

Magyar Tudomány

A Magyar Tudományos Akadémia folyóirata. Alapítva: 1840

KEZDŐLAP ARCHÍVUM IMPRESSZUM KERESÉS

» PETRI-HÁLÓ MODELLEKEN ALAPULÓ JÁRMŰIPARI DIAGNOSZTIKAI MÓDSZEREK

Hangos Katalin

DSc, Pannon Egyetem, Műszaki Informatikai Kar, Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszék, Veszprém
hangos.katalin(kukac)virt.uni-pannon.hu

Gerzson Miklós

CSc, Pannon Egyetem, Műszaki Informatikai Kar, Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszék, Veszprém
gerzson.miklos(kukac)virt.uni-pannon.hu

Leitold Adrien

PhD, Pannon Egyetem, Műszaki Informatikai Kar Matematika Tanszék, Veszprém
leitolda(kukac)almos.vein.hu

Starkné Werner Ágnes

PhD, Pannon Egyetem, Műszaki Informatikai Kar Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszék, Veszprém
werner.agnes(kukac)virt.uni-pannon.hu

Dulai Tibor

egyetemi tanársegéd, Pannon Egyetem Műszaki Informatikai Kar
Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszék, Veszprém
dulai.tibor(kukac)virt.uni-pannon.hu

Munkánk célja, hogy bemutassuk a Petri-hálók felhasználási lehetőségeit a modellezés és diagnosztika területén. Bemutatjuk technológiai rendszerek egy lehetséges modellezési formáját normál és hibás működésnél, hierarchikus színezett Petri-hálókat felhasználva. Bemutatjuk a folyamat modellje és a naplófájlban tárolt tracek összehasonlítása alapján a hiba feltárásának folyamatát. Javaslatot teszünk a folyamat hibamentes működését leíró referenciamodell és egy tényleges működés alapján származtatott modell összehasonlításának módszerére gráfelméleti alapokon.

Bevezetés

A technológiai rendszerek diagnosztikai vizsgálata során a modellalapú módszerek igen népszerűek és széles körben alkalmazottak kedvező tulajdonságaik miatt (lásd van der Aalst et al., 2004; Hangos – Cameron, 2001). A diszkrét eseményű rendszerek területén kifejlesztett eszközöket és módszereket alkalmazva, a kapott

mód(ok) modellezése (Werner et al., 2 amelyre utaltunk a 3. fejezetben. folyamatbányászat (lásd ProM-rendszer Dongen et al., 2005]) lehetőséget biztosít hogy folyamat adatokból (naplófájl) állítsunk Petri-háló modelleket (van der Aalst et al., 2 Az adatok a naplófájlban speciális formátum (MXML-formátum) kell, hogy rendelkezzenek. Egy eseménynapló tartalmaz eseménysorozatok egy halmazát (trace), am mindegyike speciális viselkedést ír le, am között hibás eseményvégrehajtás is lehet. modellek előállítására számos algoritmus létezik mint például az alfa-algoritmus, a generálási algoritmus vagy a heurisztikus eljárás stb. Dongen et al., 2005).

A valamely algoritmus által létrehozott folyamatmodell ezek után összehasonlítható referenciamodellel. Kérdés, hogy az előző modell (lehet normál vagy hibás működést ábrázol-e) a referenciamodellel. Ha ez akkor meg tudjuk mondani, hogy vajon a rendszer normális feltételek mellett zajlik-e, vagy iz

modell jól használható a vizsgált rendszer működésének és rendszertulajdonságainak vizsgálatára (lásd Hangos et al., 2001, Werner et al., 2011; Werner et al., 2012). Ezeknek a modelleknek egyik népszerű formája a Petri-háló (lásd Jensen, 1994; Murata, 1989). Közleményünk célja, hogy új megközelítésekben mutassuk be a Petri-háló felhasználati lehetőségeit a modellezés és diagnosztika területén.

A diagnosztikai vizsgálatokhoz elkészítjük a folyamat működését leíró Petri-háló alapú modellt, mely a vizsgált folyamatban lejátszódó eseményeket és azok előfeltételeit, illetve következményeit emeli ki. A másik fontos kiindulási eszköz a rendszer működéséről adatokat tartalmazó eseménynapló (naplófájl). Az általunk vizsgált diagnosztikai módszerek ezeknek a modelleknek és naplófájloknak a különböző módon történő összehasonlítását végzik el.

