatív lehetőségek	<i>h-MSC</i>	<i>Alternative operator</i>
Párhuzamos művelet	<i>h-MSC</i>	<i>Parallel operator</i>
Ciklus	<i>h-MSC</i>	<i>Loop operator</i>

2.1. táblázat. Az *MSC* összehasonlítása a *PSC*-vel

A *Property Sequence Chart*[1] az *MSC* egy kiterjesztése. Sok új elemet vezet be ami nincs az *MSC*-ben, melyek megtekinthetők a ?? táblázatban, mint az üzenet típusokat: sima üzenet (e), elvárt üzenet (r) és nem kívánt üzenet (f). Így specifikálhatjuk, hogy mely üzenetek azok amik helyes viselkedésre utalnak és azok amelyek nem. Szigorú sorrendezésre is ad megoldást a *PSC*, ami azt jelenti, hogy megadhatjuk explicit az üzenetek sorrendjét a követelményünkben. A gyenge sorrendezés és a szigorú sorrendezés között az a különbség, hogy szigorú sorrendezés a szekvenciában lévő üzenetek között nem jelenhet meg más üzenet. Gyenge sorrendezésnél megengedjük, hogy az üzenetek között más üzenetek is megjelenjenek, amelyeket nem vettünk be a követelménybe. A *PSC*-ben egy üzenetre megkötést is rakhatunk. Megadhatjuk, hogy melyek azok az üzenetek amik nem kívántak az üzenetünk észlelése előtt vagy után. A különböző *PSC* tulajdonságok megtalálhatók a 2.3 ábrán.

A nyelv a következő tulajdonságokat támogatja:

- *Sima üzenet (e)*: egy üzenet a szcenárióban, amely ha nem történik meg az a monitor szempontjából nem jelent hibát. Viszont ha megjelenik, akkor a szcenárióban utána következő üzenetek ellenőrzésére kell áttérni. Egy előfeltételt reprezentál.
- *Elvárt üzenet (r)*: egy üzenet amelynek elmaradása hibajelzéshez kell vezessen.
- *Nem kívánt üzenet (f)*: amennyiben a monitor egy ilyen üzenetet detektál, akkor hibát jelez.
- *Üzenet megkötés (constraint)*: Egy üzenetre lehet megkötést is helyezni. Egy megkötés több üzenetet tartalmazhat. Két fajta megkötést definiál a nyelv: múlt- és

jövőbéli. A múltbéli üzenet megkötés esetén, az üzenetünk megtörténte előtt, a megkötésben szereplő üzenetek egyike se történhet meg. Jövőbéli megkötés esetén, pedig az üzenetünk megtörténte után nem történhetnek meg a megkötésben szereplő üzenetek.

- *Megkötött sorrendezés (strict ordering):* A *PSC* az üzenet lefutási sorrendjének a specifikálására is lehetőséget ad. Egy „a” üzenet megtörténte után, egy adott „b” üzenetnek kell bekövetkeznie. Ha „b” üzenet helyet egy másik üzenet követi az „a” üzenetet, akkor a monitor hibát jelez. Nem megkötött sorrendezés esetén nem jelent hibát ha „a” és „b” üzenet között más üzenetek is megjelennek.

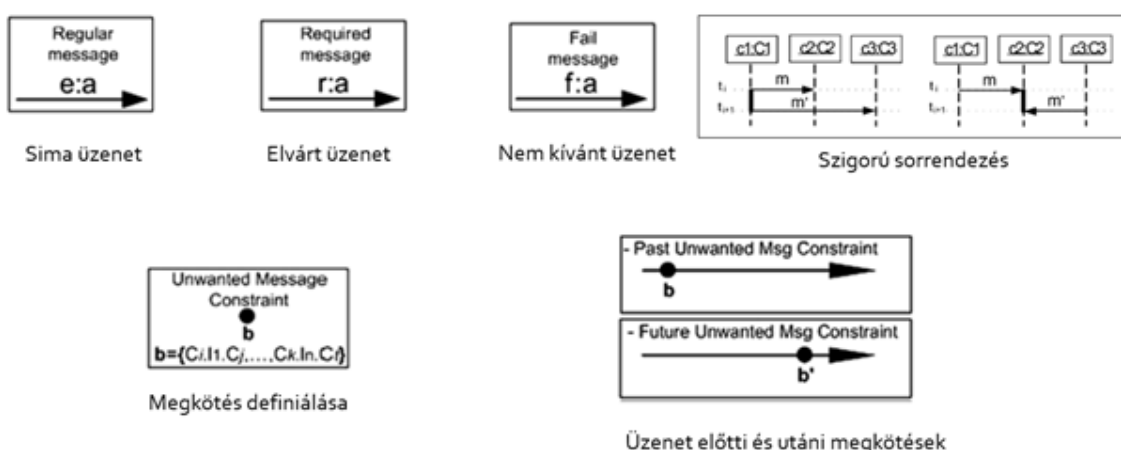
A nyelv támogat összetett szerkezeteket is:

- *Alt operátor:* az *alt* operátorral alternatív üzenet szekvenciákat lehet definiálni.
- *Par operátor:* a *par* operátorral megadható üzenet szekvenciák párhuzamos futása.
- *Loop operátor:* a *loop* operátorral megadhatjuk, hogy egy üzenet szekvencia többször is lefuthat egymás után.

Egy üzeneten egyszerre megkötés és sorrendezés is lehet. Az üzenetek típusát a címkéjén lévő karakterrel jelöljük. Az „e” karakter jelzi, hogy az üzenet sima, az „r” karakter az elvárt üzenetet jelenti, az „f” pedig a nem kívánt üzenetet. Azt meg kell jegyezni, hogy nem kívánt üzenetekre nem lehet jövőbéli megkötéseket rakni. Ezen kívül, ha egy üzeneten megkötött sorrendezést alkalmazunk, akkor nem lehet rajta múltbéli megkötés.

A megkötéseket egy ponttal jelöljük, amit az átmeneten helyezünk el. Ha a pont az átmenet elején van (a feladóhoz közel), akkor az múltbéli megkötést jelöl. Ha pedig a végén helyezkedik el, akkor a jövőbéli megkötést jelöli. A megkötésben lévő üzeneteket egy lista formájába lehet megadni „ ” jelek közt, a következő módon: <megkötés neve> = C1.I1.Cj, ..., Ck.In.Ct, ahol az üzenetek vesszővel elválasztva, „*Feladó.Üzenet.Címzett*” formában szerepelnek. A specifikált megkötés nevét pedig az átmeneten lévő pont alá írjuk.

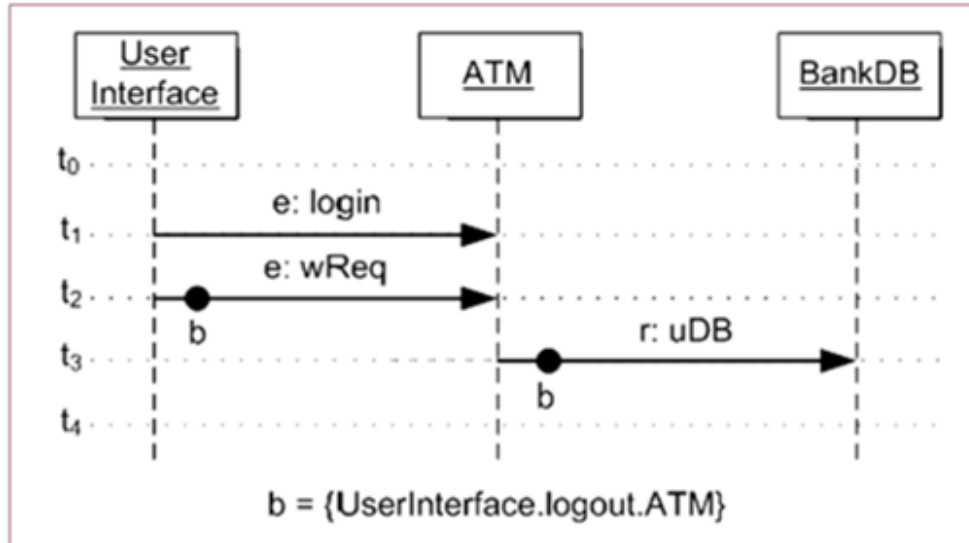
Az üzenetek megkötött sorrendezésének jelölésénél az objektum „*lifeline*” vonalát az érintett átmenetek közt folytonossá változtatjuk



2.3. ábra. A *PSC* különböző elemei [1].

Az üzeneteket a következő formában adjuk meg: *Feladó.Üzenet.Címzett*.

A 2.4 ábrán láthatunk egy példát arra, hogy egy követelményt hogyan lehet definiálni. Ez a *PSC* diagram egy *ATM* rendszer működését specifikálja. Először a felhasználó egy *login* üzenettel bejelentkezik az *ATM*-be majd egy *wReq* üzenettel egy lekérdezést hajt végre.



2.4. ábra. PSC diagram egy ATM rendszer működésének ellenőrzésére[1].

Ezen az üzeneten van egy megkötés, az üzenet előtt nem történhet kijelentkezés, *logout*. Az *ATM* ezután, ha nem történt *logout* egy elvárt üzenetet küld a *Bank* adatbázisába.

A szcenárióink specifikálására így rendelkezésünkre áll egy grafikus nyelv. A következőkben az lesz a feladatunk, hogy ezekből a diagramokból valósítsuk meg a monitor kódjának generálását.

2.3. A TPSC bemutatása

A *TPSC*[2] a *PSC*-nek egy kiterjesztése. A *PSC* üzenetekre időzítési feltételeket specifikálhatunk.



2.5. ábra. PSC kiterjesztése időzítési feltételekkel[2].

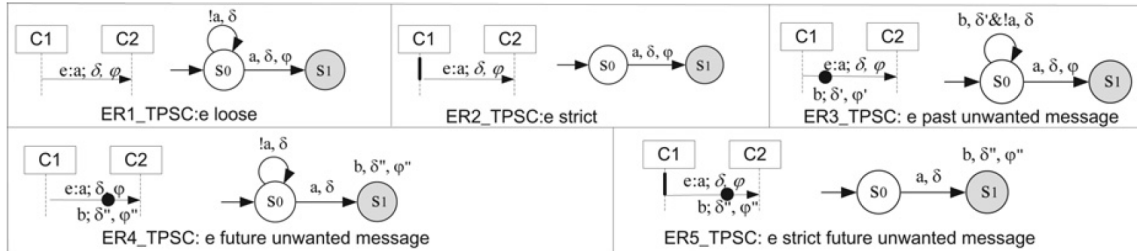
A *TPSC* óraváltozókat (pl. x, y) használ az időzítéshez. Ezekre meg lehet adni feltételeket, valamint az óraváltozót lehet nullázni. A nullázással adott eseménytől (pl. üzenet vételétől) kezdve indul az időzítés, majd rákövetkező események időbeliségét ez alapján lehet ellenőrizni.

A 2.5 ábrán látható, hogy például az $e: a$ sima üzenet $e: a; x < t, y := 0$ üzenetre bővül. Elvárjuk, hogy az a üzenet t idő előtt történjen meg és egy y óraváltozót nullázunk. Az $e: a$ üzenet egy sima üzenet, szóval ha nem történik meg a specifikált idő intervallumban az nem jelent hibát. Viszont $r: a$ üzenetnél ugyanilyen feltétel mellett már elvárt, hogy t időn belül megtörténjen. $f: a$ üzenet esetében viszont akkor jelez hibát a monitor, ha üzenet megtörtént t időn belül.

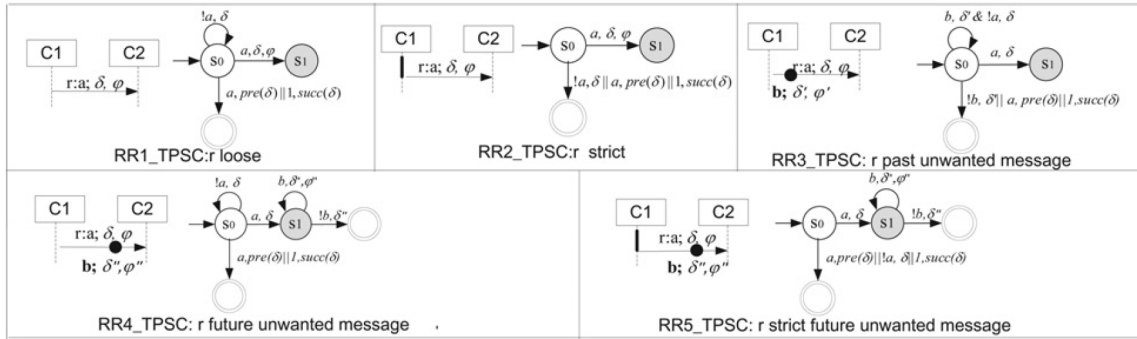
Egy múltbeli vagy jövőbeli megkötésre is meg lehet adni időzítési feltételt. Így megadhatjuk, hogy mennyi ideig nem szabad jönnie a megkötésben szereplő nem kívánt üzenetek egyikének. Ha a feltételben megadott idő után történik akkor az nem jelent hibát a monitor szempontjából.

2.4. TPSC Szenárió alapú automata konstrukció

A monitorozás alapja, hogy *TPSC* szenáriókból időzített automatákat (*Timed Automata*) tudjunk készíteni. Egy *TA* állapotokból, elfogadó állapotokból, feltételekből, akciókból és bemenetekkel címkézett állapotátmenetekből áll. Ezek a következő sorrendbe jelennek meg az állapotátmeneteken: bemenet, feltétel és akció. A bemenet lehet egy konkrét esemény, ilyen például az „*a*” üzenet, vagy több eseményre utaló kifejezés. Például a „*!a*” kifejezés minden olyan üzenet amelyik nem az „*a*” üzenet. Egy feltétel a mi esetünkben egy időzíti feltétel, ezekhez óraváltozókat használunk. Egy akció lehet például egy ilyen óraváltozónak a nullázása. Ha a feltétel teljesül és az adott üzenet illeszkedik az állapotátmeneten lévő bemenetre, akkor az megvalósulhat és a rajta lévő akció megtörténik. Az automata akkor fogad el egy bemenet sorozatot, ha ennek során elérünk az automata végállapotába. Ha hibaállapotot érünk el, akkor az a monitor szempontjából hibát jelent. Az alapelv az, hogy minden *TPSC* elemhez tartozik egy minta automata (*pattern*) ami leírja a szemantikáját. Például a 2.6 és 2.7 ábrákon láthatóak a különböző *PSC* üzenetekhez tartozó minták.



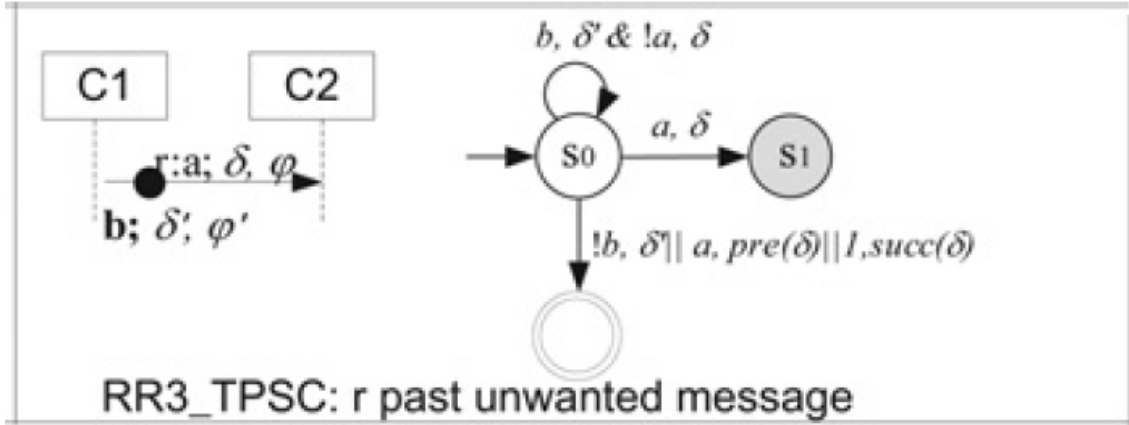
2.6. ábra. Sima üzenetekhez tartozó minták [2].



2.7. ábra. Elvart üzenetekhez tartozó minták [2].

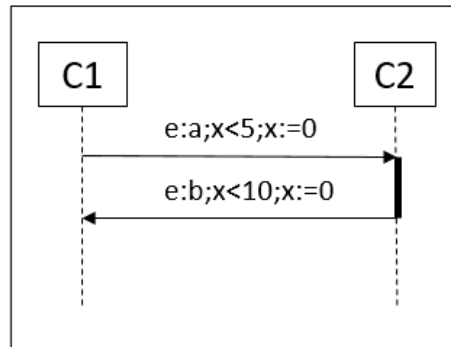
A minta automatánkban található szürke állapotok reprezentálják a végállapotokat. A megkötéseket a nem kívánt üzenetek negáltjainak az *ÉS* kapcsolata. Az időzített automatán egy átmenet formájában jelennek meg. Például az 2.8 ábrán lévő automata mintán látható „*b, $\delta' \& !a, \delta$* ” címkéjű hurokélen, a „*b*” címke minden olyan üzenetnek felel meg, amelyek nincsenek a megkötésben lévő nem kívánt üzenetek halmazában. A címke teljes jelentése az, hogy ha δ' időn belül nem jött nem kívánt üzenet és δ időn belül nem az „*a*” üzenet jött akkor maradunk az *s0* állapotban. A „*a, δ* ” címkéjű átmenet az „*s0*” állapotból az „*s1*” végállapotba mutat. Az átmenet akkor valósul meg ha „*a*” üzenet érkezik és „ δ ” időzíti feltétel igaz. Ebben az esetben teljesül a feltétel. Ha viszont a megkötésben szereplő nem kívánt üzenet érkezik és „ δ'' ” igaz vagy „*a*” üzenet érkezik „ δ ” előtt vagy bármilyen üzenet érkezik „ δ ” után, akkor a hibaállapotba lépünk át.

