

A PETRI HÁLÓK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI AZ OKTATÁSI FOLYAMAT MODELLEZÉSÉBEN

Nyéki Lajos, nyeki@sze.hu

Széchenyi István Egyetem

Bevezetés

A Petri hálók a rendszermodellezés és -elemzés széleskörűen használt leíró eszközei. Előnyük más formális módszerekkel szemben, hogy grafikus és matematikai reprezentációval is rendelkeznek. A Petri hálók jól használhatók műszaki és információs rendszerek, munkafolyamatok, üzleti folyamatok modellezésére.

A közel-múltban több tanulmányban is javasolták a Petri hálókat a tanulási folyamatok és a tantervek modellezésére. Ezek közül mutatunk be röviden néhány jellegzetes megközelítést.

Van der Aalst és Stahl egy három nyelvet (angol, német és francia) oktató nyelvi intézet üzleti folyamat modelljét készítette el. Két objektumot kellett modellezni: a hallgatónak a nyelvi intézeten belüli életciklusát (szabad, bejelentkezett, kurzust hallgató, kurzust elhagyó, kijelentkezett) és a kurzus állapotát (nyitott, elindított, befejezett). A hallgató állapotát egy token modellezi. A hallgató a nyitott kurzusok közül választhat. A modellben mód van intézetre és kurzusra vonatkozó kapacitás korlátok (hallgatói létszámok) megadására is (*van der Aalst - Stahl, 2011*).

Balogh és munkatársai az e-kurzus egyetememes modelljét készítették el Petri háló segítségével. Az e-kurzust leckékre bontják, és a hallgató előrehaladását modellezik a kurzusban. A hallgató a lecke áttanulmányozása után visszatérhet egy korábbi leckére, vagy választhat újat. A kurzust vizsga zárja. A modellben mód van kapacitás korlátok megadására is. A modell nem hierarchikus, nagy mérete miatt csak a lecke feldolgozására vonatkozó részletet mutatták be (*Balogh et al., 2012, 2014*).

Campos-Rebelo és munkatársai egy moduláris e-kurzus modelljét készítették el Petri háló segítségével. Elkészítették egy generikus modul Petri hálóját, és a modulok közötti függőségek alapján állították össze a kurzus modelljét. A modulok logikai kapcsolatainál 1:1, 1:N és N:1 típusú precedencia relációkat vettek figyelembe. A módszer alkalmas akár egy moduláris szakképesítés modelljének elkészítésére is (*Campos-Rebelo – Costa – Gomes, 2012*).

Kuchárik és Balogh egy vizsgával záruló, moduláris e-kurzus modelljét készítették el Petri háló segítségével. A hallgató az előismereti szint felmérése alapján eldöntheti, hogy melyik modult tanulmányozza, vagy vizsgát tesz. A modell számolja, hogy hányszor tanulmányozza a hallgató ugyanazt a modult. Ennek alapján lehet következtetni arra, hogy melyik modul tananyagát kell javítani. A szerzők javaslatot tettek az átmenetek súlyozására is. A magasabb súlyú átmenetnek az egyszerű véletlen kiválasztásnál nagyobb esélye lesz a tüzelésre (*Kuchárik – Balogh, 2017*).

Carvajal-Schiaffino és Firinguetti egy felsőoktatási tanterv modelljét készítették el Petri háló segítségével. A modell a következő szabályokat veszi figyelembe: a kurzusok előtanulmányi feltételeit, a kurzusok legfeljebb kétszeri megismétlésének lehetőségét, a tanulmányok maximális időtartamát és a szemeszterenként felveendő kurzusok minimális számát. A modellt a hallgatói lemorzsolódás lehetőségének csökkentésére is fel kívánják használni (*Carvajal-Schiaffino - Firinguetti, 2014*).