Modellezés Petri-háló segítségével

A Petri-háló diszkrét állapotú és diszkrét idejű rendszerek leírására alkalmas eszköz, melyet Carl Adam Petri német matematikus fejlesztett ki soros automaták kommunikációjának modellezésére az 1960-as évek elején. A módszer kidolgozása óta a Petri-hálókat számos formában fogalmazták meg, és modellezési képességeik bővítése érdekében sokféle irányban fejlesztették tovább.

Kutatásaink során elsősorban az eredeti definíciónak megfelelő, ún. alacsony szintű hálókat, illetve a hierarchikus, színezett hálókat alkalmaztuk, így a következőkben ezek definícióját ismertetjük vázlatosan (Murata, 1989); Jensen, 1994 alapján.)

Egy alacsony szintű Petri-háló a következő ötessel adható meg: $PN = (P, T, A, w, m)$, ahol

- P : helyek halmaza;
- T : átmenetek halmaza;
- $A \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ az élek halmaza;
- $w : A \rightarrow \mathbb{N}^+$ az élek súlyait megadó függvény;
- $m : P \rightarrow \mathbb{N}$ a jelzőpontok eloszlását megadó függvény.

A modellezés során a rendszerből a lejátszódó eseményeket vagy műveleteket, és ezek előfeltételeit és következményeit emeljük ki. A Petri-hálóban az eseményeknek az átmenetek, az előfeltételeknek, következményeknek a helyek felelnek meg, míg a köztük lévő kapcsolatot az

tudjuk a hibát. Ha ez nem igaz, akkor lehetséges hibát fedeztünk fel.

Folyamatinformációk alapján generált Petri-háló modellek felhasználása diagnosztikai vizsgálatokhoz

A gyártórendszer működése során fellépő súlyosságokat tekintve alapvetően három voltak:

- azonnali leállást eredményező súlyos hiba,
- selejtet eredményező hiba,
- leállást nem eredményező kisebb hiba.

Diagnosztikai vizsgálataink célja, hogy a viz rendszer működése során szerzett információ visszaállított hálót összehasonlítva az elő információk alapján felállított helyes és káros hibás működéseket leíró háló következtessünk a technológiai rendszer működésének helyességére. Ezt a vizsgálatunk során a Petri-háló terében vég el, azaz a tényleges (esetleg ismert ismeretlen hibát tartalmazó) működést Petri-hálót összehasonlítjuk a rendszer n referenciamodelljével, és a Petri-gráftávolságát meghatározva következtetünk normál működéstől való eltérés mértékére, a hiba súlyosságára (Gerzson et al., 2011). A távolságának meghatározása legnagyobb részgráfjuk ismeretében az alábbi képlet történhet (Bunke – Shearer, 1998):

$$d(G_1, G_2) = 1 - \frac{|\text{mcs}(G_1, G_2)|}{\max(|G_1|, |G_2|)} \quad (1)$$

ahol $|G|$ a G gráf csúcsainak számát, $\text{mcs}(G_1, G_2)$ a G_1 és G_2 gráfok maximális részgráfját, míg $d(G_1, G_2)$ a G_1 és G_2 gráf távolságát jelöli. A maximális közös rész megkeresése általában algoritmikusan NP feladat, de az általunk összehasonlítani kívánt Petri-háló csúcscímkezett gráfoknak tekinthető és az alkalmazott hibamodellezés miatt speciális szerkezetűek, így a gráftávolság számítás ebben az esetben algoritmikusan lényegesen egyszerűbb probléma.

Míg a gyártórendszerek különböző modelljeik komplex rendszerek esetén is jól ábrázolható hierarchikus, színezett Petri-hálókat célként használni, addig a gráfok szerkezeti analízis

élek adják meg. A hálót nagyon gyakran gráfként jelenítik meg, ahol az átmeneteket téglalappal, a helyeket körökkel, az éleket pedig nyilakkal szimbolizálják. A vizsgált rendszer működését a háló szimulációjával vizsgálhatjuk. Az átmenetek lejátszódásához, a valós rendszerhez hasonlóan, az előfeltételeiknek teljesülniük kell, melyeket jelzőpontok, ún. tokenek hozzárendelésével lehet szimbolizálni. A modellezett rendszertől függően szükség lehet arra, hogy egy átmenet lejátszódásához az előfeltételi helyén kettő vagy több token (például munkadarab) legyen. A w élfüggvény ezeknek a helyzeteknek a kezelésére alkalmas, míg az m jelzőponteloszlás-függvény a tokenek aktuális eloszlását adja meg.