Ezekből az automata részekből lesznek meghatározott illesztési szabályokkal a szenárióhoz tartozó teljes időzített automaták. Ennek az az alapelve, hogy a szenárión végig

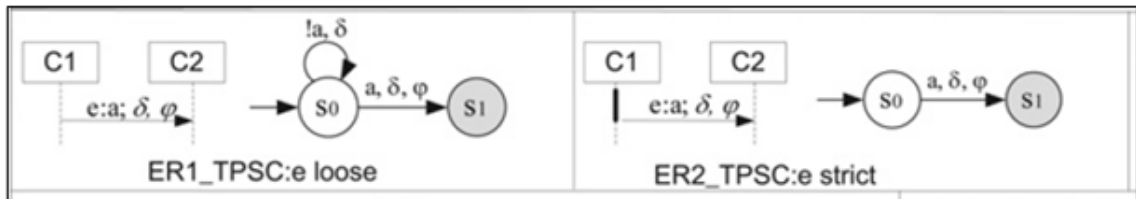


2.8. ábra. Elvárt múltbéli megkötést tartalmazó üzenethez tartozó minta [2].

menve az előző minta végállapotát a következő minta kezdőállapotával kell egyesíteni. Ezt a folyamatot mutatják be a 2.9, 2.10 és 2.11 ábrák. Ebben a példában a 2.10 ábrán lévő baloldali automata „s1” állapotát kellett egyesíteni a jobb oldali automata „s0” állapotával.

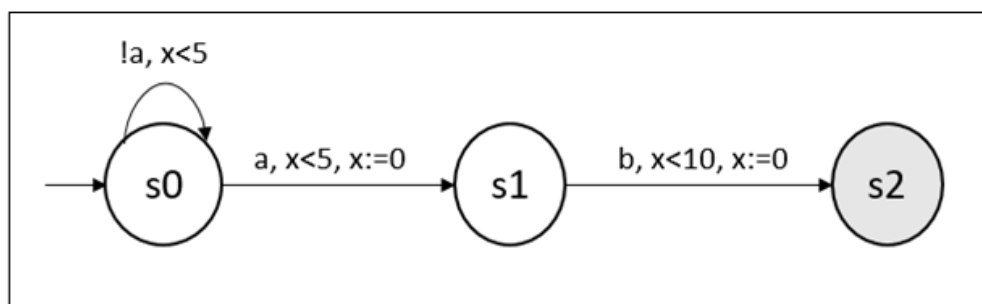


2.9. ábra. TPSC részlet.



2.10. ábra. Alkalmazott automata minták.

A monitor szempontjából az automata akkor jelez hibás működést ha olyan bemenetet kap, amely egyik élre sem illeszkedik. Ilyenkor a követelmény már nem teljesíthető. Ha az automata egy sima állapotban van, akkor az helyes működést jelent viszont a követelmény még ekkor sem teljesült. A követelmény akkor teljesül amikor az automata a végső (*FINAL*) állapotba kerül és nem érkezik további üzenet amely elmozdítaná őt onnan. A 2.11 ábrán az „s2” szürke állapot a végsőállapot.



2.11. ábra. Az összeállított automata.

2.5. A felhasznált technológiák

2.5.1. Eclipse

Az *Eclipse* egy nyílt forráskódú, platformfüggetlen keretrendszer. Első sorban fejlesztői környezetként használják a fejlesztők. A keretrendszert tovább lehet bővíteni mindenféle plugin telepítésével, így például modellezésre is alkalmas lehet. A diplomaterv során használt *Eclipse* plugin-ek:

- *Xtext*
- *Xtend*
- *Sirius*

A munkafolyamat egy *workspace*-en belül történik, ahol a fejlesztő létrehozhatja a saját projekteit. Több *workspace*-t is létre lehet hozni és azok között váltani.

Különböző fajta projekteknek különböző nézetei lehetnek. Például egy modellező projektnek van külön modell nézete az eszközön belül vagy egy *Java* projektnek *Java* nézete. A nézetek az eszközön megjelenített szövegszerkesztő, fájlkezelő vagy egyéb funkció elhelyezésért, megjelenítéséért felelnek.

2.5.2. Xtext

Az *Xtext Eclipse* plugin-el programozási és *domain* specifikus nyelveket lehet fejleszteni. A nyelvünk elemeit és szabályait egy nyelvtan segítségével definiálhatjuk. Az *Xtext* keretrendszer több eszközt nyújt a nyelvünkhöz. Például egy *parser*-t, egy fordítót és egy szerkesztőt. A plugin még egy *Xtend* alapú kódgenerátort is generál a nyelvünkhöz, amivel a nyelvünkhöz tetszőleges kódot tudunk generálni.

```
Scenario:
  'scenario' name=ID '{'
  scenariocontents+=ScenarioContent*
  '}'
;

ScenarioContent:
  alt+=Alt | message+=Message | par+=Par | loop+=Loop | paramConstraint+=ParameterConstraint
;

Message:
  LooseMessage | StrictMessage | PastMessage | FutureMessage | StrictFutureMessage
  | RequiredLooseMessage | RequiredStrictMessage | RequiredPastMessage | RequiredFutureMessage |
  RequiredStrictFutureMessage
  | FailMessage | FailStrictMessage | FailPastMessage
;

LooseMessage:
  'message' name=ID '(' (params+=Params | constantparams+=ConstantParams) ')'
  sender=[Object] '->' receiver=[Object]
  ('clockConstraint' '{' cConstraint=ClockConstraintExpression '}')?
  (resetclock=ResetClock)? ';'
;
```

2.1. kódrészlet. Xtext nyelvtan elemei.

A 2.1-es kódrészlet az *Xtext* nyelvtan elemeit mutatja be. Egy nyelvtani szabályt egy tetszőleges név megadásával hozhatunk létre. A szabályunkat pedig a név után lévő `”:` és `”;` közzé írhatjuk. Idézőjelek közé írhatjuk a nyelvünkhöz tartozó kulcsszavakat,

például *'scenario'* vagy idézőjelek között kapcsos zárójel. Ilyen kulcsszavak megadásával jól tudjuk formázni a nyelvtani szabályunkat. Attribútumok megadásával tudjuk tárolni a nyelvi elemünk értékeit, változóit. Például a *name* attribútum egy *ID* elemet tárol, ami egy azonosítónak felel meg. Egy attribútumba több elemet is rakhatunk lista szerűen. Ezt a *** karakterrel adhatjuk meg, például *scenariocontents+=ScenarioContent**, ahol a *scenariocontents* több *ScenarioContent*-beli elemet tárol. A *+=* karakterrel pakolhatjuk az új *ScenarioContent*-jeinket a *scenariocontents* tömbbe.

A nyelvtanukban megadhatunk elágazó szabályokat is a *"|"* karakterrel. Ilyen szabály például a *Message*. Továbbá hivatkozhatunk már létrehozott nyelvi elemekre is a szabályunkban a *"[]"* szintakszissal. Például a *LooseMessage sender* attribútuma egy már létrehozott *Object* elemre hivatkozik.

A *"?"* karakter opcionális nyelvi elemek megadására szolgál.

Fordítás után a nyelvi elemeinkből *Xtend* és *Java* osztályok generálódnak.

2.5.3. Xtend

Az *Xtend* egy magasszintű programozási nyelv. A *Java Virtual Machine* platformot használja. Szintaktikailag és szemantikailag nagyon hasonlít a *Java* nyelvhez, mondhatni a *Java* kibővítése. Az *Xtend* fordító a létrehozott osztályokból *Java* osztályokat generál. Így akár könnyedén ki tudjuk szervezni a projektünket egy *.jar* fájlba.

Egy nagyon hasznos funkciója az *Xtend*-nek a *template*. Sablonokat tudunk létrehozni vele függvényeken belül, amely megkönnyíti a kódgenerálást. Így tudunk hivatkozni az *Xtext* nyelvi elemeinkre függvény paramétereken keresztül és egyedi kódgenerátort fejleszteni a nyelvünkhöz. A sablon függvényen belül a *"«»"* karaktereket használva tudunk hivatkozni az *Xtext* nyelvi elemeinkre.

```
def compile(Scenario scenario)'''
    «FOR sc : scenario.scenariocontents»
    «FOR m : sc.message»
        «generateMessage(m)»
        a.collapse(b);
    «ENDFOR»
«ENDFOR»
'''
```

2.2. kódrészlet. Xtend template.

A 2.2 ábra egy *Xtend* sablon függvényt mutat be. Láthatjuk, hogy a *"«»"* karaktereket használva hivatkozhatunk a paraméterben átadott *Xtext* nyelvbeli objektum attribútumaira. Itt például a *Scenario scenariocontents* tömbjén megyünk végig.

2.5.4. Sirius

A *Sirius* eszköz segítségével létrehozhatunk saját grafikus modellező alkalmazásainkat. Egy szerkesztő környezetet alkothatunk, amivel a modellünk elemeit hozhatjuk létre vagy szerkeszthetjük grafikusán. A plugin az *Entity Modelling Framework* keretrendszer használja a modellek feldolgozásához és ilyen *EMF* modelleket jelenít meg. Ehhez az *EMF* modellünk összes eleméhez meg kell adnunk egy megjelenítést.

Elkészíthetjük saját egyedi szerkesztőnket, de választhatunk a *Sirius* által nyújtott szerkesztőkből is:

- Fa
- Mátrix
- Diagram

- Szekvencia diagram
- Táblázat

Emelet alkalmazhatunk feltételes megjelenítést is adott típusú modellelemünkre, ha az adott tulajdonságban eltér a többi elemtől.

3. fejezet

Szöveges PSC leíró nyelv kibővítése

A szakdolgozatom során készített szöveges *PSC* leíró nyelvet az *Xtext* technológia segítségével definiáltam. A nyelv fő elemei:

- objektumok (az üzenetekkel kommunikáló rendszerkomponensek)
- üzenetek
- megkötések
- szcenárió
- alt operátor
- loop operátor
- par operátor

A nyelvben egy objektumot az „*object*” kulcsszóval lehet bevezetni. Meg kell adni az objektum típusát és a nevét, ezután a definíciót egy ‘;’-vel lehet lezárni. Megkötések specifikálásához a „*constraint*” kulcsszót kell használni. Elég csupán a megkötés nevét megadni és ‘{’ ‘}’ jelek közt, a megkötéshez tartozó üzeneteket.

Egy sima üzenet megadásához a „*message*” kulcsszó szükséges. A „*message*” kulcsszó előtt lévő „*fail*” vagy „*required*” kulcsszavakkal adhatunk meg nem kívánt vagy elvárt üzeneteket. A „*strict*” kulcsszóval adhatjuk meg, hogy az üzenet sorrendje megkötött. Az üzenet küldőjét és fogadóját „*<küldő> -> <fogadó>*” formában jelezzük. Múltbéli vagy jövőbeli megkötéseket a *pastConstraint* vagy *futureConstraint* kulcsszavakkal adhatunk meg. A kulcsszó után, ‘{’ ‘}’ jelek közt adhatjuk meg, hogy melyik előzőleg definiált megkötést helyezzük el az üzeneten. Egy üzenet definíció végére szükséges ‘;’-öt tenni, így elválasztjuk a többi üzenettől.

A nyelvet két új elemmel bővítettem ki:

- időzített feltétel
- óraváltozó nullázása

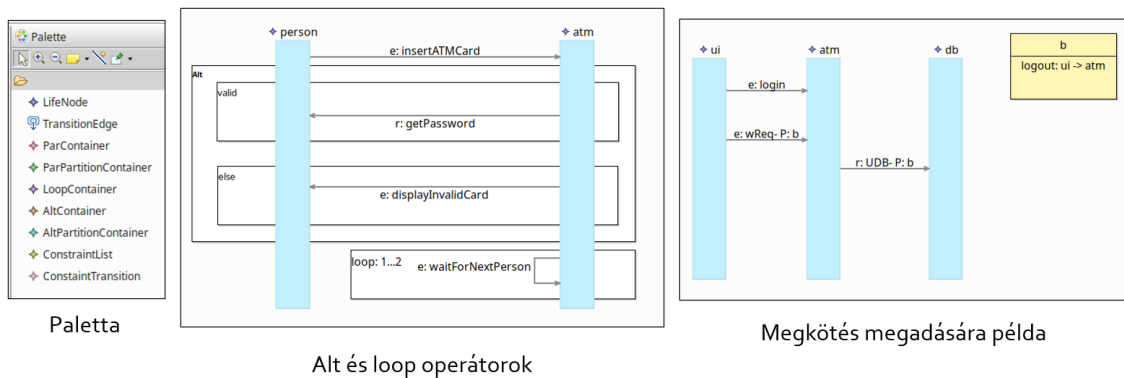
Az új nyelvi elemek bevezetéséhez az eredeti üzenet leíró *Xtext* szabályt (*Message*) kellett kibővíteni. A teljes nyelvtan definíció megtekinthető a *Függelékben* (F.2.9).

A 3.1 ábrán látható, hogy egy *TPSC* diagramot hogyan tudunk leírni a nyelvünk segítségével. Definiálhatjuk a diagramban szereplő objektumokat, a megkötéseket amiket használni fogunk és végül, hogy milyen üzenetek vannak a követelményünkben.

4. fejezet

TPSC specifikációk vizualizációja

A specifikációk vizualizációjához a *Modell alapú rendszertervezés* tárgy során készített *PSC* vizualizációs *Sirius* alkalmazást használtam fel. Az alkalmazással egy szerkesztő segítségével tudunk *PSC* diagramokat rajzolni. Egy palettáról lehet kiválasztani az egyes elemeket és az egérrel elhelyezni őket a diagramon. Ezután pedig megadhatók a paramétereik. Például egy üzenetnél, hogy melyik objektum a küldője és fogadója vagy hogy milyen megkötések vannak rajta. Egy objektumnál, hogy mi a neve és típusa. A 4.1 ábrán megtekinthető a paletta és néhány példa diagram.



4.1. ábra. *PSC* vizualizációs alkalmazás bemutatása.

Először kiegészítettem az alkalmazást *TPSC* elemek vizualizációjával. Ehhez az alkalmazáshoz tartozó *EMF* modellben fel kellett vegyem, hogy egy üzeneten elhelyezhető legyen időzíti feltétel is. Ezt ugyanígy meg kellett tegyem a megkötéseknél is és ezen kívül még óraváltozók nullázását adtam hozzá a modellhez. Majd a vizualizációhoz hozzáadtam, hogy az időzíti feltétel és az óraváltozó nullázása megjelenjen az átmenetek címkéin. Készítettem egy *Xtend* alapú *XML* generátort, ami képes a szöveges *TPSC* leírás alapján legenerálni a hozzá tartozó *XML* leírást. Ezt a leírást képes a *Sirius* alkalmazás feldolgozni és előállítani a hozzá tartozó diagramot. Egy ilyen generált *XML* fájl megtekinthető a 4.2 kódrészleten.

A diagramon az egyes objektumok kék *lifeline* formájában jelennek meg. Minden üzenetnek tartozik egy nyíl. A nyíl címkéjére írjuk az üzenet összes tulajdonságát. Például a megkötések '{' '}' jelek között jelennek meg. Egy *P* betű jelöli, hogy a megkötés múltbéli és egy *F* betű ha jövőbéli. A nyíl eleje és vége *lifeline*-okat kötnek össze, amik az üzenet feladóját és fogadóját jelzik. A megkötéseket egy sárga táblázat formájában reprezentáljuk, amelybe bele írjuk az összes megkötésben szereplő üzenetet. Egy ilyen diagramot mutat be a 4.2 ábra. A diagram szöveges leírását pedig a 4.1 kódrészlet tartalmazza.

```

specification Email{

  object Computer computer;
  object Server server;

  integer timeout = 10;
  string receiver = "John";
  string subject = "Next meeting";

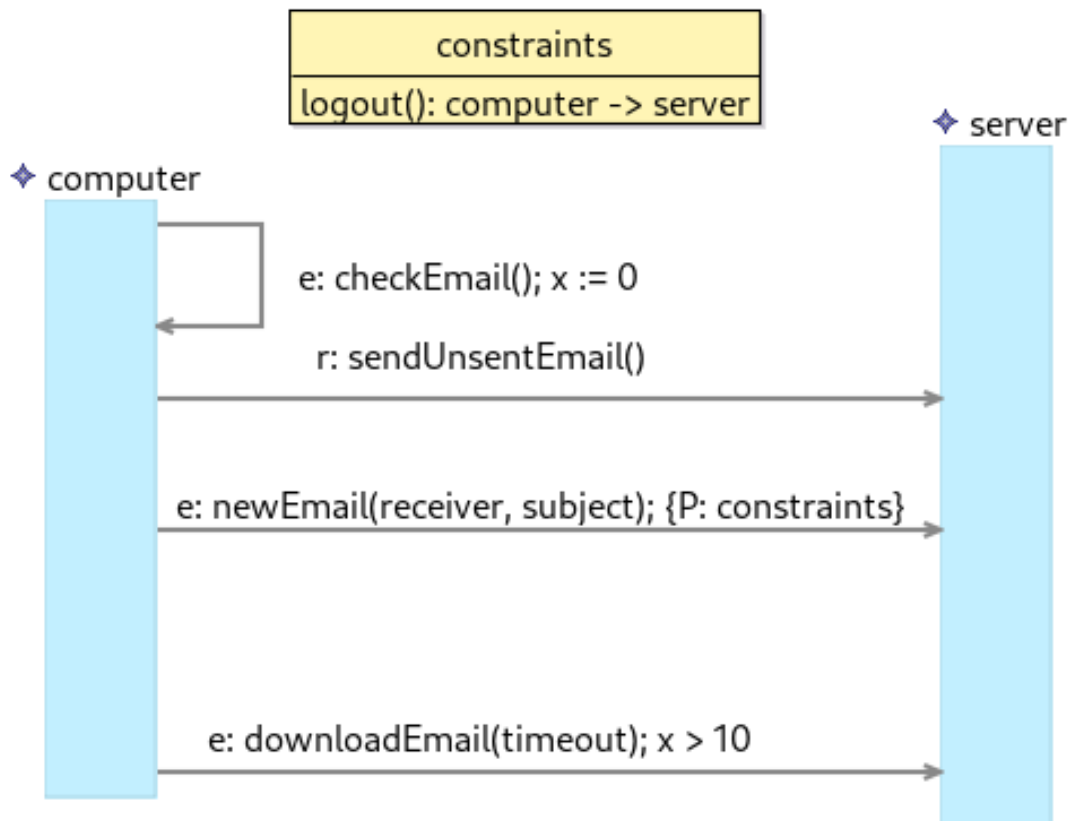
  clock x;

  constraint constraints {
    message logout() computer -> server;
  }

  scenario sendEmail{
    message checkEmail() computer -> computer reset x;
    required message sendUnsentEmail() computer -> server;
    pastConstraint {constraints} message newEmail(receiver, subject) computer -> server;
    message downloadEmail(timeout) computer -> server clockConstraint {>(x,10)};
  }
}

```

4.1. kódrészlet. Szcenárió szöveges leírása.