A továbbiakban áttekintést adunk arról, hogyan lehet a Petri hálókat használni az oktatási folyamat modellezésére. A modelleket a Brandenburgi Műszaki Egyetem Számítástudományi Tanszékén kifejlesztett Snoopy szoftver (*Heiner et al., 2012*) felhasználásával készítettük el.

1. Petri hálók

A Petri háló szerkezetileg egy irányított, súlyozott, páros gráf, amely helyekből és átmenetekből áll. A helyeket és az átmeneteket súlyozott élek kötik össze. Minden helynek van kapacitása, és képes nem negatív egész számú tokenet tárolni. Az élekhez pozitív egész súlyokat lehet rendelni. Egy egyszerű Petri hálóban minden él alapértelmezett súlya 1 (*Pataricza, 2004*).

A Petri háló formális definíciója a következő:

$$PN = [P, T, A, W, M_0] \quad (1)$$

ahol

$P = [p_1, p_2, \dots, p_n]$ a helyek egy véges halmaza.

$T = [t_1, t_2, \dots, t_m]$ az átmenetek egy véges halmaza.

$A = [T * P] \cup [P * T]$ az élek egy véges halmaza.

W az élek súlyfüggvénye, és

M_0 a kezdő állapot (a kezdő token eloszlás).

A Petri hálókban a helyeket kör vagy ellipszis, az átmeneteket négyzet vagy téglalap jelöli. A Petri hálók, mint automaták állapotát tokenek segítségével

írják le. A tokeneket a helynek megfelelő körbe írt fekete vagy színes pontok jelölik.

A Petri hálóknban az állapotváltozást tüzelésnek nevezzük. Egy átmenet tüzelése akkor engedélyezett, ha minden bemenetén az él súlyának megfelelő számú token van. A szimuláció minden egyes lépésében egy engedélyezett átmenet tetszése szerint tüzelhet vagy nem tüzelhet, azaz működése nemdeterminisztikus. Az engedélyezett átmenet tüzelése az adott bemenő él súlyának megfelelő számú tokent vesz el a bemeneti helyről és az adott kimenő él súlyának megfelelő számú tokent ad hozzá a kimeneti helyhez.

Ha egyszerre több átmenet is engedélyezett, akkor a ténylegesen tüzelő átmenet kiválasztása véletlenszerűen történik. A Petri hálók jellegzetesen nemdeterminisztikus automaták. Ez a viselkedés módosítható, ha az átmenetekhez prioritásokat rendelünk. A magasabb prioritási szintű átmenetek előnyt élveznek a tüzelő átmenet kiválasztása során. Az adott prioritási szinten belüli engedélyezett átmenetek közül a tüzelő átmenet kiválasztása továbbra is nemdeterminisztikus.

Alaphelyzetben a Petri háló helyei végtelen kapacitásúak, azaz az elhelyezhető tokenek száma nem korlátozott. A gyakorlatban szükség lehet az egyes helyeken elhelyezett tokenek számának korlátozására. Ilyenkor véges kapacitású Petri hálókat használunk.

A klasszikus Petri hálóknak három gyengesége van. Ezek a következők:

- Az összetett rendszerek modellezése hatalmas méretű hálókat eredményez. Ezek nehezen értelmezhetők, és elkészítésük is időigényes.
- Kifejező erejük korlátozott. Nem tudunk velük $x \leq y$ típusú feltételeket vizsgálni.
- Nem tudják explicit módon modellezni az időt. Mivel nem tudják leírni a rendszer időbeli vonatkozásait, a rendszer teljesítményének értékelése sem lehetséges.

Az első két gyengeséget a hierarchia hiánya és a megkülönböztethetetlen fekete tokenek okozzák. A harmadikat az a tény okozza, hogy az átmenetek tüzelése időtlen. A problémák megoldása érdekében három bővítmény bevezetése vált szükségessé.