Míg az alacsony szintű Petri-hálókból a jelzőpontok megkülönböztethetetlenek, addig az ún. színezett Petri-hálókból a jelzőpontokhoz színeket, vagyis a tokenek által reprezentált diszkrét értékű adatoknak megfelelő típusokat rendelhetünk. E módosítás miatt további fogalmakat, így a jelzőpontok színeinek kiértékelését elvégző, élekekhez rendelt ívkifejezéseket, valamint az átmenetekhez tartozó őrfüggvényeket is be kell vezetni. A színezett Petri-háló definíciója Kurt Jensen művében (1994) található meg részletesen. A színezett Petri-háló segítségével a modellek szerkezete sokkal egyszerűbb, átláthatóbb lesz, a pontos értelmezhetőséghez azonban szükség van az ívkifejezések és az őrfüggvények ismeretére is.

Az ún. hierarchikus hálókból lehetőség van alháló beépítésére, ami egyrészt egyszerűsíti a modellezési munkát és a főháló szerkezetét, másrészt viszont nehezíti a modell részletes értelmezését. Petri-hálóban az időkezelés általában az átmenetek és helyek sorrendiségében jelenik meg, de létezik a hálónak olyan továbbfejlesztése, melyben az idő közvetlenül is megjelenik.

A leírtakból látható, hogy a különböző típusú Petri-háló kiválóan alkalmasak diszkrét eseményű és idejű technológiai rendszerek működésének elemzésére, mind szimuláció, mind a felsorolt rendszertulajdonságok vizsgálata alapján.

Technológiai rendszerek normál és hibás működésének modellezése Petri-háló segítségével

így a gráfösszehasonlításhoz is egyszintű hierarchikus) és alacsony szintű (nem színű hálókat kell alkalmazni. A hierarchikus színezett hálóként felépített alapmodell általunk fejlesztett Converter szoftver (Márk al., 2011) felhasználásával alakítjuk át ProM Dongen et al., 2005) szoftverrel megjeleni alacsony szintű, egyszintű hálóvá, ahogy azt fejezetben már említettük.

Munkánk jelen szakaszában a technológiai rendszer működését a CPN-Tools-ban végeztük szimulációval vizsgáltuk. A háló végrehajtás során a program lehetőséget ad a rendszerek működéséhez hasonló napló generálására. Ezek a naplófájlok időbélyegzettel ellátva tartalmazzák a technológiai rendszer vagy az azt szimuláló hálóban bekövetkező eseményeket, azok végrehajtóit. Ezeknek az adatoknak a segítségével lehet az operációs rendszer működésnek megfelelő hálót visszaállítani, azt a normál referenciahálóval összehasonlítható rendszer működési állapotát meghatározni. Vizsgált rendszerünk referenciamodellje és tényleges, a folyamat elején leállást okozó működéshez tartozó modell alacsony szintű hálót a 3. ábrán látható.

A két gráf távolsága a legnagyobb közös rész alapján meghatározva $d1 = 0.69$ értéknek a hálók összehasonlításaként az 1. táblázat két esetben (leállást nem eredményező kis hiba, illetve leállást nem eredményező kis hiba, majd a folyamat végén leállást eredményező hiba) mutatja a számolt gráftávolságok értékét. Megállapítható, hogy ha a technológiai folyamatban csak egy kicsi, kezelhető hiba következik be, akkor a kapott gráftávolság értéke kicsi. Leállást eredményező hiba esetén a távolság közelebb lesz a kapott távolságérték 1-hez, korábban következett be a leállást eredményező hiba.

Konklúzió

Munkánkban összefoglaltuk azokat a lehetőségeket, amelyek felhasználhatók lehetnek járműipari diagnosztikai területek folyamatok elemzéséhez egyrészt modellezéssel a Petri-háló kerületek alkalmazására –, másrészt a folyamatok során rögzített naplófájlok használatával fel. Megmutattuk, hogy a diagnosztikai elemzésekhez szükséges

Kutatásunk egyik célja egy olyan, diszkrét eseményű technológiai rendszerek állapotainak széles körű feltárására alkalmas Petri-háló alapú modellezési eljárás megalkotása volt, amely egyaránt lehetővé teszi a normál üzemelés, valamint különböző hibalehetőségeket tartalmazó hibás működés lejátszódásának leírását is.