4.2. ábra. *Sirius* által előállított szcenárió diagram.

A diagramon keretek formájában jelenek meg az operátorok. Ilyen operátorokat a 4.3 diagramon lehet megtekinteni.


```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<minotor:SequenceDiagram xmi:version="2.0" xmlns:xmi="http://www.omg.org/XMI" xmlns:minotor="hu.bme.mit.mdsd.xboyz.erdiagram" Name="Email">

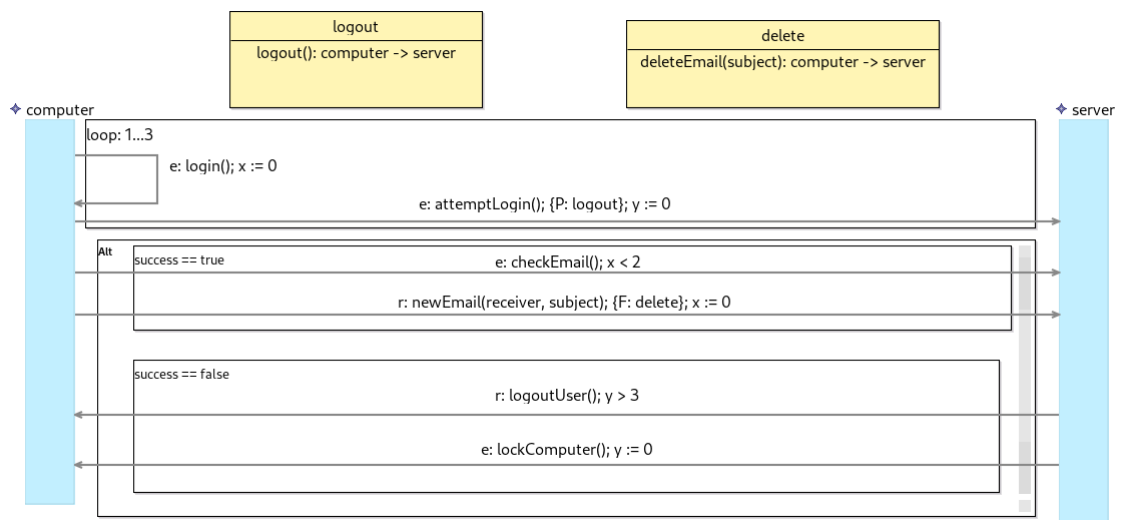
<lifelines Name="computer" Type="Computer"/>
<lifelines Name="server" Type="Server"/>

<constraints Name="constraints">
<transitions Name="logout()" source="//@lifelines.0" target="//@lifelines.1"/>
</constraints>

<transitions Name="checkEmail()" Type="REGULAR" Label="e: checkEmail()" source="//@lifelines.0"
  target="//@lifelines.0" after="//@transitions.1" reset="x"/>
<transitions Name="sendUnsentEmail()" Type="REQUIRED" Label="r: sendUnsentEmail()" source="//
  @lifelines.0" target="//@lifelines.1" before="//@transitions.0" after="//@transitions.2"/>
<transitions Name="computerError()" Type="FAIL" Label="f: computerError()" source="//@lifelines.1"
  target="//@lifelines.0" before="//@transitions.1" after="//@transitions.3"/>
<transitions Name="serverError()" Type="FAIL" Label="f: serverError()" source="//@lifelines.0"
  target="//@lifelines.1" before="//@transitions.2" after="//@transitions.4"/>
<transitions Name="newEmail(receiver, subject)" Type="REGULAR" Label="e: newEmail(receiver, subject)
  " source="//@lifelines.0" target="//@lifelines.1" before="//@transitions.3" after="//
  @transitions.5" constraint="//@constraints.0" constraintType="PAST"/>
<transitions Name="downloadEmail(timeout)" Type="REGULAR" Label="e: downloadEmail(timeout)" source="//
  @lifelines.0" target="//@lifelines.1" before="//@transitions.4" clockConstraint="x > 10"
  />
</minotor:SequenceDiagram>

```

4.2. kódrészlet. Szenárió diagram xml leírása.



4.3. ábra. Operátorokat tartalmazó szenárió diagram.

5. fejezet

Monitor forráskód generálás

5.1. Időzített automata generátor

5.1.1. Az automata generátor célja

Az *önálló laboratórium* során elkészített automata generátort kibővítettem úgy, hogy támogassa a *TPSC* elemekhez tartozó automata minták generálását. Az eredeti automata generátor *PSC* szöveges leírásokhoz tartozó *Büchi* automatakat tudta összeállítani. Az volt a feladatom, hogy a meglévő *Büchi* automata mintákat lecseréljem a korábban ismertetett időzített automata mintákra és felvegyem a hiányzó mintákat, amik az időzési feltételeket tartalmazó üzenetekhez tartoznak. A kibővített automata generátor bemenetként egy *TPSC* scenárió szöveges leírását kapja meg amiből a minta alapú módszerrel generál egy *TA* automatát.

A 5.1 és 5.2 kódrészleteken látható, hogy a monitor generátor támogatja az összetett operátorokat tartalmazó *TPSC*-khez tartozó *TA*-k generálását is. A generátor készít egy szöveges leírást a generált automatához, ehhez a *Never claim* nyelvet használja. A *Never claim* a *Promela* nyelv része, ezzel egy rendszer viselkedését lehet definiálni. Egy *Never claim* leírás a *never* kulcsszóval kezdődik és '{' '}' jelek között vannak az automata állapotai lista szerűen felsorolva egymás alatt. Minden állapothoz tartozó kimenő átmenet az *if* és *fi* kulcsszavak között található. Egy átmenet leírása a címkéjét tartalmazza és egy *->* jelzi, hogy melyik állapotba visz át. A 5.1 kódrészleten lévő szöveges *TPSC* leíráshoz tartozó generált automata *Never claim* leírását a 5.2 kódrészlet tartalmazza. Továbbá a generátor képes az üzenet paraméterek kezelésére.

5.1.2. Az automata generátor megvalósítása

A generátorhoz az *Xtend* technológiát használtam. Minden egyes *TPSC* üzenethez legenerálja a hozzá tartozó minta automatát, majd elvégzi azok összezsátolását.

Az időzített automaták generálásához egy adatstruktúrát definiáltam, amely a következő *Java* osztályokból és interfészekből áll:

- *Automaton*, az automata implementációját tartalmazza, eltárolja az állapotokat és az átmeneteket
- *ClockConstraint*, időzési feltételek *Java* implementációját tartalmazza
- *Constraint*, megkötések implementációját tartalmazza
- *State*
- *StateType*

```

specification Bank {

    object UserInterface ui;
    object ATM atm;
    object BankDB db;

    bool success = true;

    constraint b {
        message logout() ui->atm;
    }

    scenario transaction {
        message login(success) ui->atm;

        alt (equals(success, true)) {
            message wReq() ui->atm;
            message uDB() atm->db;
        } (equals(success, false)) {
            message loginUnsuccessful() ui->atm;
            message lockMachine() required atm->ui;
        }
    }
}

```

5.1. kódrészlet. Alt operátort tartalmazó szcenárió.

- Transition

Az automatában lévő állapotok implementációja a *State* osztályban található. Két attribútuma van:

- *id(String)*: a címkéje tárolására
- *type(StateType)*: az állapot típusa

Az állapot típusának a megadására a *StateType* enum osztályt definiáltam. Az enum a következő értékeket veheti fel:

- NORMAL
- ACCEPT
- FINAL

Az átmenetek implementációjáért felelős osztály a *Transition*. Három tag változója van:

- *id(String)*: az üzenet
- *reset(String)*: visszaállítandó óraváltozó neve
- *sender(State)*: a forrás állapot
- *receiver(State)*: a cél állapot
- *constraint(Constraint)*: az átmeneten lévő megkötés
- *clockConstraint(ClockConstraint)*: az átmeneten lévő időzítési feltétel

Az időzített automata implementációja az *Automaton* osztályban található. Itt tároljuk az automatában lévő állapotokat és a köztük lévő átmeneteket egy-egy listában. Az *Automaton* osztály *addState(State)* és *addTransition(Transition)* függvényeivel lehet

```

bool success = true;

never{ /*transactionMonitor*/
T0_init:
  if
  :: (!ui.login(success).atm) -> goto T0_init
  :: (ui.login(success).atm) -> goto T0_q1
  fi;
T0_q1:
  if
  :: (epsilon) -> goto T0_qinit0
  fi;
T0_qinit0:
  if
  :: (epsilon; success == true) -> goto T0_q2
  :: (epsilon; success == false) -> goto T0_q5
  fi;
T0_qfinal1:
  if
  fi;
T0_q2:
  if
  :: (!ui.wReq().atm) -> goto T0_q2
  :: (ui.wReq().atm) -> goto T0_q3
  fi;
T0_q3:
  if
  :: (!atm.uDB().db) -> goto T0_q3
  :: (atm.uDB().db) -> goto T0_q4
  fi;
T0_q4:
  if
  :: (epsilon) -> goto T0_qfinal1
  fi;
T0_q5:
  if
  :: (!ui.loginUnsuccessful().atm) -> goto T0_q5
  :: (ui.loginUnsuccessful().atm) -> goto T0_q6
  fi;
T0_q6:
  if
  :: (!atm.lockMachine().ui) -> goto T0_q6
  :: (!atm.lockMachine().ui) -> goto accept_q7
  :: (atm.lockMachine().ui) -> goto T0_q8
  fi;
accept_q7:
  if
  fi;
T0_q8:
  if
  :: (epsilon) -> goto T0_qfinal1
  fi;
}

```

5.2. kódrészlet. Alt operátort tartalmazó szcenárió never claim leírása.

új állapotot és átmenetet hozzáadni az automatához, a *collapse(Automaton)* függvényével pedig két automatát egyesíteni. Ezt a függvényt használtam az implementációban a minta automaták egyesítésére. Ezen kívül az osztálynak van egy *merge(ArrayList<Automaton>)* függvénye. Ez a függvény az *alt* operátor ágaiban lévő minta automaták összefésülésére szolgál.

A *Specification* osztály feladata, hogy összeállítsa a szöveges leírásban specifikált *TPSC* szcenárióhoz tartozó időzített automatát. Ezt követően az automata *Never Claim* leírását egy *.txt* kiterjesztésű fájlba írja.

5.1.3. Mintapélda

```

specification Bank {
  object User_Interface ui;
  object ATM atm;
  object BankDB db;

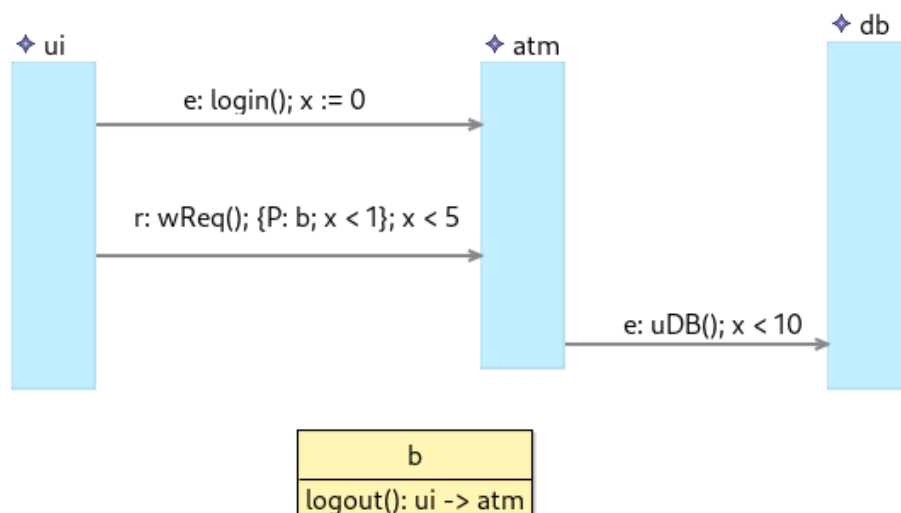
  clock x;

  constraint b {
    message logout() ui -> atm;
  }

  scenario transaction {
    message login() ui -> atm reset x;
    required pastConstraint {b, <(x, 1)} message wReq() ui -> atm clockConstraint {<(x, 5)};
    message uDB() atm -> db clockConstraint {<(x, 10)};
  }
}

```

5.3. kódrészlet. TPSC scenario szöveges leírása.



5.1. ábra. Példa TPSC diagram.

A 5.3, 5.4 kódrészleteken és 5.1 ábrán látható, hogy a generátor milyen időzített automatát generál a megadott *TPSC* scenárióból.

```

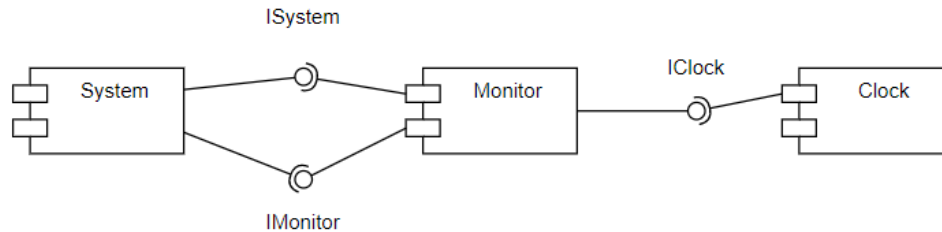
never{ /*transactionMonitor*/
T0_init:
  if
  :: (!ui.login().atm; ) -> goto T0_init
  :: (ui.login().atm; x = 0) -> goto T0_q1
  fi;
T0_q1:
  if
  :: (!ui.wReq().atm; x < 5 & !(ui.logout().atm; x < 1)) -> goto T0_q1
  :: (ui.wReq().atm; x < 5) -> goto T0_q3
  :: ((!(ui.logout().atm; x < 1); x < 5) || (ui.wReq().atm; )) || (1, x >= 5))) -> goto accept_q2
  fi;
accept_q2:
  if
  fi;
T0_q3:
  if
  :: (!atm.uDB().db; x < 10;) -> goto T0_q3
  :: (atm.uDB().db; x < 10;) -> goto T0_q4
  fi;
T0_q4:
  if
  fi;
}

```

5.4. kódrészlet. Generált időzített automata never claim formátumban.

5.2. Monitor forráskód generátor

5.2.1. A monitor interfészei



5.2. ábra. Architektúra diagram.

A 5.2 ábrán látható a megfigyelt rendszerhez és a monitorhoz architektúra diagram. A monitorozás alatt lévő rendszer egy közös interfészen keresztül kommunikál a monitorral. Az interfész *Java* implementációja a 5.5 kódrészleten tekinthető meg. A monitor azt vizsgálja, hogy a rendszer a szcenárió szerint viselkedik-e. Monitornak a következő interfészt kell megvalósítania:

- *update()*: ezzel a függvénnyel lehet továbbítani a rendszer üzeneteit a monitor számára. Bemenetként az üzenet feladóját, címzettjét, nevét és paramétereit kapja. A monitor frissíti a belső automatájának állapotát.
- *goodStateReached()*: a rendszer ezen a függvényen keresztül kérdezi le a monitortól, hogy jó állapotban van-e a követelmény szempontjából, azaz nem történt e hiba. Visszatérési értéke egy *boolean* érték.
- *requirementSatisfied()*: a rendszer ezzel a függvénnyel kérdezheti le, megfelel-e a követelménynek. Visszatérési értéke egy *boolean* érték.
- *errorDetected()*: ez a függvény tartalmazza a hibaelhárító funkcionalitás implementációját. A rendszer ezt a függvényt használhatja erre a célra hiba esetén. Bemenetként azt az üzenetet kapja meg, amely hatására előjött a hiba az *update()* függvényhez hasonlóan.
- *noMoreMessages()*: a rendszer ezen a függvényen keresztül jelzi a monitornak a kommunikáció végét.

Az üzenetek megfigyeléséhez szükséges segédfüggvényeket a kommunikációs infrastruktúrához kézzel kell megírni. Ezek a monitort az *update()* függvényen keresztül hívják.

```
public interface IMonitor {
    public boolean goodStateReached();
    public void update(String sender, String receiver, String messageType, Map<String, Object>
        parameters);
    public boolean requirementSatisfied();
    public void errorDetected(String sender, String receiver, String messageType, Map<String, Object>
        parameters);
    public void noMoreMessages();
}
```

5.5. kódrészlet. Monitor interfész *Java* implementációja.