Az első bővítmény a megkülönböztethetetlen fekete tokenek helyett színes tokenek (adat objektumok) használata. A színezett Petri hálóknban a token színek lehetőséget adnak arra, hogy feltételt rendelhessünk minden egyes

átmenethez. Megadhatunk $x \leq y$ típusú feltételeket is egy átmenet engedélyezéséhez.

A második bővítmény időt ad a színezett Petri hálókhoz. Az időzített, színezett Petri hálókkal már le lehet írni a rendszerek időbeli vonatkozásait. A harmadik bővítmény hierarchiát ad az időzített, színezett Petri hálókhoz. A hierarchikus Petri hálókkal már le lehet írni egy rendszer hierarchikus struktúráját.

Az időzített, hierarchikus, színezett Petri hálókat magas szintű Petri hálóknak szokás nevezni. Ezek programozására szolgál a CPN nyelv.

A sztochasztikus Petri hálók esetében minden átmenethez egy sztochasztikus várakozási idő tartozik, amelynek elteltével az engedélyezett átmenet tüzelhet, ha időközben nem veszíti el a jogosultságát. A várakozási idő véletlen változó λ paraméterű exponenciális eloszlást követ. A sztochasztikus Petri hálóknak lehetőség van az átmenetek súlyozott véletlen kiválasztására.

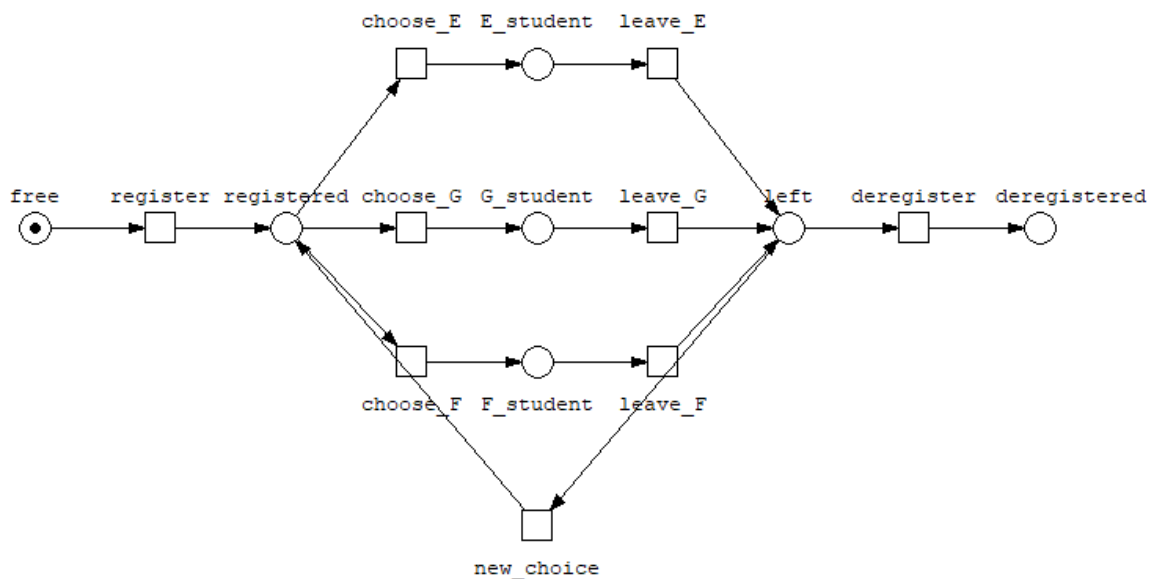
A fuzzy sztochasztikus Petri hálóknak fuzzy logikát használnak. A fuzzy sztochasztikus Petri hálóknak tört értékű súlyok és tokenek is megengedettek.

A klasszikus Petri hálókat kvalitatív, a sztochasztikus Petri hálókat kvantitatív Petri hálóknak szokás nevezni.