Első lépésként, a műveletek helyes lejátszódási sorrendjének és a köztük lévő kapcsolatoknak ismerete alapján elkészítjük a vizsgált rendszer ún. normál referenciamodelljét, mely a vizsgált rendszer hibamentes működésének felel meg. Összetett, nagy technológiai rendszerek modellezése esetén segíti az elkészült modell áttekinthetőségét, ha a szorosabban összetartozó technológiai lépéseket alhálóba szervezzük, azaz hierarchikus hálót alakítunk ki.

Következő lépésként különböző, ismert hibák rendszerbe történő integrálását végeztük el, melynek eredményképpen különféle hibás működési módok vizsgálata válik lehetségessé. A hibalehetőségeknek Petri-háló alapú modellben való figyelembe vételét általában hibahelyek és/vagy hibaátmenetek hálóba történő beépítésével szokták elvégezni (Blanke et al., 2006), ez azonban jelentősen növelheti a háló méretét és bonyolultságát. Ezt elkerülendő, a hibáknak a modellbe történő integrálását egy új, egyedi ötlet alapján hajtottuk végre (Márcki et al., 2011, Márcki et al., 2012). Ennek lényege, hogy a hibáknak a referenciamodellbe történő integrálását a színezett Petri-háló elemeihez rendelhető függvények és utasítások segítségével oldottuk meg. Az átmenetekhez rendelt ellenőrző függvények a felhasználó által előre definiált valószínűséggel térnek vissza hibás vagy hibamentes működésre utaló értékkel. Az átmenetek és helyek között lévő irányított élekhez tartozó feltételes utasításokba kódoltuk be, hogy mi játszódjon le hibás működés esetén. Az, hogy melyik feltételes utasítás játszódik le, az a megelőző átmenethez rendelt ellenőrző függvény visszatérési értékétől, vagyis a token színétől függ. A beépített függvények felelnek azért is, hogy egy rendszerleállást eredményező hiba esetén a háló tokeneloszlása a kezdeti tokenelosztással egyezzen meg, vagyis inicializációs állapotba kerüljön a rendszer. A hibák bekövetkezése tehát, a rendszer valós működéséhez hasonlóan véletlenszerű, előfordulásukat pedig egy, a felhasználó által

referenciamodellre szükséges készíteni, célszerűen hierarchikus felépítésű, más kiterjesztett referenciamodelleket, amelyek lehetséges hibákat is megjelenítik. Vizsgáltuk, hogy diszkrét eseményű rendszerek struktúrájához hogyan használhatók folyamatbányászati eszközök. Bemutattunk módszert a referenciamodell és a napló előállított helyes és hibás működéseket modellek összehasonlítására. A bemutatott módszereket járműipari területen vizsgáltuk megállapítottuk, hogy ezen speciális területen is van létjogosultsága a modellezési, naplófeldolgozási, az összehasonlítási műveleteknek, ha azokat elsődlegesen hibadiagnosztikai akarjuk használni.

Ez a munka a Magyar Állam és az Európai pénzügyi támogatásával valósult meg a TÁI 4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0003 projekt keretében.

Kulcsszavak: *folyamat, modellezés, Petri-háló, hibadiagnosztika, járműipar*

IRODALOM

- Blanke, M. – Kinnaert, M. – Lunze, J. – Staroswiew (2006): *Diagnosis and Fault-tolerant Control*. Sp Verlag
- Bunke, H. – Shearer, K. (1998): *A Graph Distance Based on Maximal Common Subgraph*. *F Recognition Letters*. 19, 255–259.
- Gerzson M. – Leitold A. – Hangos K. M. (2011): *Based Process Diagnosis Using Graph Methods*. *F Automation 2011 Conference*, Győr, Hungary, 62–70
- Hangos K. M. – Cameron, I. T. (2001): *Process Model and Model Analysis*. Academic Press, London
- Hangos K. M. – Lakner R. – Gerzson M. (2002): *Intelligent Control Systems: An Introduction with Examples*. Kluwer Academic Publisher, New York
- Jensen, K. (1994): *Coloured Petri Nets*. Springer-Verlag
- Márcki, B. – Gerzson, M. – Leitold, A. (2011): *Diagnosis Investigations Based on the Petri Net Model Generated from the Process Information*. *Hungarian Journal of Industrial Chemistry*. 39, 1, 133–139.
- Márcki B. – Leitold A. – Gerzson M. (2012): *Diagnosis of Technological Systems Based on Their Colored Petri Net Model*. 7th Vienna Symposium on Mathematical Modelling, Wien, Austria, ARGESIM Report S38.