Az időzítési feltételek kiértékelése érdekében a monitornak szüksége van egy időzítő komponensre. Az időzítő komponenshez tartozik egy időzítő interfész amin keresztül el-

érhető a komponens. Ezen az interfészen keresztül lehet az óráváltozókat lekérdezni vagy nullázni. Két függvénye van:

- *getClock(String clock)*: óráváltozó lekérdezése név alapján.
- *resetClock(String clock)*: óráváltozó nullázása név alapján.

```
public interface IClock {  
    public long getClock(String clock);  
    public void resetClock(String clock);  
}
```

5.6. kódrészlet. Időzítő interfész Java implementációja.

A 5.6 kódrészlet tartalmazza az időzítő interfész implementációját, a *IClock* Java interfészt.

A monitor az *ISystem* interfészen keresztül tud a rendszernek üzeneteket küldeni a megfigyelt viselkedésről. Ezt az interfészt a monitorozott rendszer valósítja meg. Három függvénye van:

- *receiveMonitorStatus()*: a monitor jelzi a rendszer felé a követelmény alapján az aktuális státuszt. Bementként a monitor által küldött üzenetet kapja meg.
- *receiveMonitorError()*: a monitor jelzi a rendszer felé ha hibát detektált. Bemenetként két üzenetet kap: a hibát okozó üzenetet és az utolsó üzenetet, amikor még a rendszer jó állapotban volt a követelmény szempontjából.
- *receiveMonitorSuccess()*: a monitor jelzi a rendszer felé ha teljesült a követelmény.

```
public interface ISystem {  
    public void receiveMonitorStatus(String message);  
    public void receiveMonitorError(String actualMessage, String lastAcceptedMessage);  
    public void receiveMonitorSuccess();  
}
```

5.7. kódrészlet. Rendszer interfész Java implementációja.

Az 5.7-es kódrészlet tartalmazza az *ISystem* java interfészt.

5.2.2. A monitor forráskód megvalósítása

A generált forráskód struktúrája egy statikus és egy generált dinamikus részből áll. A statikus részbe az időzített automata *Java* osztályai kerülnek:

- State: egy állapotot leíró osztály
- Transition: egy átmenetet reprezentáló osztály
- Automaton: egy automatát megvalósító osztály

Ezek segédosztályok, amelyek a generált automata reprezentálására szolgálnak. A statikus rész a *hu.bme.mit.diptych.text.util* csomagban található meg, amely a 5.3-as ábrán látható.

A monitor interfész, a monitor Java osztálya, az időzítő interfész és a hozzá tartozó java osztály is ebbe a részbe tartozik.

A dinamikus részben található a *Specification* Java osztály, ami a szcenárió alapján generált automata forráskódját tartalmazza. Az osztály konstruktorába jön létre egy *Automaton* objektum, amihez hozzáadjuk a leírás alapján a megfelelő állapotokat és átmeneteket *State* és *Transition* objektumokat használva.

A szükséges forráskódok generálásához az *Xtend* technológiát használtam.



5.3. ábra. Az util csomag tartalma.

5.2.3. Mintapélda

A 5.8 kódrészleten látható egy szcenárió követelmény szöveges leírása, amit egy okos telefon működésére specifikáltunk. A 5.4 ábrán látható a leíráshoz tartozó diagram vizualizációja, az 5.9 kódrészlet pedig a generált automata leírását tartalmazza.

Az okos telefonon van egy zene lejátszási lista generáló alkalmazás. A követelményben azt várjuk el, hogy ha a felhasználó megnyitja az alkalmazást akkor a belső kamera készít az arcáról egy képet. A kép alapján eldönti, hogy milyen a felhasználó kedve és az alapján előállít egy zene lejátszási listát.

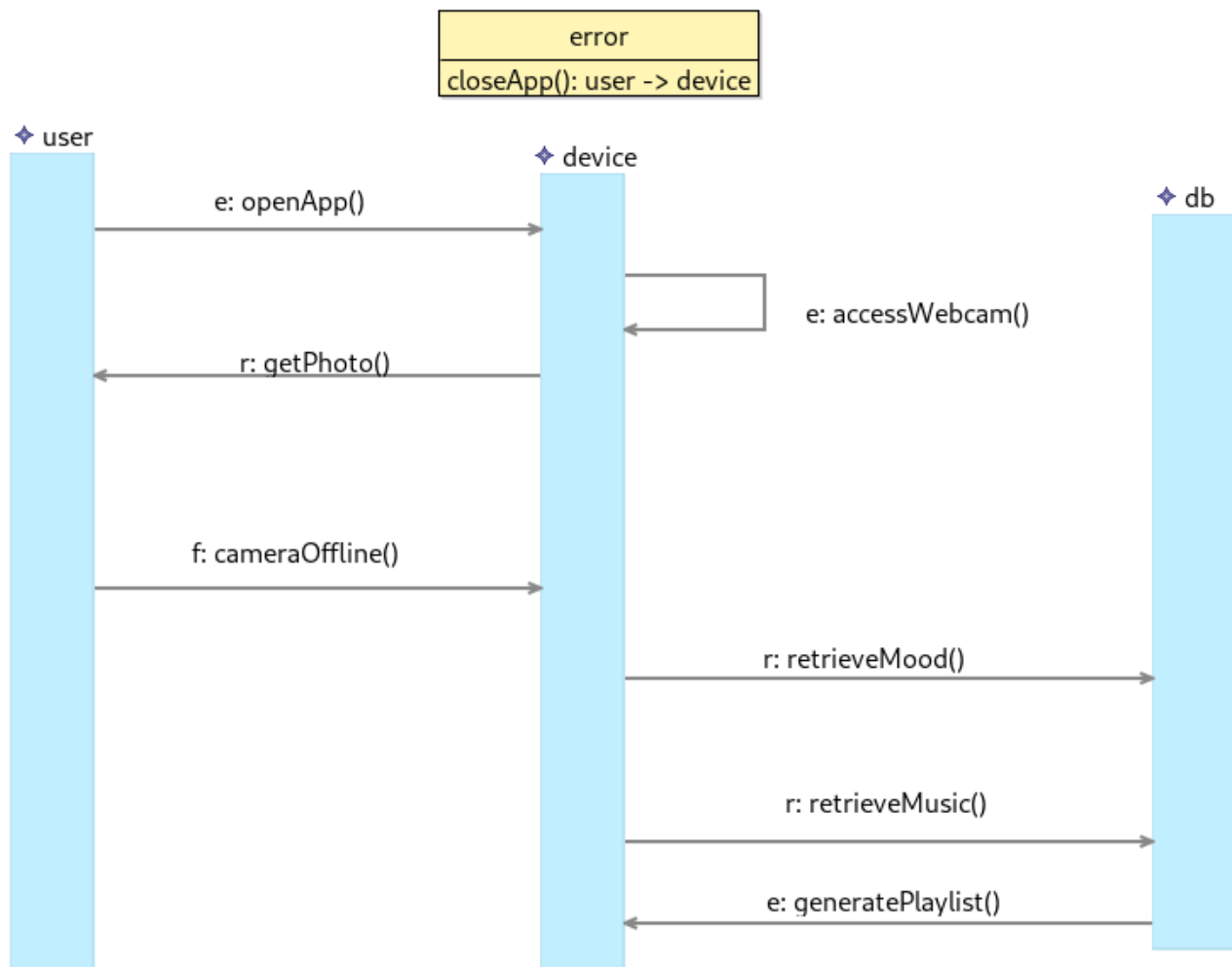
A 5.10 kódrészleten látható az okos telefon és a monitor közti kapcsolat megvalósítása *Java* kódban. A rendszerben lévő *User*, *Device* és *Database* osztályok mind attribútumként átveszik a *Monitor* osztályt, amely megvalósítja az *IMonitor* interfészt.

```
specification Photo{  
  
    object User user;  
    object Device device;  
    object Database db;  
  
    constraint error {  
        message closeApp() user -> device;  
    }  
  
    scenario playlist_generation{  
        message openApp() user -> device;  
        message accessWebcam() device -> device;  
        required message getPhoto() device -> user;  
        fail message cameraOffline() user -> device;  
        required strict message retrieveMood() device -> db;  
        required message retrieveMusic() device -> db;  
        strict message generatePlaylist() db -> device;  
    }  
}
```

5.8. kódrészlet. Okos telefon működésére megadott szcenárió követelmény.

A 5.11 kódrészlet az okos telefon *Java* osztálya. Megtekinthető a monitor és az eszköz közti kommunikáció megvalósítása is. A *Device* osztály a tágváltozójaként tárolt *IMonitor*-nak küldi az üzeneteket az *update()* függvény használatával.

A 5.12 kódrészleten látszik, hogy a rendszer a működése elején nem felelt meg a monitor követelményének. Amikor a működése végére ért akkor a monitor jelezte, hogy a rendszer jó állapotban van a „*Good state*” üzenettel és, hogy a követelmény teljesült a „*Requirement Satisfied*” üzenettel. A mintapéldához tartozó *Specification* osztály a *Függelékben* található (F.1.1). A generált automatát a konstruktorában állítja elő.



5.4. ábra. A 5.8 leíráshoz tartozó diagram.

```

never{ /*playlist_generationMonitor*/
T0_init:
  if
  :: (! (user.openApp().device)) -> goto T0_init
  :: (user.openApp().device) -> goto T0_q1
  fi;
T0_q1:
  if
  :: (! (device.accessWebcam().device)) -> goto T0_q1
  :: (device.accessWebcam().device) -> goto T0_q2
  fi;
T0_q2:
  if
  :: (! (device.getPhoto().user)) -> goto T0_q2
  :: (! (device.getPhoto().user)) -> goto accept_q3
  :: (device.getPhoto().user) -> goto T0_q4
  fi;
accept_q3:
  if
  fi;
T0_q4:
  if
  :: (! (user.cameraOffline().device)) -> goto T0_q6
  :: (! (user.cameraOffline().device)) -> goto T0_q4
  :: (user.cameraOffline().device) -> goto accept_q5
  fi;
accept_q5:
  if
  fi;
T0_q6:
  if
  :: (device.retrieveMood().db) -> goto T0_q8
  :: (! (device.retrieveMood().db)) -> goto accept_q7
  fi;
accept_q7:
  if
  fi;
T0_q8:
  if
  :: (! (device.retrieveMusic().db)) -> goto T0_q8
  :: (! (device.retrieveMusic().db)) -> goto accept_q9
  :: (device.retrieveMusic().db) -> goto T0_q10
  fi;
accept_q9:
  if
  fi;
T0_q10:
  if
  :: (db.generatePlaylist().device) -> goto T0_q11
  fi;
T0_q11:
  if
  fi;
}

```

5.9. kódrészlet. Generált automata Never claim formátumba.

```

public class Main {
    public static void monitorStatus(String status) {
        System.out.println(status);
    }

    public static void main(String[] args) {
        Specification specification = new Specification();
        specification.listAutomatas();
        IMonitor monitor = new Monitor(specification.getAutomata().get(0));

        User user = new User();
        Device device = new Device();
        Database db = new Database();
        user.device = device;
        device.user = user;
        device.db = db;
        db.device = device;
        user.monitor = monitor;
        device.monitor = monitor;
        db.monitor = monitor;

        user.init();
    }
}

```

5.10. kódrészlet. Az okos telefon és hozzá tartozó monitor fel konfigurálásának Java implementációja.

```

public class Device {
    public IMonitor monitor;
    public User user;
    public Database db;

    void openApp() {
        monitor.update("user", "device", "openApp", new HashMap<String, Object>());
        accessWebcam();
    }

    void accessWebcam() {
        monitor.update("device", "device", "accessWebcam", new HashMap<String, Object>());
        user.getPhoto();
        db.retrieveMood();
        db.retrieveMusic();
    }

    void cameraOffline() {
        monitor.update("user", "device", "cameOffline", new HashMap<String, Object>());
    }

    void generatePlaylist() {
        monitor.update("db", "device", "generatePlaylist", new HashMap<String, Object>());
    }
}

```

5.11. kódrészlet. Az okos telefon Java osztálya.

```
Received Message: user.openApp().device
q1
[System] Received status from monitor: System is in good state.
[Clock] reset x
Received Message: device.accessWebcam().device
q2
[System] Received status from monitor: System is in good state.
Received Message: device.getPhoto().user
q5
[System] Received status from monitor: System is in good state.
Received Message: someone.message().else
q7
[System] Received status from monitor: System is in good state.
Received Message: device.retrieveMood().db
q9
[System] Received status from monitor: System is in good state.
Received Message: device.retrieveMusic().db
q11
[System] Received status from monitor: System is in good state.
Received Message: db.generatePlaylist().device
q12
[System] Received status from monitor: System is in good state.
[System] Received status from monitor: Requirement satisfied
```

5.12. kódrészlet. Monitor kimenete a rendszer működésének egyes fázisaiban.

5.2.4. Összetett szerkezetek

A monitor forráskód generátor támogatja az *alt*, *par* vagy *loop* operátorokat tartalmazó scenáriókat is. Ezt funkcionálitást a tesztelés során mutatom be részletesebben.

5.2.5. Időzítési feltételek

A monitor forráskód generátor támogatja az időzítési feltételeket tartalmazó scenáriókat is. A 5.13 kódrészletben található scenárió első üzenetén a *"reset x"* címke jelzi a monitor-nak, hogy az *"x"* óraváltozót nullázni kell. Egy óraváltozó felvételét is a *"reset"* címkével lehet végrehajtani. Ezt az óraváltozót használhatjuk majd a scenáriónk későbbi üzeneteinél időzítési feltételek megadására. Például a 5.13 kódrészletben lévő scenárió esetén, ha a monitor megkapja a *checkEmail()* üzenetet, akkor létrehoz egy *"x"* óraváltozót mivel ilyen még nem létezett előtte. Ha a scenárió végére érünk és a monitor megkapja a *downloadEmail()* üzenetet, akkor a monitor kiértékeli az üzeneten lévő időzítési feltételt az óraváltozóban tárolt időérték alapján. Ha az előbbi feltétel teljesült akkor tovább lépteti az időzített automatát. A 5.14 kódrészlet a példához tartozó *Main Java* osztály leírását tartalmazza, a 5.15 kódrészlet pedig a rendszerhez tartozó *Computer Java* osztályt. A 5.16 kódrészleten megtekinthető a monitor kimenete. A kimenet végén lévő *"System is in good state."* üzenet jelzi, hogy a rendszer jó állapotban van.

```
specification Email {  
  
    object Computer computer;  
    object Server server;  
  
    clock x;  
  
    constraint constraints{  
        message logout() computer -> server;  
    }  
  
    constraint c {  
        message login() server -> computer;  
    }  
  
    scenario sendEmail{  
        message checkEmail() computer -> computer reset x;  
        message sendUnsentEmail() required computer -> server;  
        message newEmail() computer -> server pastConstraint {constraints};  
        message downloadEmail() computer -> server clockConstraint {x < 10};  
    }  
}
```

5.13. kódrészlet. Időzítési feltételeket tartalmazó scenárió

Az óraváltozók és időzítések megvalósításához az *"org.apache.commons.lang3"* könyvtár *"time"* csomag *Stop Watch* osztályát használtam. Ha az automata élén van egy időzítési feltétel akkor a monitor komponens az időzítő komponenstől elkéri a feltételben szereplő óraváltozóban tárolt időt és kiértékeli a feltételt. Ha a feltétel teljesül, akkor az időzítés szempontjából a tranzíció megtörténhet. A monitor akkor jelez hibát ha az átmeneten lévő időzítési feltétel nem teljesült és az üzenet más átmenetre se illeszkedik.

```

public class Main {
    public static void monitorStatus(String status) {
        System.out.println(status);
    }

    public static void main(String[] args) {
        Specification specification = new Specification();
        specification.listAutomatas();
        IClock clock = new Clock();
        IMonitor monitor = new Monitor(specification.getAutomata().get(0), clock);

        Server server = new Server(monitor);
        Computer computer = new Computer(server, monitor);
    }
}

```

5.14. kódrészlet. Időzítéses példához tartozó Main osztály.

```

public class Computer {
    public Server server;
    public IMonitor monitor;

    Computer(Server server, IMonitor monitor) {
        this.server = server;
        this.monitor = monitor;
        monitor.update("computer", "computer", "checkEmail", new HashMap<String, Object>());
        checkEmail();
    }

    void checkEmail() {
        monitor.update("computer", "server", "sendUnsentEmail", new HashMap<String, Object>());
        server.sendUnsentEmail();

        monitor.update("computer", "server", "newEmail", new HashMap<String, Object>());
        server.newEmail();

        monitor.update("computer", "server", "downloadEmail", new HashMap<String, Object>());
        server.downloadEmail();
    }
}

```

5.15. kódrészlet. A Computer java osztálya.

```

Received Message: computer.checkEmail().computer
q1
[System]Received status from monitor: System is in good state.
Received Message: computer.sendUnsentEmail().server
q3
[System]Received status from monitor: System is in good state.
Received Message: computer.newEmail(receiver, subject).server
q4
[System]Received status from monitor: System is in good state.
Received Message: computer.downloadEmail(timeout).server
q5
[System]Received status from monitor: System is in good state.
[System]Received status from monitor: Requirement satisfied

```

5.16. kódrészlet. Időzítéses példa monitor kimenete.