2. Oktatási Petri háló modellek

2.1 Egy nyelvi intézet üzleti folyamat modellje

Egy angol, német és francia nyelvet oktató nyelvi intézet üzleti folyamat modellje látható az 1. ábrán. A hallgató a regisztráció után választhat a három kurzus közül. Ha elvégzett egy kurzust, választhat egy másikat, vagy kijelentkezik az intézetből.



2. ábra A hallgató állapotainak Petri háló modellje

A hallgató állapotát egy token modellezi. A hallgatónak öt állapota van: szabad, regisztrált, kurzust hallgató, kurzust elhagyó és kijelentkezett.

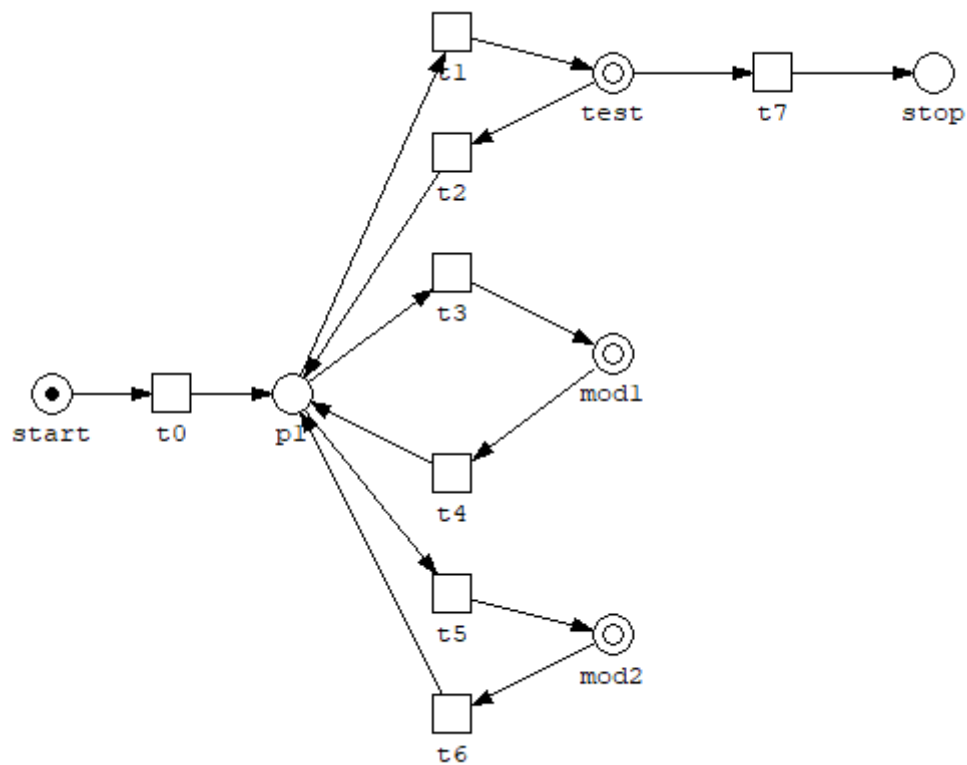
A modell továbbfejlesztett változatában a kurzusok állapotait is figyelembe vehetjük. Egy kurzusnak három állapota van: nyitott, elindított és befejezett. A hallgató a nyitott kurzusok közül választhat.

A modellbe kurzusra vonatkozó kapacitás korlátok (hallgatói létszámok) is beépíthetők. Megadhatjuk, hogy maximum hány fő veheti fel egyszerre a kurzust.

A modellbe intézetre vonatkozó kapacitás korlátok (hallgatói létszámok) is beépíthetők. Megadhatjuk, hogy a párhuzamosan futó kurzusokon egyszerre maximum hány hallgató lehet. A kapacitás korlátok olyan helyek a modellben, ahol a tokenek maximális száma korlátozott. A továbbfejlesztett modellt a terjedelmi korlátok miatt nem közöljük.