paraméterezett valószínűségi függvény szabályozza. A gyakoriságok beállításánál, a gyártórendszer működése során előálló naplófájlokból adatbányászati elemzések révén kapott hibastatisztikák lehetnek segítségünkre. Azt a modellt, amely már a különféle hibás működéseket is tartalmazza, kiterjesztett referenciamodellnek hívjuk.

Az 1. ábrán egy olyan technológiai rendszer Petri-háló alapú normál referenciamodelljének felső szintje látható, mely négy alhálóba összevont technológiai lépésből áll. A 2. ábrán az egyik alháló látható a hibalehetőségek integrálása után.

Diszkrét eseményű modellstruktúra-identifikáció

A Petri-háló segítségével megadott diszkrét eseményű rendszerek struktúraidentifikációjához modellalapú diagnosztika céljából felhasználhatjuk a folyamatbányászat (van der Aalst et al., 2007; van Dongen et al., 2005) fogalmait és eszközeit. Ehhez szükséges a lehetséges hibamódok feltárása, majd a normál működési mód és a hibás működési

Murata, T. (1989): Petri Nets: Properties, Analysis Applications. Proceedings of the IEEE. 77, 4, 541–5

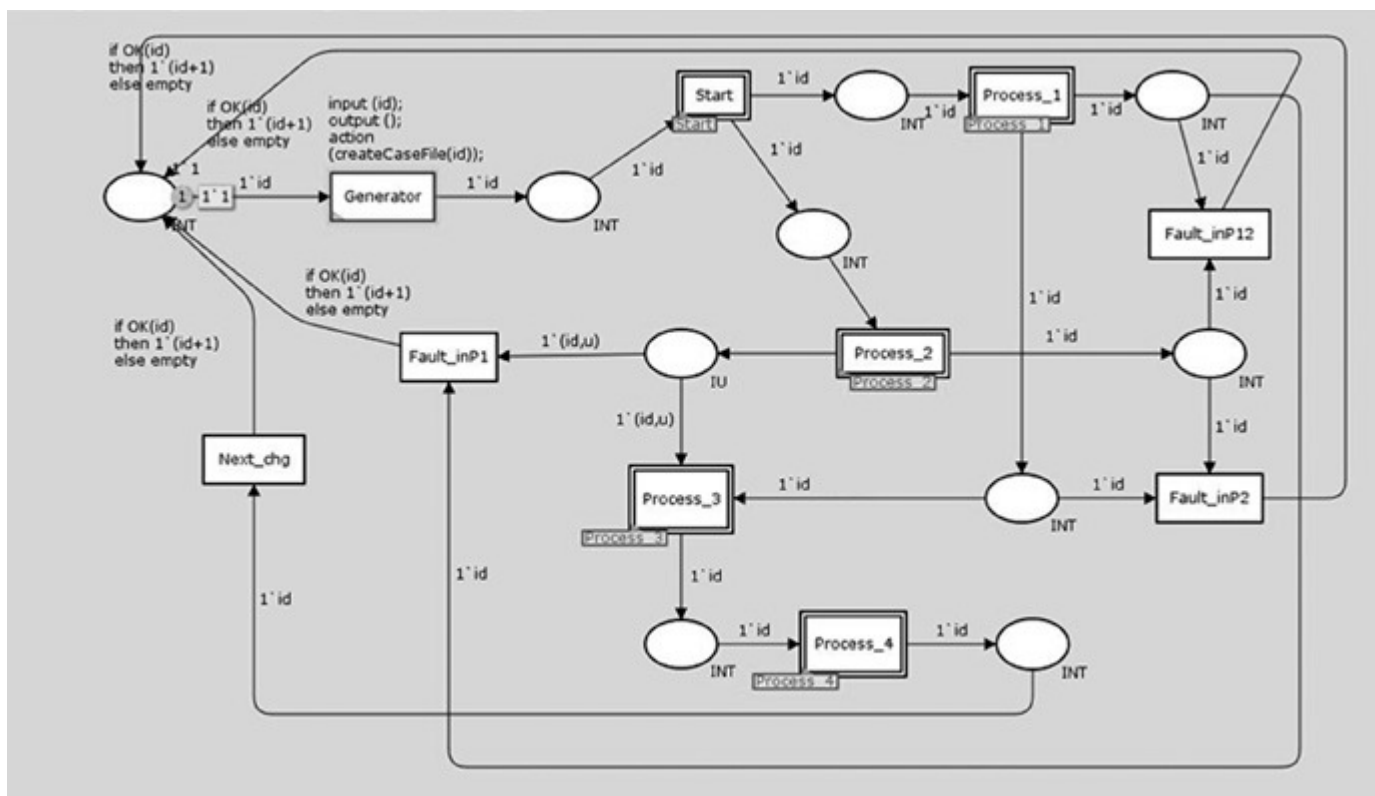
van der Aalst, W. M. P. et al. (2007): Business Process Mining: An Industrial Application. Information Systems 5, 713–732.