6. fejezet

A generált monitor forráskód helyességének tesztelése

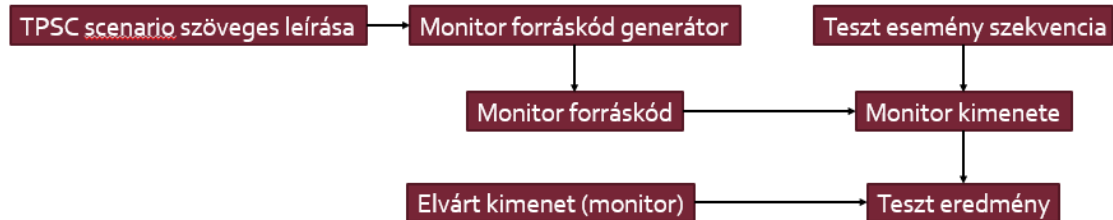
6.1. Tesztelési célok

A generált monitor forráskód tesztelésére a következő célokat fogalmazuk meg:

- Az összes üzenet típus megjelenése a különböző teszt scenáriókban
- Időzített feltételek helyes kiértékelése
- Üzenet megkötések tesztelése
- *Alt* és *Par* operátorok esetén, az üzenet szekvencia ágak helyes kiértékelése
- *Loop* operátor esetén a minimális és maximális üzenet ismétlődések tesztelése
- Összetett scenárió tesztelése, ami több operátort tartalmaz
- Egymást követő elvárt üzeneteket tartalmazó scenárió tesztelése
- Egymást követő *fail* üzeneteket tartalmazó scenárió tesztelése
- *Regular* üzenet tesztelése (ha megjelenik a rendszer működésében akkor ki kell értékelni a scenárió többi részét, ha nem jelenik meg a monitor helyes működést kell jelezzen és, hogy a követelmény nem teljesült)
- Több óraváltozót tartalmazó scenárió tesztelése
- Egymást követő üzenetek kombinációinak tesztelése (pl. elvárt üzenetet követő *fail*, elvárt üzenetet követő reguláris, stb.)

6.2. Monitor forráskód generátor tesztelése

A generált monitor forráskódját integrációs tesztek segítségével szeretnénk ellenőrizni. Az *Xtext* keretrendszer a specifikált *DSL* (*Domain Specific Language*) nyelvhez generál egy *Maven plugin*-t. Ezt a *plugin*-t betölthetjük egy egyszerű *Maven* projektbe és használhatjuk is az elkészített *DSL* nyelvünket, azaz létrehozhatunk a projektben a saját *DSL*-ünkhöz tartozó fájlokat, melyekben megadhatjuk saját szcenárióinkat.

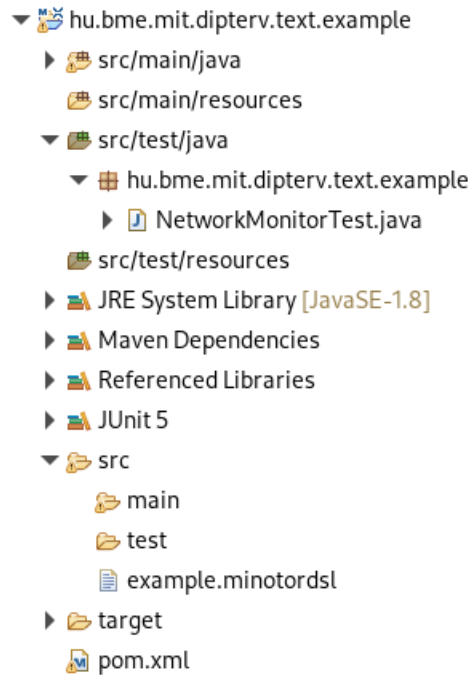


6.1. ábra. Integrációs tesztelés folyamatábrája.

A 6.1 ábrán megtekinthető az integrációs tesztelés tervének folyamatábrája.

Egy integrációs teszt akkor sikeres ha a monitor kimenete megegyezik az elvárt kimenettel.

Az *Xtext* keretrendszer által nyújtott *Maven plugin*-t felhasználhatjuk az integrációs tesztheinkhez. Elég csupán egy *Maven* projektet felkonfigurálni a saját *DSL plugin*-ünkkel és elkészíthetjük a saját tesztelési keretrendszerünket. Ezek a *Maven* projektek a szülő projektünkben helyezkedhetnek el, így a projekt struktúrában közvetlen a nyelvünk mellett vannak. A 6.2 ábrán kódrészleten látható egy ilyen integrációs teszthez tartozó *Maven* projekt felépítése



6.2. ábra. Példa integrációs teszt projekt struktúrája.

A 6.2 ábrán lévő *generated* csomag tartalmazza a szcenárióhoz tartozó generált automata forráskódját és a monitor forráskódját.

A 6.1 kódrészlet a *Maven* teszt kimenetét tartalmazza.

Ezt a projekt struktúrát felhasználva a tesztheink köré tudunk egy *Maven* alapú *Continuous Integration*-t (*CI*) állítani a generált monitor forráskód folyamatos ellenőrzése érdekében.

T E S T S

Running hu.bme.mit.dipterv.text.example.MonitorPassingTest

q0 NORMAL

q1 NORMAL

q2 ACCEPT

q3 NORMAL

q4 NORMAL

q5 FINAL

!(computer.checkEmail().computer) q0->q0

computer.checkEmail().computer q0->q1

!(computer.sendUnsentEmail().server) q1->q1

!(computer.sendUnsentEmail().server) q1->q2

computer.sendUnsentEmail().server q1->q3

!(computer.logout().server) & !(computer.newEmail().server) q3->q3

computer.newEmail().server q3->q4

!(computer.downloadEmail().server) q4->q4

computer.downloadEmail().server q4->q5

Received Message: computer.checkEmail().computer

Transition: !(computer.checkEmail().computer)

Transition: computer.checkEmail().computer

transition triggered: computer.checkEmail().computer

q1

Received Message: computer.sendUnsentEmail().server

Transition: !(computer.sendUnsentEmail().server)

Transition: !(computer.sendUnsentEmail().server)

Transition: computer.sendUnsentEmail().server

transition triggered: computer.sendUnsentEmail().server

q3

Received Message: computer.newEmail().server

Transition: !(computer.logout().server) & !(computer.newEmail().server)

Transition: computer.newEmail().server

transition triggered: computer.newEmail().server

q4

Received Message: computer.downloadEmail().server

Transition: !(computer.downloadEmail().server)

Transition: computer.downloadEmail().server

transition triggered: computer.downloadEmail().server

q5

Tests run: 1, Failures: 0, Errors: 0, Skipped: 0, Time elapsed: 0.025 sec

Results :

Tests run: 1, Failures: 0, Errors: 0, Skipped: 0

6.1. kódrészlet. Integrációs teszteteset eredménye.

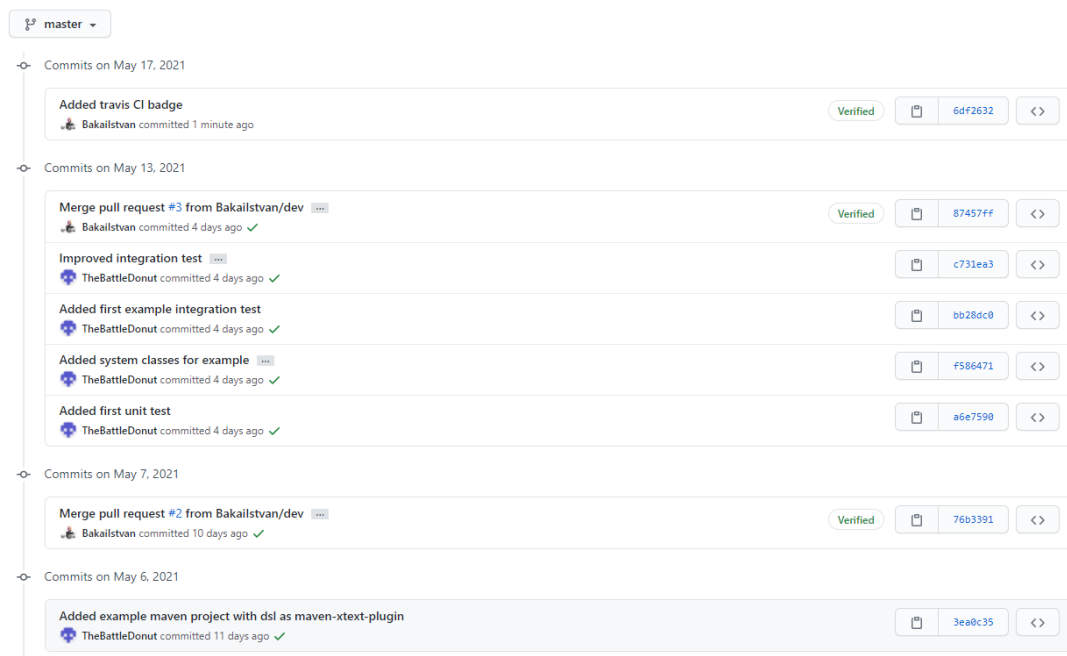
6.3. Continuous Integration

6.3.1. Github Actions CI

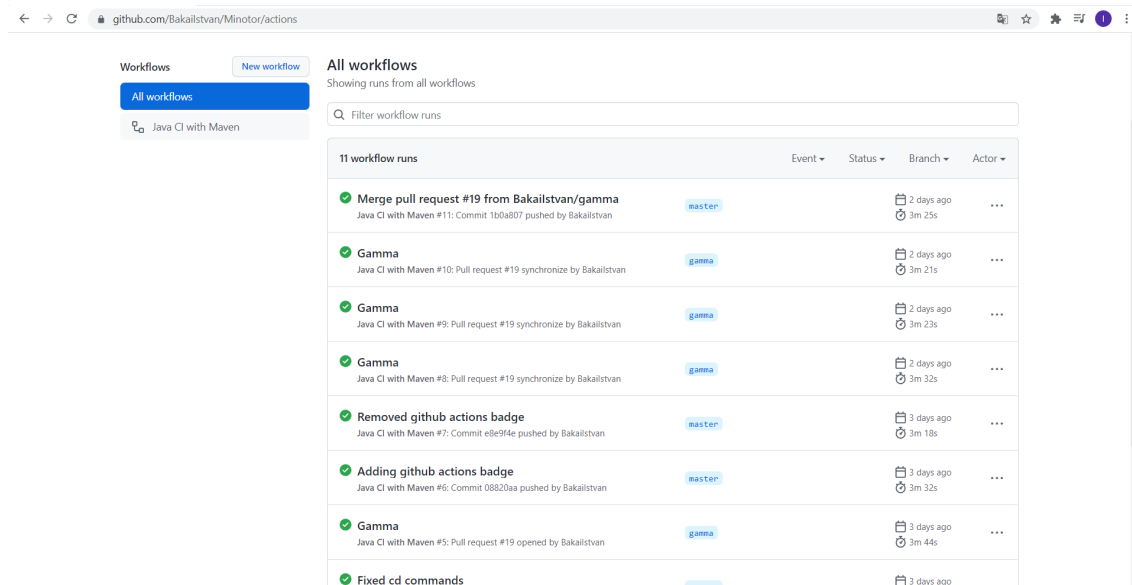
Az időzített automata és monitor forráskód generátorok automatikus tesztelése a *GitHub Actions* segítségével történik. A *CI* minden feltöltött új commit esetén lefut. A *CI* különböző fázisai a következők:

- I. Teljes *Xtext* projekt fordítása (*Maven*)
- II. Integrációs tesztek futtatása

A generátorokhoz tartozó *Xtext* projekten lefut egy *Maven build*, amely az új feltöltött verzió tartalmazza. Ez a *build* állítja elő a *DSL* nyelvhez tartozó *Maven plugin*-t is. Ezt követően hajtódnak végre az integrációs tesztek, amelyek a frissen fordított *Maven plugin*-t használják. Ha az összes fázis sikeresen lefutott, akkor az adott változtatás nem rontott el semmilyen korábbi funkciót. A *CI*-hoz tartozó *script*-et a 6.2 kódrészlet tartalmazza.



6.3. ábra. GitHub repository commit-ok és hozzá tartozó CI check-ek.



6.4. ábra. Github Actions CI build-ek eredményei.

```
# This workflow will build a Java project with Maven, and cache/restore any dependencies to improve
the workflow execution time
# For more information see: https://help.github.com/actions/language-and-framework-guides/building-
and-testing-java-with-maven

name: Java CI with Maven

on:
  push:
    branches: [ master ]
  pull_request:
    branches: [ master ]

jobs:
  build:

    runs-on: ubuntu-latest

    steps:
    - uses: actions/checkout@v2
    - name: Set up JDK 11
      uses: actions/setup-java@v2
      with:
        java-version: '11'
        distribution: 'adopt'
        cache: maven
    - name: Build with Maven
      run: mvn clean install -U
    - name: Test example project
      run: cd hu.bme.mit.dipterv.text.example; mvn clean install -U
    - name: Test mobileexample project
      run: cd hu.bme.mit.dipterv.text.mobileexample; mvn clean install -U
    - name: Test altexample project
      run: cd hu.bme.mit.dipterv.text.altexample; mvn clean install -U
    - name: Test parexample project
      run: cd hu.bme.mit.dipterv.text.parexample; mvn clean install -U
    - name: Test operatorexample project
      run: cd hu.bme.mit.dipterv.text.operatorexample; mvn clean install -U
    - name: Test gamma integration project
      run: cd hu.bme.mit.dipterv.text.gammaexample; mvn clean install -U
```

6.2. kódrészlet. Github Actions CI-hoz tartozó .yml script.

6.4. Tesztesetek

6.4.1. Egyszerű időzíti megkötéseket tartalmazó tesztszenárió

A tesztesetekhez tartozó szenárió követelmény megtalálható az 6.3 kódrészleten. A szenárióhoz tartozó diagram a 6.5 ábrán látható

```
specification Email {  
  
    object Computer computer;  
    object Server server;  
  
    integer timeout = 10;  
    string receiver = "John";  
    string subject = "Next meeting";  
  
    clock x;  
  
    constraint constraints {  
        message logout() computer -> server;  
    }  
  
    scenario sendEmail{  
        message checkEmail() computer -> computer reset x;  
        required message sendUnsentEmail() computer -> server;  
        pastConstraint {constraints} message newEmail(receiver, subject) computer -> server;  
        message downloadEmail(timeout) computer -> server clockConstraint {>(x,10)};  
    }  
}
```

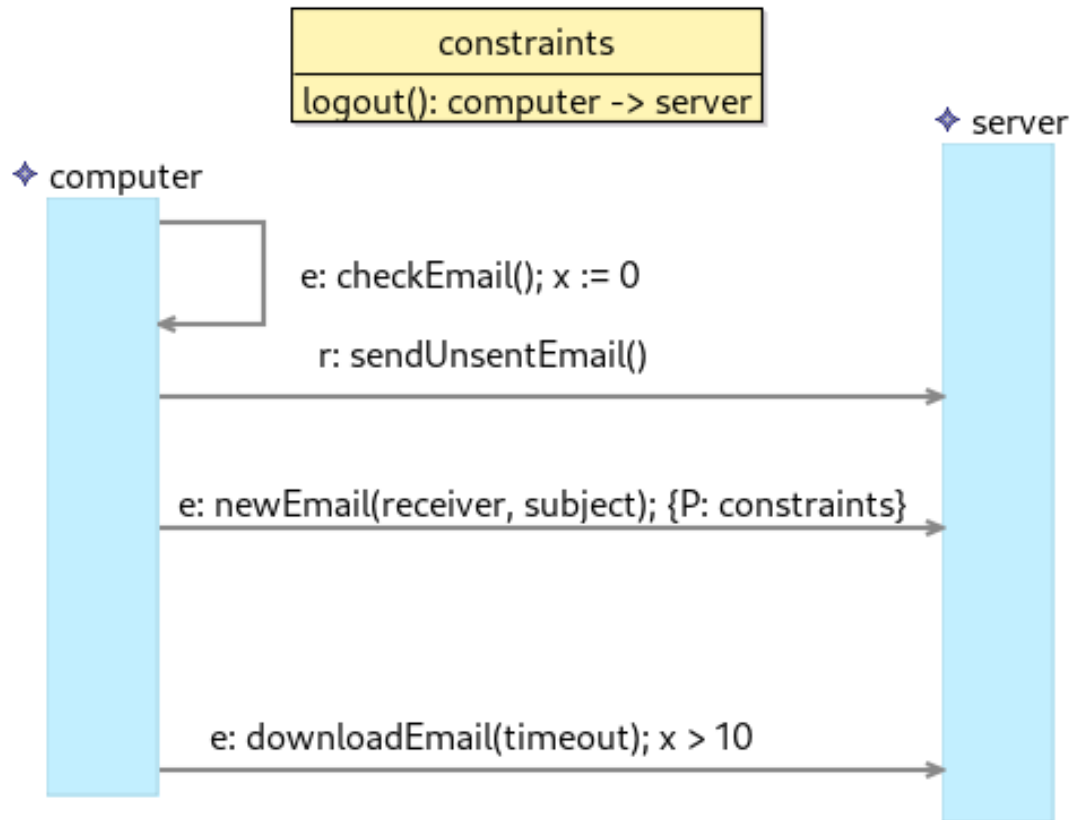
6.3. kódrészlet. Integrációs tesztesethez tartozó szenárió szöveges leírása.

A rendszer egy szervergépből és egy felhasználói számítógépből áll. A szerver egy *e-mail* szerveret szimulál, aminek a számítógép különböző kéréseket küldhet. Például lekérdezheti tőle a kapott *e-mail* vagy új *e-mail* küldhet. A követelményben leírjuk, hogy a rendszernek mi a helyes viselkedése *e-mail* küldés esetén. Ha a computer a *checkEmail* hívást használva talál elküldendő *e-mail* az továbbítja a szervernek. Ezt az *elvárt sendUnsentEmail* üzenet jelzi. Ezt követően meg kell jelenjen a rendszer működésében a *newEmail* üzenet. Ha ehelyett *logout* üzenet érkezik a hibás működést jelent. A *newEmail* üzenetet a *downloadEmail* üzenet követi. Ezen az üzeneten van egy 10 másodperces időzíti feltétel, ami a letöltést szimulálja.