2.2 Egy moduláris e-learning kurzus munkafolyamat modellje

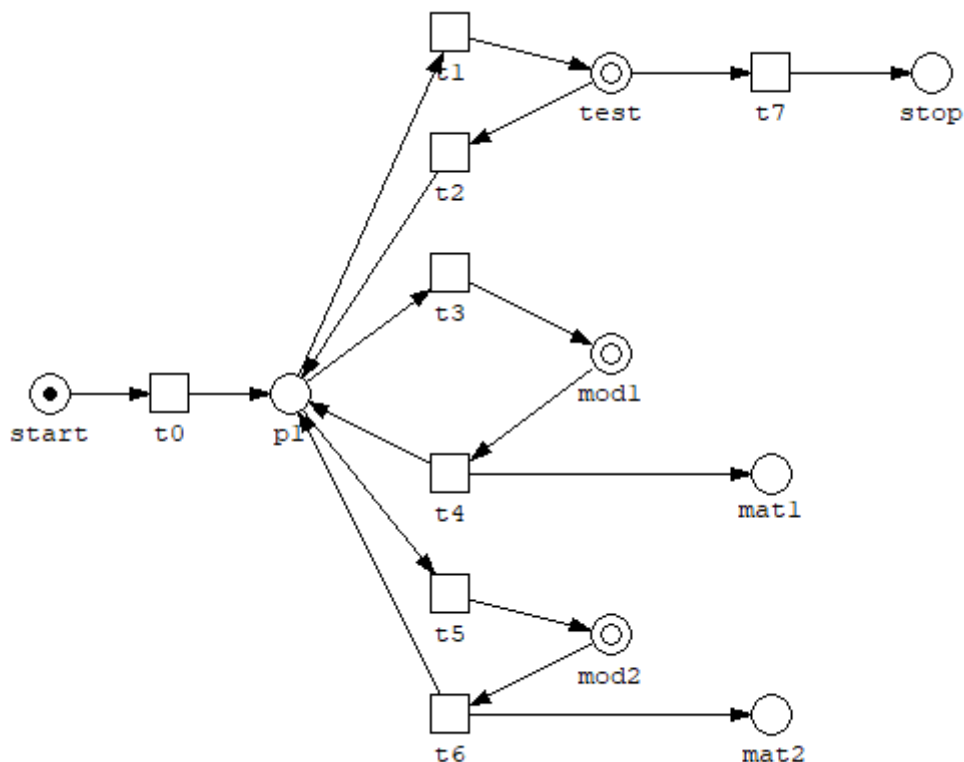
Egy moduláris e-learning kurzus munkafolyamat modellje látható a 2. ábrán. A hallgatónak egy előzetes tudásszint felmérés eredménye alapján lehetősége van választani valamelyik modul (*mod1* vagy *mod2*) tanulmányozása, vagy a kurzust lezáró *test* kitöltése között. A hierarchikus Petri hálóban a *test*, a *mod1* és a *mod2* helyek összetettek, ezt a dupla vonalú körök mutatják.



3. ábra Egy moduláris e-learning kurzus munkafolyamat modellje

A hallgatót a *start* helyen levő token modellezi. A munkafolyamat akkor ér véget, ha a token a *stop* helyre kerül.

A modell továbbfejleszthető számlálók beépítésével. A *mat1* és a *mat2* számlálókkal kiegészített Petri háló látható a 3. ábrán.



4. ábra A számlálókkal kiegészített Petri háló

A szimulációs vizsgálat (az ún. token játék) azt mutatta, hogy a *mat1* és a *mat2* számlálók értéke egynél nagyobb is lehet, vagyis a modellezett hallgató többször is tanulmányozta a vonatkozó modult.

Egy valóságos e-learning kurzus esetében a többszöri tanulmányozás ténye a távoktatási keretrendszer (pl. a Moodle) web log állományának elemzésével állapítható meg. A többszöri tanulmányozásból arra lehet következtetni, hogy a modul tananyagát át kell dolgozni.