van der Aalst, W. M. P. – Weijters, A. J. M. Maruster, L. (2004): Workflow Mining: Discovering Process Models from Event Logs. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. 16(9): 1128–1141, 2004.

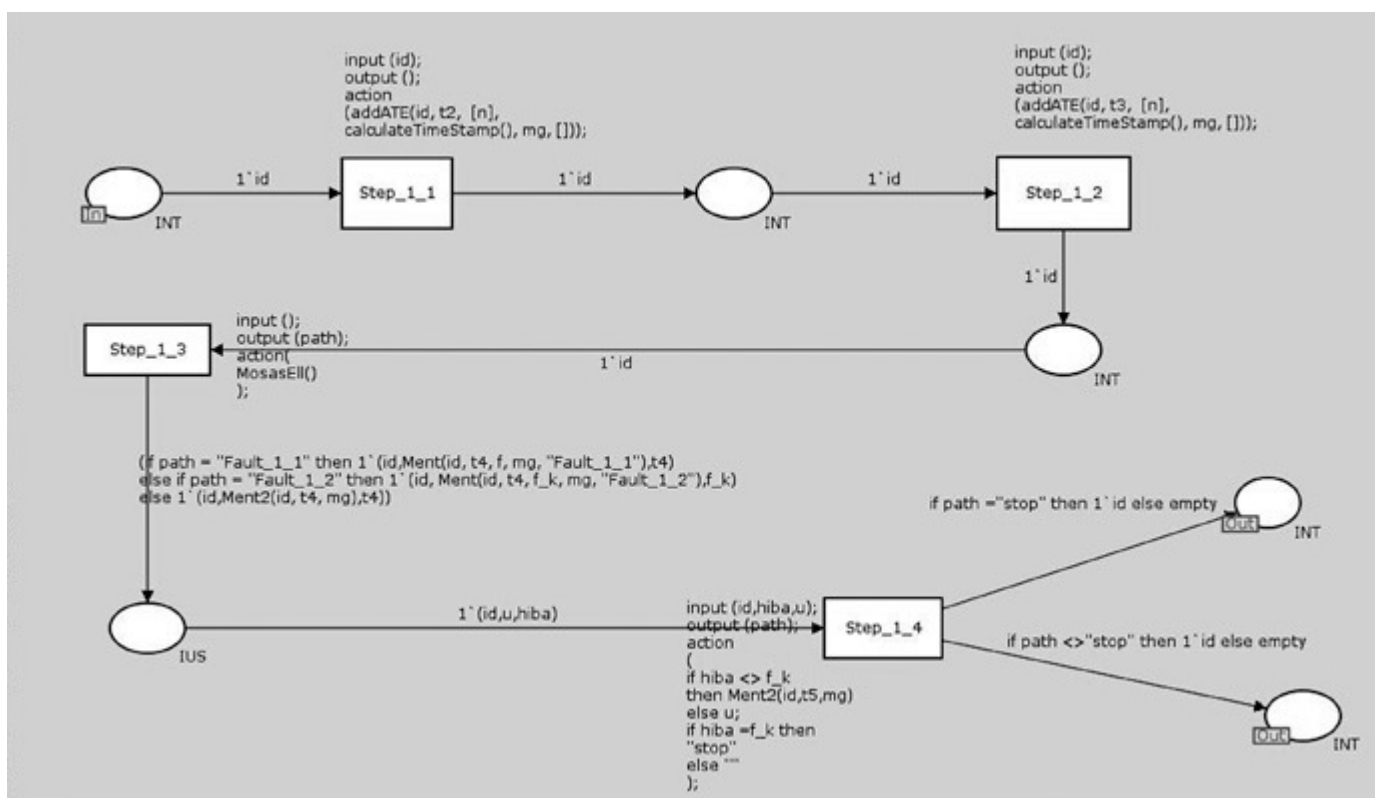
van Dongen, B. F. et al. (2005): The ProM Framework: A New Era in Process Mining Tool Support. ICIS 2005, 444–454.