A szenárióhoz tartozó tesztesetek a következők:

- testNetworkRequirementSatisfied
- testNetworkNoErrors
- testNetworkWithErrors
- testNetworkWithNoDelay
- testNetworkFirstFail
- testNetworkSecondFail

A *testNetworkRequirementSatisfied* tesztesetben a rendszer helyes működését szimuláljuk és azt ellenőrizzük, hogy a generált monitor képes ezt érzékelni és jelzi. A *testNetworkNoErrors* azt vizsgálja, hogy a monitor képes-e érzékelni, hogy a rendszer nem felelt meg a követelménynek. Itt úgy manipuláljuk a teszt rendszer, hogy le hagyjuk a letöltés részt a működésből. Ilyenkor a rendszer nem felel meg a követelménynek, viszont



6.5. ábra. Szcenárió diagram vizualizációja.

még jó állapotban marad, mert nem történt hiba. A *testNetworkWithErrors* tesztesetnél a *sendUnsentEmail* üzenet után egy *logout* üzenetet küldünk a monitor és azt vizsgáljuk képes-e detektálni ezt a hibát. A *testNetworkWithNoDelay*-nél pedig túl gyorsan küldjük a működés végén a *downloadEmail* üzenetet és azt ellenőrizzük képes-e a monitor ezt a hibát érzékelni.

6.4.2. Többféle üzenetet és megkötést tartalmazó egyszerű tesztszenárió

```

specification Photo{

  object User user;
  object Device device;
  object Database db;

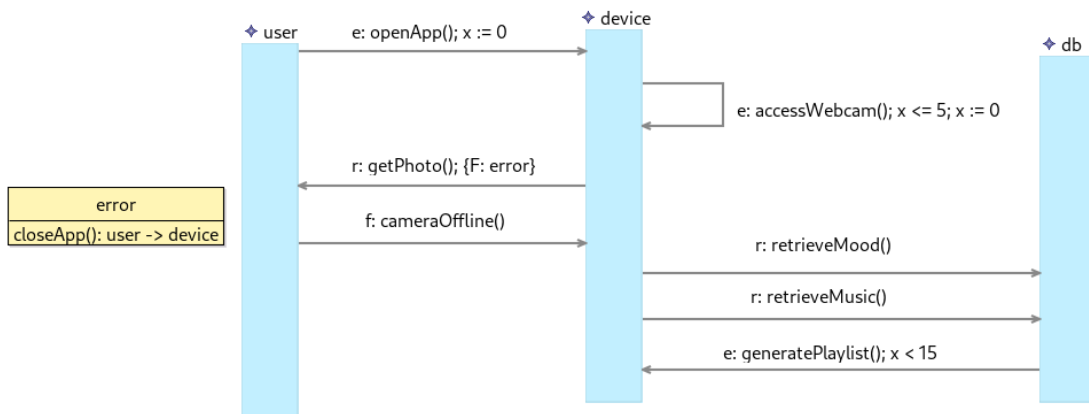
  clock x;

  constraint error {
    message closeApp() user -> device;
  }

  scenario playlist_generation{
    message openApp() user -> device reset x;
    message accessWebcam() device -> device clockConstraint {<=(x, 5)} reset x;
    required futureConstraint {error} message getPhoto() device -> user;
    fail message cameraOffline() user -> device;
    required strict message retrieveMood() device -> db;
    required message retrieveMusic() device -> db;
    strict message generatePlaylist() db -> device clockConstraint {<(x, 15)};
  }
}

```

6.4. kódrészlet. Második tesztsethez tartozó szenárió.



6.6. ábra. Második Szenárióhoz tartozó diagram vizualizációja.

A tesztrendszerünk egy zene lista generáló alkalmazás, ami egy felhasználót, mobil-eszközt és adatbázist tartalmaz. A felhasználó *"kedve"* alapján generálja a listát, amit az arc kifejezése alapján határoz meg. A követelményben a rendszer alap működése van leírva egészen az elejétől, amikor a felhasználó megnyitja az alkalmazást. A követelmény leírás megtekinthető az 6.4 kódrészleten és a hozzá tartozó vizualizáció a 6.6 ábrán.

A szenárióhoz tartozó tesztesetek a következők:

- testMobileRequirementSatisfied
- testMobileFutureConstraint
- testMobileFutureConstraintEarly
- testMobileWithError
- testMobileWithDelay

- `testMobileWithTooMuchDelay`
- `testMobileMissingRequiredMessage`
- `testMobileRequiredEventually`
- `testMobileRequiredNotReceived`

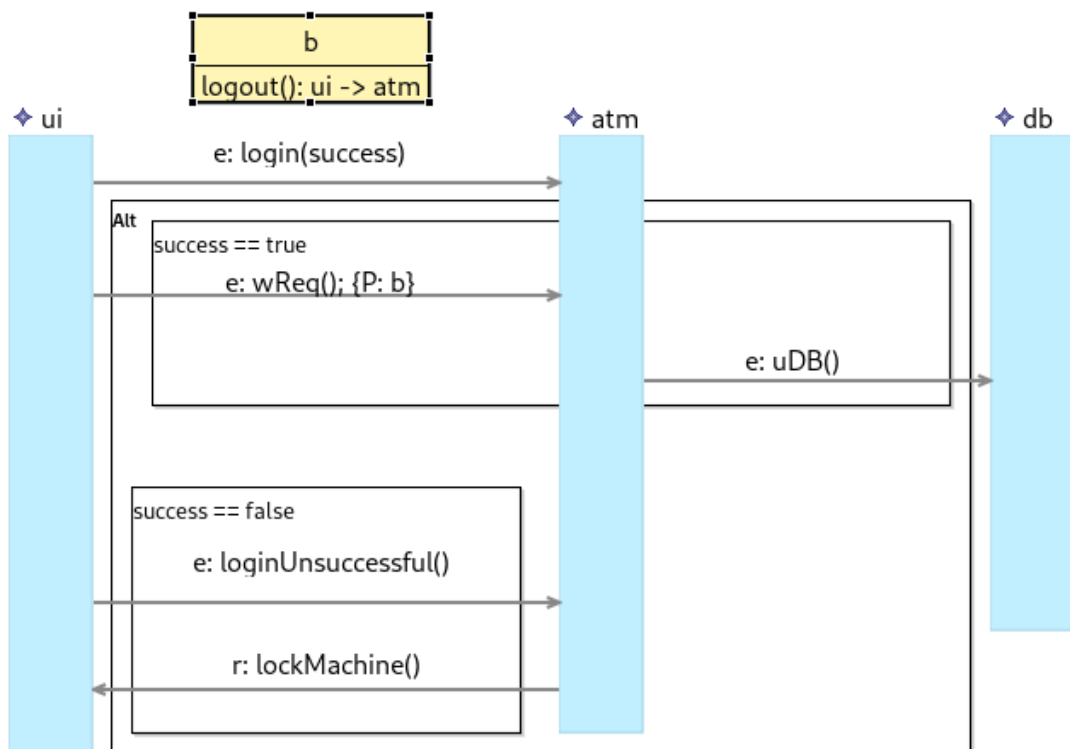
A teszteseteket a monitor hiba detektáló képességét tesztelik. A *testMobileWithDelay* és *testMobileWithTooMuchDelay* tesztesetek az $x \leq 5$ időzíítési feltétel beteljesülését ellenőrzik. A *testMobileWithDelay* 5 másodperces késleltetéssel küldjük az *accessWebcam* üzenetet, míg a másikonál 6 másodperces késleltetéssel. Az első esetben a monitornak helyes működést kell érzékelnie a következőben pedig hibás működést.

6.4.3. Alt operátort tartalmazó tesztszenárió

A tesztszenárióhoz tartozó rendszerünk egy banki rendszer. A szenárió megtalálható az 6.5 kódrészleten és a hozzá tartozó vizualizáció a 6.7 ábrán látható.

```
specification Bank {  
  
  object UserInterface ui;  
  object ATM atm;  
  object BankDB db;  
  
  bool success = true;  
  
  constraint b {  
    message logout() ui->atm;  
  }  
  
  scenario transaction {  
    message login(success) ui->atm;  
  
    alt (equals(success, true)) {  
      pastConstraint {b} message wReq() ui->atm;  
      message uDB() atm->db;  
    } (equals(success, false)) {  
      message loginUnsuccessful() ui->atm;  
      required message lockMachine() atm->ui;  
    }  
  }  
}
```

6.5. kódrészlet. Alt operátort tartalmazó tesztszenárió.



6.7. ábra. Alt operátort tartalmazó szenárió diagram

A rendszer egy felhasználói felületből, *ATM*-ből és banki adatbázisból áll. A követelményünkben két lehetséges működést írunk le. A *success* paraméter jelzi, hogy melyik működés a helyes. A szcenárióhoz tartozó tesztesetek a következők:

- testBankMonitorPassing
- testBankMonitorFailing
- testBankMonitorFalseCasePassing
- testBankMonitorFalseCaseFailing

A tesztesetekkel azt vizsgáljuk, hogy a monitor képes-e a helytelen ág lefutását hibának érzékelni és a helyes viselkedés esetén detektálni a követelmény teljesítését.

6.4.4. Par operátort tartalmazó tesztszenárió

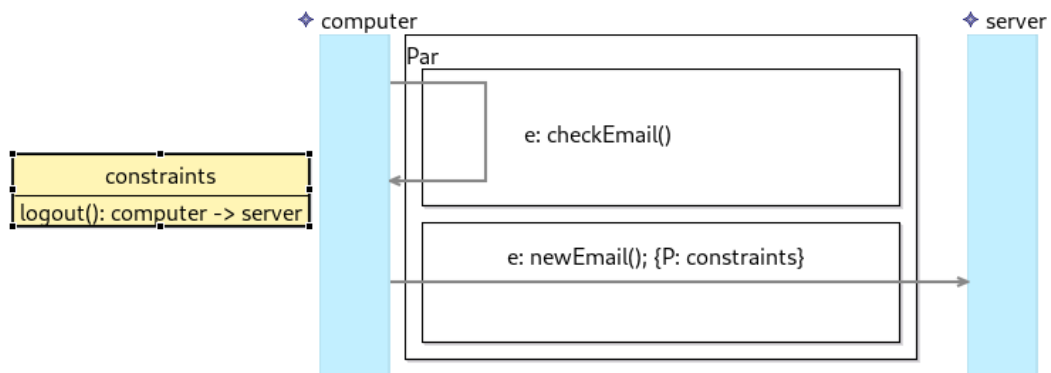
```
specification Email {
  object Computer computer;
  object Server server;

  constraint constraints{
    message logout() computer -> server;
  }

  scenario email {
    par {
      case checkEmail {
        message checkEmail() computer -> computer;
      }

      case newEmail {
        pastConstraint {constraints} message newEmail() computer -> server;
      }
    }
  }
}
```

6.6. kódrészlet. Integrációs tesztet.



6.8. ábra. Szenárió diagram.

Ehhez a tesztszenárióhoz az első szenárióban lévő teszt rendszert használtuk fel. A szenárióhoz tartozó tesztesetek a következők:

- testNetworkRequirementSatisfied
- testNetworkOtherRequirementSatisfied

Azt vizsgáljuk, hogy a monitor képes mindkét permutáció esetén érzékelni a követelmény teljesülését.

6.4.5. Komplex tesztszenárió loop és alt operátorokkal

```

specification Connection {

    object Computer computer;
    object Server server;

    string receiver = "John";
    string subject = "Next Meeting";
    bool success = false;

    clock x;
    clock y;

    constraint logout {
        message logout() computer -> server;
    }

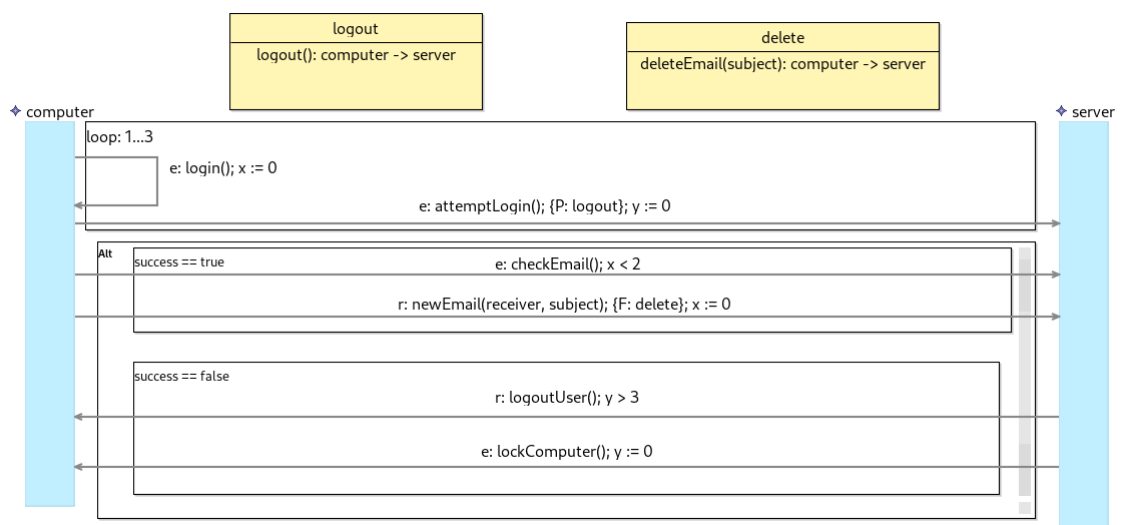
    constraint delete {
        message deleteEmail(subject) computer -> server;
    }

    scenario authentication {
        loop (1, 3) {
            message login(success) computer -> computer reset x;
            pastConstraint {logout} message attemptLogin() computer -> server reset y;
        }

        alt (equals(success, true)) {
            message checkEmail() computer -> server clockConstraint {<(x, 2)};
            required futureConstraint {delete} message newEmail(receiver, subject) computer ->
server reset x;
        } (equals(success, false)) {
            required message logoutUser() server -> computer clockConstraint {>(y, 3)};
            message lockComputer() server -> computer reset y;
        }
    }
}

```

6.7. kódrészlet. Komplex tesztet Szenáriója.



6.9. ábra. Komplex Szenárió diagram vizualizációja.

Ebben a tesztszenárióban olyan Szenáriók támogatását teszteljük, amelyekben több operátor is megjelenik. A tesztetethez tartozó Szenárió a 6.7 kódrészletben található meg

és a diagram vizualizációja a 6.9 ábrán látható. Ezen kívül azt is vizsgáljuk, hogy a generált monitor képes e több óraváltozó kezelésére is.

A szcenárióban a *loop* operátort használva egy rendszerbe való többszörös bejelentkezési próbálkozását írjuk le. Utána egy *alt* operátorral mondjuk meg, hogy minek kell történie sikeres vagy sikertelen bejelentkezés esetén.

A tesztszcenárióhoz tartozó tesztesetek:

- testNetworkRequirementSatisfied
- testNetworkRequirementSatisfiedTwice
- testNetworkRequirementSatisfiedThreeTimes
- testNetworkRequirementSatisfiedFourTimes
- testNetworkAltTrueCase
- testNetworkAltTrueCaseSatisfied
- testNetworkLogoutTooFast
- testNetworkLogoutConstrait

A teszteseteket úgy állítottam össze, hogy ellenőrizem mind a monitor hiba detektáló képességét, mind a helyes működés detektálását.

6.5. Tesztelés összefoglaló

Tesztelési célok	Egyszerű tesztszenárió	Több üzenetet tartalmazó tesztszenárió	Alt operátort tartalmazó tesztszenárió	Par operátort tartalmazó tesztszenárió	Komplex tesztszenárió
Egyszerű üzenet megjelenése	X	X	X	X	X
Elvárt üzenet megjelenése	X	X	X	-	X
Nem kívánt (fail) üzenet megjelenése	X	X	-	-	-
Strict üzenet tesztelése	-	X	-	-	-
Időzítési feltételek tesztelése	X	X	-	-	X
Past megkötés tesztelése	X	-	X	X	X
Future megkötés tesztelése	-	X	-	-	X
Alt operátor tesztelése	-	-	X	-	X
Par operátor tesztelése	-	-	-	X	-
Loop operátor tesztelése	-	-	-	-	X
Több operátort tartalmazó szenárió tesztelése	-	-	-	-	X
Egymást követő elvárt üzenetek	-	X	-	-	-
Egymást követő fail üzenetek	X	-	-	-	-
Sima üzenet tesztelése	X	X	X	X	X
Több órával-tozó	-	-	-	-	X

Elvárt után fail üzenet	X	-	-	-	-
Fail után el- várt üzenet	-	X	-	-	-

6.1. táblázat. Összefoglaló táblázat

A 6.1 táblázat mutatja be a tesztelés eredményét. Sikerült az összes tesztelési célnak megfelelni, emelett biztosítani a szisztematikus ellenőrzést.

7. fejezet

A monitor integrálása a Gamma keretrendszerben tervezett komponensekkel

7.1. Gamma keretrendszer

A *Gamma* keretrendszerrel komponensalapú reaktív rendszereket lehet tervezni, és az a célja hogy támogassa az elosztott rendszerek modelállapú fejlesztését. A létrehozott rendszert a keretrendszerrel lehet tesztelni, ellenőrizni és szimulálni is. A keretrendszernek a *Yakindu* modellező eszköz használja, amit kiegészít egy modellező réteggel ahol megvalósítható a komponensek közti kommunikációs hálózat. A komponensek hierarchikusan helyezkednek el egymás mellett, ami megkönnyíti egyes komponensek többszöri felhasználását. A tervezett rendszerhez a keretrendszer képes *Java* forráskódot is generálni. A modelhez generálhatóak tesztesetek vagy akár verifikálható az *UPPAAL* model ellenőrző eszköz használatával.

A monitor illesztéséhez a *Gamma tutorial* csomagjában lévő rendszert használtam. Ez egy irányítórendszer modelje, ami egy kereszteződésben lévő közlekedési lámpák működtetésért felel. A jelző lámpák általános három fokozatú lámpák és a piros-zöld-sárga-piros jelzéseket ismétlik. A rendszer támogat még egy megszakító állapotot, amit a rendőrség kapcsolhat be. Ilyenkor minden lámpa sárgán villog.