Megjegyzésre érdemes, hogy a számlálókkal kiegészített Petri háló már nem munkafolyamat modell. A munkafolyamat modellnek ugyanis csak egy kezdőpontja és egy végpontja lehet, itt pedig már három végpont (*stop*, *mat1* és *mat2*) van (van der Aalst – van Hee, 2002).

A modell továbbfejleszthető sztochasztikus Petri háló alkalmazásával. Ez esetben mód van az átmenetek súlyozására. A modellben az átmenetek súlyai a hallgatók feltételezett preferenciáit fejezik ki, korábbi adatok alapján.

A távoktatási keretrendszer (pl. a Moodle) aktuális web log állományának elemzésével megállapítható, hogy a valóságban milyen arányban választják

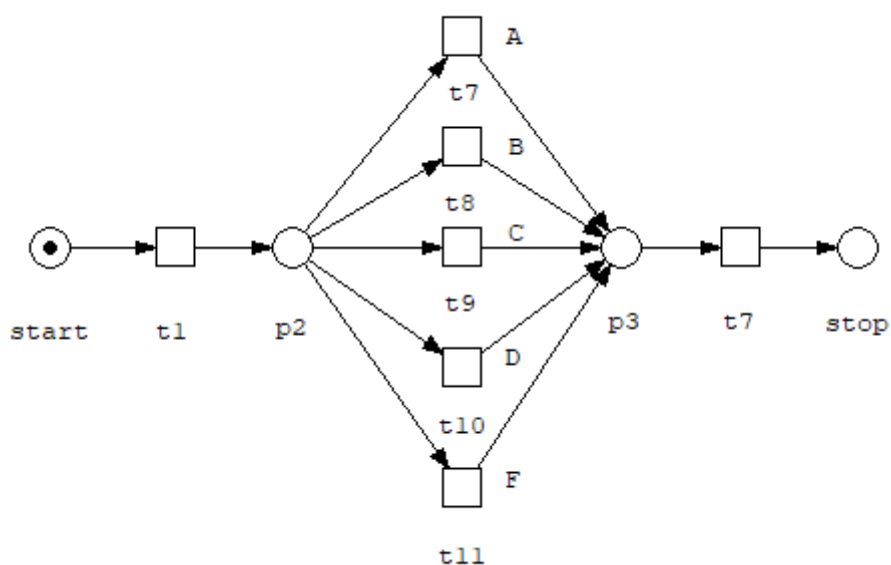
a hallgatók az egyes modulokat, illetve a tesztet. Ezekből az adatokból lehet a modell súlyait pontosítani.

2.3 Egy elektronikus kurzust záró teszt munkafolyamat modellje

Egy elektronikus kurzust záró teszt munkafolyamat modellje látható a 4. ábrán. A teszt osztályzatai az angolszász szokások szerint A, B, C, D és F.

A modell a 2. és a 3. ábrán látható kurzus *test* részének megvalósítása.

A hierarchikus Petri hálóval modellezett elektronikus kurzusban a *test* hely összetett hely (a jele dupla vonallal rajzolt kör). A *p2* és a *p3* helyek a közöttük levő átmenetekkel ennek egy alhálóját képezik. A Snoopy szoftverben megnyitott hierarchikus Petri hálóban az összetett helyre kattintva külön ablakban jelenik meg a hozzá tartozó alháló.