Werner-Stark A. – Gerzson M. – Hangoz K. M. (2011): Discrete Event Model Structure Identification for Process Mining. Proceedings of the IASTED International Conference on Modelling, Identification, and Control (2011), Innsbruck, Austria, 228–233, 978-0-88986-863-2

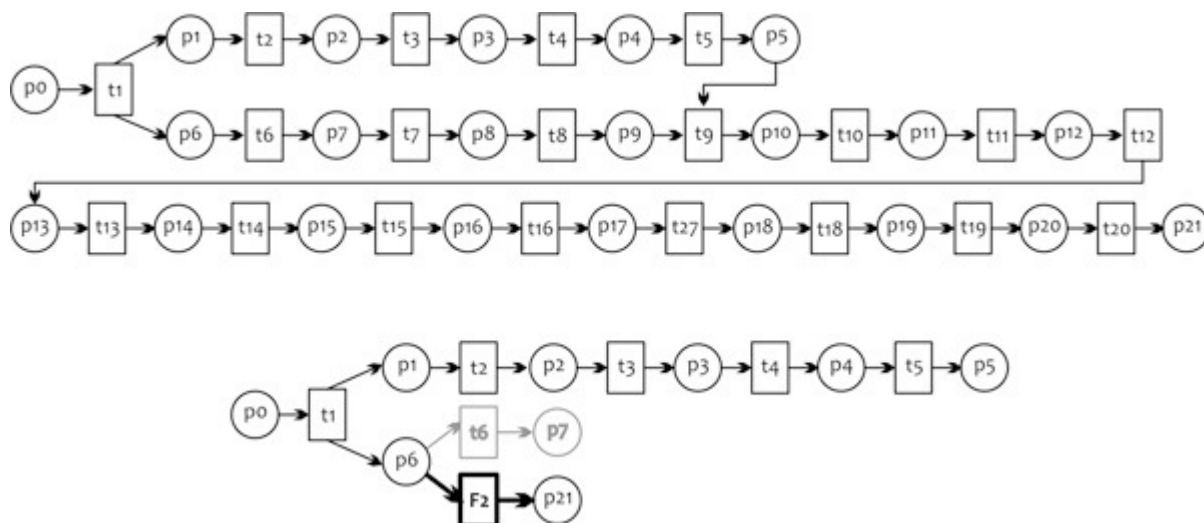
Werner-Stark A. – Dulai T. (2012): Agent-based Analysis and Detection of Functional Faults of Vehicle Inspection Processes: A Process Mining Approach. 6th International Conference on Agents and Multi-agent Systems: Technologies and Applications KES-AMSTA Dubrovnik, Croatia, 25–27. 06. 2012.



1. ábra • A technológiai rendszer kiterjesztett referenciamodelljének felső szintje <



2. ábra • A technológiai rendszer egy, hibalehetőségeket is tartalmazó alhálója <



3. ábra • A referenciamodell és a hibás működés alacsony szintű hálója <

előforduló hibatípus	számolt érték
----------------------	---------------

azonnali leállást eredményező hiba a folyamat elején	$d_1 = 0,69$
leállást nem eredményező kis hiba	$d_2 = 0,024$
leállást nem eredményező, majd egy leállást eredményező hiba a folyamat végén	$d_2 < 0,143 <$

1. táblázat • A technológiai rendszerben előforduló hibás működések és számolt gráftávolság-érték