7.2. Generált monitor integrációja

A keretrendszer a *gamma.monitor* csomagba generálja a beépített monitor forráskódja. Ezt a *Gamma* monitort cseréltem le a saját a monitor komponensemhez tartozó forráskóddal megvalósítva a szükséges interfészeket.

```
public void runComponent() {
    Queue<Event> eventQueue = getProcessQueue();
    while (!eventQueue.isEmpty()) {
        Event event = eventQueue.remove();
        switch (event.getEvent()) {
            case "LightInputs.DisplayNone":
                update("controller", "light", "displayNone", new HashMap<String, Object>());
                break;
            case "LightInputs.DisplayYellow":
                update("controller", "light", "displayYellow", new HashMap<String, Object>());
                break;
            case "LightInputs.DisplayRed":
                update("controller", "light", "displayRed", new HashMap<String, Object>());
                break;
            case "LightInputs.DisplayGreen":
                update("controller", "light", "displayGreen", new HashMap<String, Object>());
                break;
            default:
                throw new IllegalArgumentException("No such event!");
        }
    }
    notifyListeners();
}
```

7.1. kódrészlet. Monitor komponenshez tartozó kódrészlet.

A *Gamma* rendszer és a monitor komponens közti kommunikáció megvalósítása a 7.1-es kódrészletben látható. Ez a rendszer eseményeit továbbítja a generált monitornak a megfelelő alakra alakítva.

```
specification Light{

    object TrafficLight light;
    object Controller controller;

    scenario sendEmail{
        message displayRed() controller -> light;
        fail message displayRed() controller -> light;
    }
}
```

7.2. kódrészlet. Szenárió szöveges leírása.

A 7.2-es kódrészlet tartalmazza a követelmény szcenárióját. Elvárjuk, hogy ha pirosan világított a lámpa akkor a következő állapotba a lámpának ne legyen megint piros. Ezt egy *fail* üzenet segítségével tudjuk elérni.

A 7.3-as kódrészlet a monitor kimenetét. A monitor helyes működést érzékelt, a rendszer jó állapotban van és megfelelt a követelménynek.

A 7.4-es kódrészlet egy másik követelményt tartalmaz, amit a rendszeren szeretnénk vizsgálni. Azt várjuk, hogy ha történt rendőrség általi *interrupt* kérés akkor a lámpa sárgán villogjon. Ha pedig nem volt ilyen interrupt akkor azt várjuk el, hogy a lámpa rendesen működjön. A 7.5-ös kódrészlet tartalmazza az illesztés kiegészítését. Itt a rendőrségi *interrupt* kérést továbbítjuk a monitornak. A rendszer mindkét esetben a követelménynek megfelelően működött. A szcenárióhoz tartozó monitor kimenetek a *Függelékben* találhatóak meg (F.2.7, F.2.8).

```

Received Message: controller.displayRed().light
[Monitor] available transition are:
-----
controller.displayRed().light, q0->q1, ,
!(controller.displayRed().light), q0->q0, ,
=====
Transition: controller.displayRed().light, q0->q1, ,
transition triggered: controller.displayRed().light, q0->q1, ,
q1
[GammaMonitorTest] Received status from monitor: System is in good state.
Received Message: controller.displayGreen().light
[Monitor] available transition are:
-----
!(controller.displayRed().light), q1->q3, ,
controller.displayRed().light, q1->q2, ,
!(controller.displayRed().light), q1->q1, ,
=====
Transition: !(controller.displayRed().light), q1->q3, ,
transition triggered: !(controller.displayRed().light), q1->q3, ,
q3
[GammaMonitorTest] Received status from monitor: System is in good state.
[GammaMonitorTest] Received status from monitor: Requirement satisfied
[GammaMonitorTest] Monitor reported that the requirement was satisfied

```

7.3. kódrészlet. Monitor kimenete.

```

specification Light{

    object TrafficLight light;
    object Controller controller;
    object Police police;

    bool success = false;

    scenario trafficLight {
        message policeInterruptRaised(success) police -> controller;

        alt(equals(success, false)) {
            message displayRed() controller -> light;
            message displayGreen() controller -> light;
            message displayYellow() controller -> light;
        } (equals(success, true)) {
            message displayYellow() controller -> light;
            message displayNone() controller -> light;
            message displayYellow() controller -> light;
            message displayNone() controller -> light;
        }
    }
}

```

7.4. kódrészlet. Szenárió szöveges leírása.

```

@Override
public void raisePolice() {
    monitor.update("police", "controller", "policeInterruptRaised", Map.of("success", true));
    crossroad.getPolice().raisePolice();
}

```

7.5. kódrészlet. Gamma illesztéshez tartozó kódrészlet.

8. fejezet

Összefoglalás

A célként kitűzött scenárió alapú monitor generátor kibővítése sikerült.

A szöveges scenárió leíró nyelv támogatja *TPSC* diagramok specifikálását. Az automata generátor támogatja a *TPSC* tulajdonságokhoz tartozó minta automaták generálását és képes az üzenet paramétereket is értelmezni. A generátor támogatja az *alt*, *loop* és *par* operátorokat tartalmazó *TPSC*-khez tartozó időzített automaták generálását.

A scenáriókat a szöveges leírásuk alapján diagramok formájában vizualizálom. Egy *XML* generátor teszi ezt lehetővé, amely a szöveges leírás alapján elkészíti a hozzá tartozó diagram *XML* leírását.

A generátor a scenárióhoz tartozó automata alapján képes egy monitor forráskódjának generálására. Legenerálja a megfelelő interfészeket amik a monitor és rendszer közti kommunikációhoz szükségesek. Ha az üzenetek megfigyeléséhez szükséges segédfüggvényeket a kommunikációs infrastruktúrához megvalósítják, akkor a monitor képes a rendszer viselkedésének ellenőrzésére. A monitor forráskód generátor a *par*, *loop* és *alt* operátorokat támogatja. Továbbá az időzési feltételeket tartalmazó üzeneteket is tudja értelmezni.

A generált monitor forráskód helyességét alapos tesztelés segítségével ellenőriztem. A monitor forráskód szisztematikus helyességét egy *CI* rendszerrel ellenőrzöm, amely minden változtatás esetén ellenőrzi, hogy a projekt tesztjei helyesek voltak e.

Végezetül a monitor komponenst illesztettem a *Gamma* keretrendszerhez, így demonstrálva a monitorozás működését egy elosztott komponensű rendszer viselkedésének ellenőrzésével.

9. fejezet

Források

- 1 M.Autili – P. Inverardi – P.Pelliccione, Graphical scenarios for specifying temporal properties: an automated approach in *Automated Software Engineering* 14(3):293-340, September 2007, <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10515-007-0012-6>
- 2 Pengcheng Zhang - Hareton Leung, Web services property sequence chart monitor: A tool chain for monitoring BPEL – based web service composition with scenario-based specifications in *IET Software* 7(4):222-248, August 2013
- 3 Xtext, <https://www.eclipse.org/Xtext/>
- 4 Xtend, <https://www.eclipse.org/xtend/>
- 5 J. Ouaknine and J. Worrell, “On Metric Temporal Logic and Faulty Turing Machines,” Springer-Verlag, FOSSACS, vol. LNCS 3921, pp. 217-230, 2006.
- 6 ITU-T Recommendation Z. 120.: Message sequence charts. ITU Telecom. Standardisation Sector (1999)
- 7 M. Leucker, „Teaching Runtime Verification”, 2011 - Springer
- 8 Object Management Group (OMG): UML: superstructure version 2.0 (2004)

Függelék

F.1. A 5.2.3. fejezet minta példájához tartozó Specification osztály

```
import java.io.FileNotFoundException;
import java.io.PrintWriter;
import java.io.UnsupportedEncodingException;
import java.util.ArrayList;
import java.util.HashMap;
import java.util.Collections;
import java.util.Comparator;
import java.util.Arrays;
import java.util.List;
import java.util.Map;
import java.util.Set;
import java.util.TreeSet;

public class Specification{
    private String id = "spec1";
    private ArrayList<Automaton> automatas;

    public Specification(){
        automatas = new ArrayList<Automaton>();
        String str;
        String str1;
        String pre;
        String succ;
        State actualState;
        State acceptState;
        State finalState;
        State newState;
        State acceptState_new;
        Automaton a = new Automaton("playlist_generation");
        Automaton b;
        Map<String, Automaton> altauto;
        ArrayList<Automaton> parauto;
        Automaton loopauto;
        Automaton expression;
        int counter = 0;

        b = new Automaton("auto7");
        actualState = new State("q" + counter, StateType.NORMAL);
        counter++;
        b.addState(actualState);
        b.setInitial(actualState);

        b.addTransition(new Transition("(" + "user" + "." +
            "openApp" + "("
            + ")"
            + "." + "device)", actualState, actualState));

        newState = new State("q" + counter, StateType.FINAL);
        counter++;
        b.addTransition(new Transition("user" + "." +
            "openApp" + "("
```

```

+ ")"

+ "." + "device" , actualState, newState));
b.addState(newState);
b.setFinale(newState);
a.collapse(b);

b = new Automaton("auto7");
actualState = new State("q" + counter, StateType.NORMAL);
counter++;
b.addState(actualState);
b.setInitial(actualState);

b.addTransition(new Transition("!(" + "device" + "." +
    "accessWebcam" + "("
+ ")"

+ "." + "device)", actualState, actualState));

newState = new State("q" + counter, StateType.FINAL);
counter++;
b.addTransition(new Transition("device" + "." +
    "accessWebcam" + "("
+ ")"

+ "." + "device" , actualState, newState));
b.addState(newState);
b.setFinale(newState);
a.collapse(b);

b = new Automaton("auto3");
actualState = new State("q" + counter, StateType.NORMAL);
counter++;
b.addState(actualState);
b.setInitial(actualState);

b.addTransition(new Transition("!(" + "device" + "." +
    "getPhoto" + "("
+ ")"

+ "." + "user" + ")", actualState, actualState));

acceptState = new State("q" + counter, StateType.ACCEPT);
counter++;

b.addTransition(new Transition("!(" + "device" + "." +
    "getPhoto" + "("
+ ")"

+ "." + "user" + ")", actualState, acceptState));

b.addState(acceptState);

newState = new State("q" + counter, StateType.FINAL);
counter++;
b.addTransition(new Transition("device" + "." +
    "getPhoto" + "("
+ ")"
+ "." + "user", actualState, newState));
b.addState(newState);
b.setFinale(newState);
a.collapse(b);

b = new Automaton("auto5");
actualState = new State("q" + counter, StateType.NORMAL);
counter++;
b.addState(actualState);
b.setInitial(actualState);

finalState = new State("q" + counter, StateType.FINAL);

```



```

counter++;
b.addState(finalState);
b.setFinale(finalState);

b.addTransition(new Transition("(" + "user" + "." +
    "cameraOffline" + "("
    + ")"
    + "." + "device)", actualState, finalState));

b.addTransition(new Transition("(" + "user" + "." +
    "cameraOffline" + "("
    + ")"
    + "." + "device)", actualState, actualState));

newState = new State("q" + counter, StateType.ACCEPT);
counter++;
b.addTransition(new Transition("user" + "." +
    "cameraOffline" + "("
    + ")"
    + "." + "device" , actualState, newState));
b.addState(newState);
a.collapse(b);

b = new Automaton("auto9");
actualState = new State("q" + counter, StateType.NORMAL);
counter++;
b.addState(actualState);
b.setInitial(actualState);

finalState = new State("q" + counter, StateType.FINAL);
counter++;
acceptState = new State("q" + counter, StateType.ACCEPT);
counter++;
b.addTransition(new Transition("device" + "." +
    "retrieveMood" + "("
    + ")"
    + "." + "db" , actualState, finalState));
b.addTransition(new Transition("(" + "device" + "." +
    "retrieveMood" + "("
    + ")"
    + "." + "db" + ")", actualState, acceptState));
b.addState(acceptState);
b.addState(finalState);
b.setFinale(finalState);
a.collapse(b);
b = new Automaton("auto3");
actualState = new State("q" + counter, StateType.NORMAL);
counter++;
b.addState(actualState);
b.setInitial(actualState);

b.addTransition(new Transition("(" + "device" + "." +
    "retrieveMusic" + "("
    + ")"
    + "." + "db" + ")", actualState, actualState));

acceptState = new State("q" + counter, StateType.ACCEPT);
counter++;

b.addTransition(new Transition("(" + "device" + "." +
    "retrieveMusic" + "("
    + ")"
    + "." + "db" + ")", actualState, acceptState));

b.addState(acceptState);

newState = new State("q" + counter, StateType.FINAL);
counter++;
b.addTransition(new Transition("device" + "." +

```

```

        "retrieveMusic" + "("
        + ")"
        + "." + "db", actualState, newState));
        b.addState(newState);
        b.setFinale(newState);
        a.collapse(b);

        b = new Automaton("auto12");
        actualState = new State("q" + counter, StateType.NORMAL);
        counter++;
        b.addState(actualState);
        b.setInitial(actualState);

        newState = new State("q" + counter, StateType.FINAL);
        counter++;
        b.addTransition(new Transition("db" + "." +
        "generatePlaylist" + "("
        + ")"
        + "." + "device", actualState, newState));
        b.addState(newState);
        b.setFinale(newState);
        a.collapse(b);
        a.rename();
        automatas.add(a);
    }

    public void listAutomatas(){
        for(Automaton a : this.automatas){
            for(State s : a.getStates()){
                s.writeState();
            }

            for(Transition t : a.getTransitions()){
                t.writeTransition();
            }
        }
    }

    public List<Automaton> getAutomata() {
        return automatas;
    }

    public ArrayList<Automaton> par(ArrayList<Automaton> automatas) {
        ArrayList<ArrayList<Automaton>> automataList = new ArrayList<>();
        permute(automataList, new ArrayList<>(), automatas);
        return listConverter((automataList));
    }

    private void permute(ArrayList<ArrayList<Automaton>> list, ArrayList<Automaton> resultList,
        ArrayList<Automaton> automatas) {
        if (resultList.size() == automatas.size()) {
            list.add(new ArrayList<>(resultList));
        } else {
            for (int i = 0; i < automatas.size(); i++) {
                if (resultList.contains((automatas.get(i)))) {
                    continue;
                }

                resultList.add(automatas.get(i));
                permute(list, resultList, automatas);
                resultList.remove(resultList.size() - 1);
            }
        }
    }

    private ArrayList<Automaton> listConverter(ArrayList<ArrayList<Automaton>> list) {
        ArrayList<Automaton> result = new ArrayList<>();
        for (ArrayList<Automaton> alist : list) {
            Automaton newauto = new Automaton("listConverter");
            for (Automaton auto : alist) {
                newauto.collapse(copyAutomaton(auto));
            }
        }
    }

```

```

    }
    result.add(newauto);
}
return result;
}

public Map<String, Automaton> loopSetup(Automaton loopauto, int min, int max) {
    Map<String, Automaton> result = new HashMap<>();

    for (int i = min; i <= max; i++) {
        Automaton newauto = new Automaton("loopauto" + i);
        for (int j = 0; j < i; j++) {
            newauto.collapse(copyAutomaton(loopauto));
        }
        result.put("loop" + i, newauto);
    }
    return result;
}

public Automaton copyAutomaton(Automaton referenceAuto) {
    Automaton result = new Automaton("copy automaton");
    int count = 0;
    State previousSender = new State();
    State referencePreviousSender = new State();

    for (Transition t : referenceAuto.getTransitions()) {
        State sender = new State();
        State receiver = new State();
        Transition transition = new Transition();
        Automaton temp = new Automaton("temp");

        transition.setId(t.getId());

        if (t.getSender() == referencePreviousSender) {
            receiver.setId("c" + count);
            count++;
            receiver.setType(t.getReceiver().getType());

            transition.setSender(previousSender);
            transition.setReceiver(receiver);
            temp.addState(previousSender);
            temp.addState(receiver);
            temp.setInitial(previousSender);
            temp.setFinale(receiver);
        } else {
            if (t.getSender() == t.getReceiver()) {
                sender.setId("c" + count);
                count++;
                sender.setType(t.getSender().getType());

                transition.setSender(sender);
                transition.setReceiver(sender);

                temp.addState(sender);
                temp.setInitial(sender);
                temp.setFinale(sender);
            } else {
                sender.setId("c" + count);
                count++;
                sender.setType(t.getSender().getType());

                receiver.setId("c" + count);
                count++;
                receiver.setType(t.getReceiver().getType());

                transition.setSender(sender);
                transition.setReceiver(receiver);

                temp.addState(sender);
                temp.addState(receiver);
                temp.setInitial(sender);
                temp.setFinale(receiver);
            }
        }
    }
}

```

```

        }
        previousSender = sender;
        referencePreviousSender = t.getSender();
    }

    temp.addTransition(transition);
    result.collapse(temp);
}

return result;
}

public static void main(String[] args) throws FileNotFoundException, UnsupportedEncodingException{
    Specification specification = new Specification();
    specification.listAutomatas();
    boolean acceptState = false;
}

```

F.1.1. kódrészlet. *Specification* osztály.