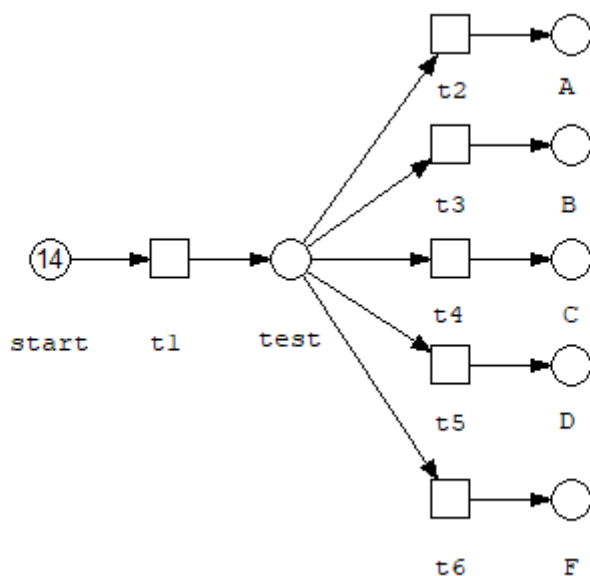
5. ábra Egy elektronikus kurzust záró teszt munkafolyamat modellje

A hallgatót a *start* helyen levő token modellezi. A token a *p2* helyről a teszt eredményének megfelelő élen jut el a *p3* helyre. A munkafolyamat akkor ér véget, ha a token a *stop* helyre kerül.

2.4 Egy elektronikus vizsgakurzus modellje

Egy elektronikus vizsgakurzus modellje látható az 5. ábrán. A vizsgakurzus osztályzatai az angolszász szokások szerint A, B, C, D és F.

A vizsgára 14 hallgató jelentkezett, ezért a start helyen 14 token van. A modell minden osztályzat kategóriához rendel egy számlálót (pl. a t_2 átmenet az A jelű számláléhoz kapcsolódik). Így modellezni tudjuk az egyes osztályzatok eloszlását.



6. ábra Egy elektronikus vizsgakurzus modellje

Megjegyzésre érdemes, hogy ez a számlálót tartalmazó Petri háló nem munkafolyamat modell. A munkafolyamat modellnek ugyanis csak egy kezdőpontja és egy végpontja lehet, itt pedig öt végpont (A, B, C, D és F) van (*van der Aalst – van Hee, 2002*).

A modell továbbfejleszthető sztochasztikus Petri háló alkalmazásával. Ez esetben mód van az átmenetek súlyozására. A modellben az átmenetek súlyai a hallgatók vizsgaeredményeinek feltételezett eloszlását fejezik ki, korábbi adatok alapján.

A távoktatási keretrendszer (pl. a Moodle) aktuális web log állományának elemzésével megállapítható, hogy a valóságban milyen arányban fordulnak elő az egyes osztályzat kategóriák. Ezekből az adatokból lehet a modell súlyait pontosítani.