F.2. Monitor forráskód generátor - operátorok támogatása

```
public class Main {
    public static void monitorStatus(String status) {
        System.out.println(status);
    }

    public static void main(String[] args) {
        Specification specification = new Specification();
        specification.listAutomatas();
        IMonitor monitor = new Monitor(specification.getAutomata().get(0));

        UserInterface ui = new UserInterface();
        ATM atm = new ATM();
        BankDB db = new BankDB();
        ui.atm = atm;
        atm.ui = ui;
        atm.db = db;
        ui.monitor = monitor;
        atm.monitor = monitor;
        db.monitor = monitor;

        ui.start();
    }
}
```

F.2.1. kódrészlet. 7.1. szcenárióhoz tartozó Main osztály.

```
public class ATM {
    public IMonitor monitor;
    public BankDB db;
    public UserInterface ui;

    public void logout() {
        monitor.update("ui", "atm", "logout", new String[] {});
    }

    public void login(boolean success) {
        monitor.update("ui", "atm", "login", new String[] {"success"});
        success = true;
    }

    public void wReq() {
        monitor.update("ui", "atm", "wReq", new String[] {});
        db.uDB();
    }

    public void loginUnsuccessful() {
        monitor.update("ui", "atm", "loginUnsuccessful", new String[] {});
        ui.lockMachine();
    }
}
```

F.2.2. kódrészlet. 7.1. szcenárióhoz tartozó rendszer *ATM Java* osztálya.

```
[Automaton] Setting final transition
[Automaton] Setting final transition
[GammaMonitorTest] Resetting values
Received Message: controller.displayRed().light
[Monitor] available transition are:
-----
police.policeInterruptRaised(success).controller, q0->q1, ,
!(police.policeInterruptRaised(success).controller), q0->q0, ,
=====
Transition: police.policeInterruptRaised(success).controller, q0->q1, ,
[Monitor] available transition are:
-----
```

```

Received Message: ui.login(success).atm
Transition: !(ui.login(success).atm)
Transition: ui.login(success).atm
transition: ui.login(success).atm
q1
System is in bad state.
Received Message: ui.wReq().atm
Transition: epsilon
PrevTransition: epsilon
transition: epsilon
qinit0
System is in bad state.
Transition: epsilon; success == false
PrevTransition: epsilon; success == false
transition: epsilon; success == false
q5
System is in bad state.
Transition: ui.loginUnsuccessful().atm
Transition: !(ui.loginUnsuccessful().atm)
Transition: epsilon; success == true
PrevTransition: epsilon; success == true
transition: epsilon; success == true
q2
System is in bad state.
Transition: ui.wReq().atm
transition: ui.wReq().atm
q3
System is in bad state.
Received Message: atm.uDB().db
Transition: !(atm.uDB().db)
Transition: atm.uDB().db
transition: epsilon
qfinal1
System is in good state.

```

F.2.3. kódrészlet. 7.1. szcenárió monitor kimenete.

```

specification spec1{

    object Computer computer;
    object Server server;

    constraint constraints{
        message logout() computer -> server;
    }

    scenario email{
        loop (1, 3) {
            message checkEmail() computer -> computer;
            message newEmail() computer -> server pastConstraint {constraints};
        }
    }
}

```

F.2.4. kódrészlet. Loop operátort tartalmazó szcenárió.

```

police.policeInterruptRaised(success).controller, q0->q1, ,
!(police.policeInterruptRaised(success).controller), q0->q0, ,
=====
Transition: !(police.policeInterruptRaised(success).controller), q0->q0, ,
transition triggered: !(police.policeInterruptRaised(success).controller), q0->q0, ,
q0
[GammaMonitorTest] Received status from monitor: System is in good state.
Received Message: controller.displayRed().light
[Monitor] available transition are:
-----
police.policeInterruptRaised(success).controller, q0->q1, ,
!(police.policeInterruptRaised(success).controller), q0->q0, ,
=====

```

```

Received Message: computer.checkEmail().computer
Transition: epsilon; loop2
PrevTransition: epsilon; loop2
transition: epsilon; loop2
q0
System is in bad state.
Transition: computer.checkEmail().computer
Transition: !(computer.checkEmail().computer)
Transition: epsilon; loop3
PrevTransition: epsilon; loop3
transition: epsilon; loop3
q5
System is in bad state.
Transition: computer.checkEmail().computer
Transition: !(computer.checkEmail().computer)
Transition: epsilon; loop1
PrevTransition: epsilon; loop1
transition: epsilon; loop1
q12
System is in bad state.
Transition: computer.checkEmail().computer
transition: computer.checkEmail().computer
q13
System is in bad state.
Received Message: computer.newEmail().server
Transition: !(computer.logout().server) & !(computer.newEmail().server)
Transition: computer.newEmail().server
transition: epsilon
qfinal1
System is in good state.

```

F.2.5. kódrészlet. F.2.4. scenariohoz tartozó monitor kimenet.

```

public class Main {
    public static void monitorStatus(String status) {
        System.out.println(status);
    }

    public static void main(String[] args) {
        Specification specification = new Specification();
        specification.listAutomatas();
        IMonitor monitor = new Monitor(specification.getAutomata().get(0));

        Server server = new Server();
        Computer computer = new Computer(server, monitor);
    }
}

```

F.2.6. kódrészlet. F.2.4. scenariohoz tartozó Main osztály.

```

Transition: police.policeInterruptRaised(success).controller, q0->q1, ,
[Monitor] available transition are:
-----
police.policeInterruptRaised(success).controller, q0->q1, ,
!(police.policeInterruptRaised(success).controller), q0->q0, ,
=====
Transition: !(police.policeInterruptRaised(success).controller), q0->q0, ,
transition triggered: !(police.policeInterruptRaised(success).controller), q0->q0, ,
q0
[GammaMonitorTest] Received status from monitor: System is in good state.
Received Message: controller.displayGreen().light
[Monitor] available transition are:
-----
police.policeInterruptRaised(success).controller, q0->q1, ,
!(police.policeInterruptRaised(success).controller), q0->q0, ,
=====
Transition: police.policeInterruptRaised(success).controller, q0->q1, ,
[Monitor] available transition are:
-----

```

```

police.policeInterruptRaised(success).controller, q0->q1, ,
!(police.policeInterruptRaised(success).controller), q0->q0, ,
=====
Transition: !(police.policeInterruptRaised(success).controller), q0->q0, ,
transition triggered: !(police.policeInterruptRaised(success).controller), q0->q0, ,
q0
[GammaMonitorTest] Received status from monitor: System is in good state.
Received Message: police.policeInterruptRaised(success).controller
[Monitor] available transition are:
=====
police.policeInterruptRaised(success).controller, q0->q1, ,
!(police.policeInterruptRaised(success).controller), q0->q0, ,
=====
Transition: police.policeInterruptRaised(success).controller, q0->q1, ,
transition triggered: police.policeInterruptRaised(success).controller, q0->q1, ,
q1
[GammaMonitorTest] Received status from monitor: System is in good state.
Received Message: controller.displayYellow().light
[Monitor] available transition are:
=====
epsilon, q1->qinit0
=====
Transition: epsilon, q1->qinit0
[EpsilonTransition]epsilon, q1->qinit0 canTrigger is true
PrevTransition: epsilon, q1->qinit0
[Monitor] available transition are:
=====
epsilon, qinit0->q2
epsilon, qinit0->q4
=====
Transition: epsilon, qinit0->q2
[EpsilonTransition]epsilon, qinit0->q2 canTrigger is true
PrevTransition: epsilon, qinit0->q2
[Monitor] available transition are:
=====
!(controller.displayYellow().light), q2->q2, ,
controller.displayYellow().light, q2->q3, ,
epsilon, qinit0->q4
=====
Transition: !(controller.displayYellow().light), q2->q2, ,
[Monitor] available transition are:
=====
!(controller.displayYellow().light), q2->q2, ,
controller.displayYellow().light, q2->q3, ,
epsilon, qinit0->q4
=====
Transition: controller.displayYellow().light, q2->q3, ,
[Monitor] available transition are:
=====
!(controller.displayYellow().light), q2->q2, ,
controller.displayYellow().light, q2->q3, ,
epsilon, qinit0->q4
=====
Transition: epsilon, qinit0->q4
[EpsilonTransition]epsilon, qinit0->q4 canTrigger is false
[EpsilonTransition]epsilon, qinit0->q4 canTrigger is false
[Monitor] available transition are:
=====
!(controller.displayYellow().light), q2->q2, ,
controller.displayYellow().light, q2->q3, ,
=====
Transition: !(controller.displayYellow().light), q2->q2, ,
[Monitor] available transition are:
=====
!(controller.displayYellow().light), q2->q2, ,
controller.displayYellow().light, q2->q3, ,
=====
Transition: controller.displayYellow().light, q2->q3, ,
transition triggered: controller.displayYellow().light, q2->q3, ,
q3
[GammaMonitorTest] Received status from monitor: System is in good state.
transition triggered: epsilon, q3->qfinal1

```



```

qfinal1
[GammaMonitorTest] Received status from monitor: Requirement satisfied
[GammaMonitorTest] Monitor reported that the requirement was satisfied

```

F.2.7. kódrészlet. *Gamma* monitor kimenet.

```

[Automaton] Setting final transition
[Automaton] Setting final transition
[GammaMonitorTest] Resetting values
Received Message: police.policeInterruptRaised(success).controller
[Monitor] available transition are:
-----
police.policeInterruptRaised(success).controller, q0->q1, ,
!(police.policeInterruptRaised(success).controller), q0->q0, ,
=====
Transition: police.policeInterruptRaised(success).controller, q0->q1, ,
transition triggered: police.policeInterruptRaised(success).controller, q0->q1, ,
q1
[GammaMonitorTest] Received status from monitor: System is in good state.
Received Message: controller.displayRed().light
[Monitor] available transition are:
-----
epsilon, q1->qinit0
=====
Transition: epsilon, q1->qinit0
[EpsilonTransition]epsilon, q1->qinit0 canTrigger is true
PrevTransition: epsilon, q1->qinit0
[Monitor] available transition are:
-----
epsilon, qinit0->q2
epsilon, qinit0->q4
=====
Transition: epsilon, qinit0->q2
[EpsilonTransition]epsilon, qinit0->q2 canTrigger is false
[EpsilonTransition]epsilon, qinit0->q2 canTrigger is false
[Monitor] available transition are:
-----
epsilon, qinit0->q4
=====
Transition: epsilon, qinit0->q4
[EpsilonTransition]epsilon, qinit0->q4 canTrigger is true
PrevTransition: epsilon, qinit0->q4
[Monitor] available transition are:
-----
controller.displayRed().light, q4->q5, ,
!(controller.displayRed().light), q4->q4, ,
=====
Transition: controller.displayRed().light, q4->q5, ,
transition triggered: controller.displayRed().light, q4->q5, ,
q5
[GammaMonitorTest] Received status from monitor: System is in good state.
Received Message: controller.displayRed().light
[Monitor] available transition are:
-----
controller.displayGreen().light, q5->q6, ,
!(controller.displayGreen().light), q5->q5, ,
=====
Transition: controller.displayGreen().light, q5->q6, ,
[Monitor] available transition are:
-----
controller.displayGreen().light, q5->q6, ,
!(controller.displayGreen().light), q5->q5, ,
=====
Transition: !(controller.displayGreen().light), q5->q5, ,
transition triggered: !(controller.displayGreen().light), q5->q5, ,
q5
[GammaMonitorTest] Received status from monitor: System is in good state.
Received Message: controller.displayGreen().light
[Monitor] available transition are:
-----
controller.displayGreen().light, q5->q6, ,
!(controller.displayGreen().light), q5->q5, ,

```

```

=====
Transition: controller.displayGreen().light, q5->q6, ,
transition triggered: controller.displayGreen().light, q5->q6, ,
q6
[GammaMonitorTest] Received status from monitor: System is in good state.
Received Message: controller.displayYellow().light
[Monitor] available transition are:
=====
controller.displayYellow().light, q6->q7, ,
!(controller.displayYellow().light), q6->q6, ,
=====
Transition: controller.displayYellow().light, q6->q7, ,
transition triggered: controller.displayYellow().light, q6->q7, ,
q7
[GammaMonitorTest] Received status from monitor: System is in good state.
transition triggered: epsilon, q7->qfinal1
qfinal1
[GammaMonitorTest] Received status from monitor: Requirement satisfied
[GammaMonitorTest] Monitor reported that the requirement was satisfied

```

F.2.8. kódrészlet. *Gamma* monitor kimenet rendőrségi példa.

```

grammar hu.bme.mit.dipterv.text.MinotorDsl with org.eclipse.xtext.common.Terminals

generate minotorDsl "http://www.bme.hu/mit/dipterv/text/MinotorDsl"
import "http://www.eclipse.org/emf/2002/Ecore" as ecore

Domain:
  (specification='specification')? (name=ID)? ('{')?
  objects+=Object*
  parameters+=Parameter*
  clocks+=Clock*
  constraints+=Constraint*
  scenarios+=Scenario* ('}')?
;

AttributeValue:
  value=STRING | value=REAL | value=NUMBER | value='true' | value='false'
;

Scenario:
  'scenario' name=ID '{'
  scenariocontents+=ScenarioContent*
  '}'
;

ScenarioContent:
  alt+=Alt | message+=Message | par+=Par | loop+=Loop | paramConstraint+=ParameterConstraint
;

Message:
  LooseMessage | StrictMessage | PastMessage | FutureMessage | StrictFutureMessage
  | RequiredLooseMessage | RequiredStrictMessage | RequiredPastMessage | RequiredFutureMessage |
  RequiredStrictFutureMessage
  | FailMessage | FailStrictMessage | FailPastMessage
;

LooseMessage:
  'message' name=ID '(' (params+=Params | constantparams+=ConstantParams) ')'
  sender=[Object] '->' receiver=[Object]
  ('clockConstraint' '{' cConstraint=ClockConstraintExpression '}')?
  (resetclock=ResetClock)? ';'
;

StrictMessage:
  'strict'
  message+=LooseMessage
;

PastMessage:
  'pastConstraint'

```

```

    '{' c=[Constraint] (',' constraintexp=ClockConstraintExpression)? (',' resetinconstraint=
      ResetClock)? '}'
    message+=LooseMessage
;

FutureMessage:
  'futureConstraint'
  '{' c=[Constraint] (',' constraintexp=ClockConstraintExpression)? (',' resetinconstraint=
    ResetClock)? '}'
  message+=LooseMessage
;

StrictFutureMessage:
  'strict'
  futureMessage+=FutureMessage
;

RequiredLooseMessage:
  'required'
  message+=LooseMessage
;

RequiredStrictMessage:
  'required'
  strictMessage+=StrictMessage
;

RequiredPastMessage:
  'required'
  pastMessage+=PastMessage
;

RequiredFutureMessage:
  'required'
  futureMessage+=FutureMessage
;

RequiredStrictFutureMessage:
  'required'
  strictFutureMessage+=StrictFutureMessage
;

FailMessage:
  'fail'
  message+=LooseMessage
;

FailStrictMessage:
  'fail'
  strictMessage+=StrictMessage
;

FailPastMessage:
  'fail'
  pastMessage+=PastMessage
;

ResetClock:
  'reset' clock=[Clock]
;

ClockConstraint:
  GreaterClockConstraint | SmallerClockConstraint | GreaterEqualClockConstraint |
  SmallerEqualClockConstraint
;

GreaterClockConstraint:
  '>' '(' clock=[Clock] ',' constant=NUMBER ')'
;

SmallerClockConstraint:
  '<' '(' clock=[Clock] ',' constant=NUMBER ')'

```

```

;

GreaterEqualClockConstraint:
    '>=' '(' clock=[Clock] ',' constant=NUMBER ')'
;

SmallerEqualClockConstraint:
    '<=' '(' clock=[Clock] ',' constant=NUMBER ')'
;

ClockConstraintExpression:
    ClockConstraint | NotClockConstraintExpression | AndClockConstraintExpression
;

NotClockConstraintExpression:
    'not' '(' notClockConstraint=ClockConstraint ')'
;

AndClockConstraintExpression:
    lclockconstraint=ClockConstraint 'and' rclockconstraint=ClockConstraint
;

Params:
    (params+=[Parameter])? '(' ',' params+=[Parameter])*
;

ConstantParams:
    (values+=AttributeValue)? '(' ',' values+=AttributeValue)*
;

Parameter:
    type=Type name=ID ('=')? (value=AttributeValue)? ';'
;

ParameterConstraint:
    'assertParameter' '[' param=[Parameter] operator+=Operator value+=AttributeValue ']' 'in' object=[
        Object] ';'
;

Operator:
    greater?='>' | smaller?='<' | greaterequals?='>=' | smallerequals?='<=' | equals?='==' | notequals
        ?='!='
;

Clock:
    'clock' name=ID ';'
;

enum Type:
    integer | float | bool | string
;

terminal NUMBER:
    ('0'..'9')*
;

terminal REAL:
    ('0'..'9')* '.' ('0'..'9')*
;

ObjectType:
    'object' name=ID
;

Object:
    object+=ObjectType name=ID ';'
;

Constraint:
    'constraint' name=ID '{'
        messages+=Message*
    '}'

```

```

;
Alt:
  'alt' expressions+=Expression*
;

Expression:
  '(' altCondition=LogicalExpression ')' '{'
    messages+=Message*
  '}'
;

LogicalExpression:
  UnaryLogicalExpression | BinaryLogicalExpression
;

BinaryLogicalExpression:
  EqualsExpression | EqualsBooleanExpression | GreaterThanExpression | LesserThanExpression |
  AndExpression | OrExpression
;

AndExpression:
  'and' '(' lhs=LogicalExpression ',' rhs=LogicalExpression ')'
;

OrExpression:
  'or' '(' lhs=LogicalExpression ',' rhs=LogicalExpression ')'
;

EqualsExpression:
  'equals' '(' lhs=[Parameter] ',' rhs=NUMBER ')'
;

EqualsBooleanExpression:
  'equals' '(' lhs=[Parameter] ',' rhs='true' ')' | 'equals' '(' lhs=[Parameter] ',' rhs='false' ')'
;

GreaterThanExpression:
  'greater' '(' lhs=[Parameter] ',' rhs=NUMBER ')'
;

LesserThanExpression:
  'lesser' '(' lhs=[Parameter] ',' rhs=NUMBER ')'
;

UnaryLogicalExpression:
  NotLogicalExpression
;

NotLogicalExpression:
  'not' '(' operand=LogicalExpression ')'
;

Par:
  'par' '{' parexpression+=ParExpression* '}'
;

ParExpression:
  'case' name=ID '{' messages+=Message* '}'
;

Loop:
  'loop' '(' min=NUMBER ',' max=NUMBER ')' '{'
    messages+=Message*
  '}'
;

```

F.2.9. kódrészlet. *Xtext* nyelvtan specifikációja.