2.5 Egy moduláris szakképesítés modellje

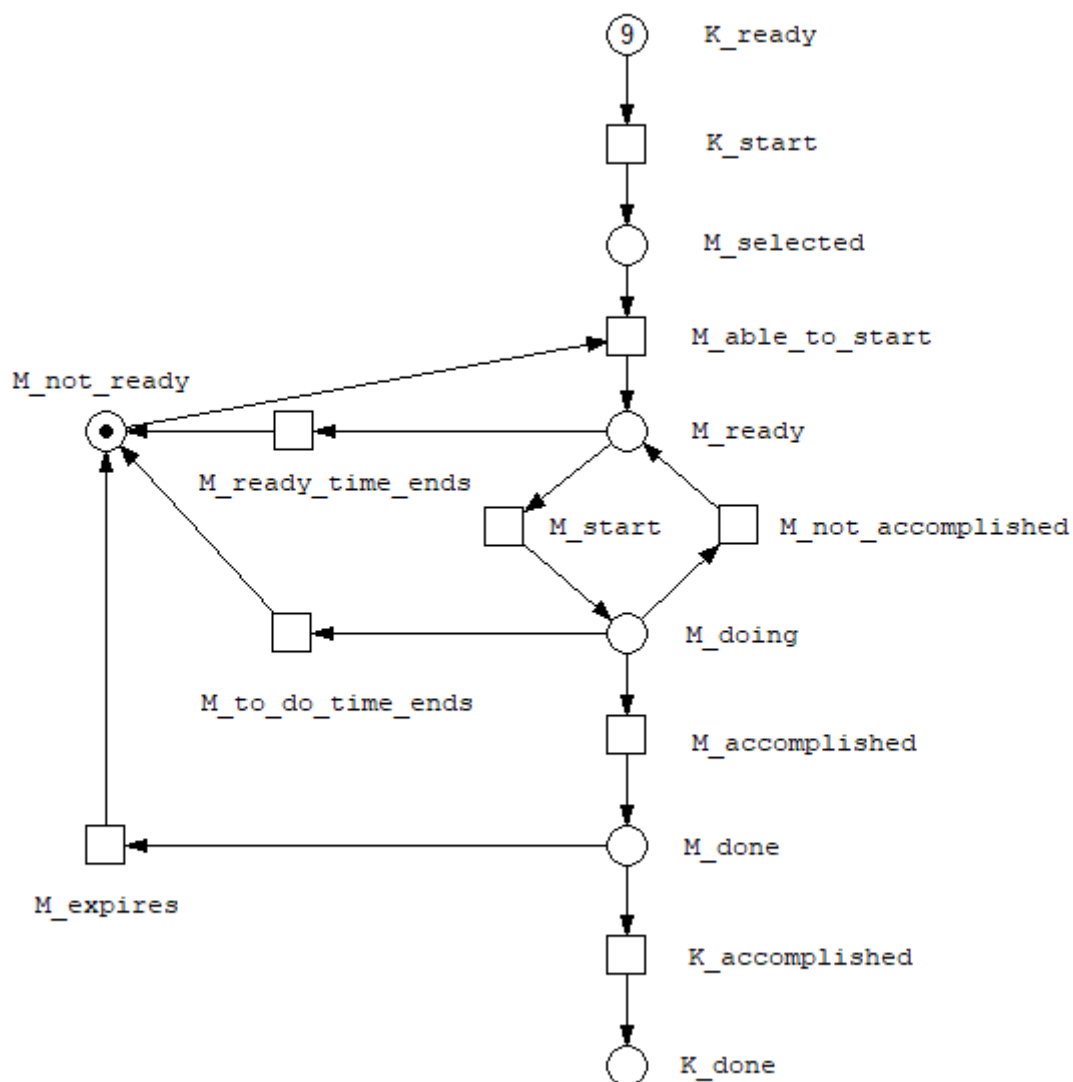
Egy moduláris szakképzési rendszerben a különböző szakmáknak lehetnek közös építőelemei. Ezek a közös építőelemek a modulok. Egy adott szakképesítés a rendelkezésre álló modulokból rakható össze. A moduláris

szakképesítések modellezésénél érdemes egy generikus modul modelljét kidolgozni, és azt építőelemként felhasználni.

A generikus modulok a szakképesítés tanterve által megadott precedencia szabályok szerint kapcsolódnak egymáshoz. A kapcsolat $1:1$, $N:1$ és $1:N$ típusú lehet.

Egy moduláris szakképesítés modellje látható a 6. ábrán. A szakképesítésnek az egyszerűség kedvéért most csak egy modulja van.

A K_ready helyen levő 9 token 9 próbálkozást enged meg a szimuláció során. Az M modulban egyidejűleg csak egy helyen lehet token.



7. ábra Egy generikus modul modellje

A generikus modul modelljében öt hely és hat átmenet van. A helyek a következők. Az *M_selected* hely az adott modul kiválasztását jelzi. Az *M_ready* hely azt jelzi, hogy a hallgató képes felvenni a modult. Az *M_doing* hely jelzi azt az időt, amíg a hallgató dolgozik a modulban. Az *M_done* hely a modul teljesítését jelzi. Végül az *M_not_ready* hely azt jelzi, hogy a hallgató nem tudja elindítani a modult.

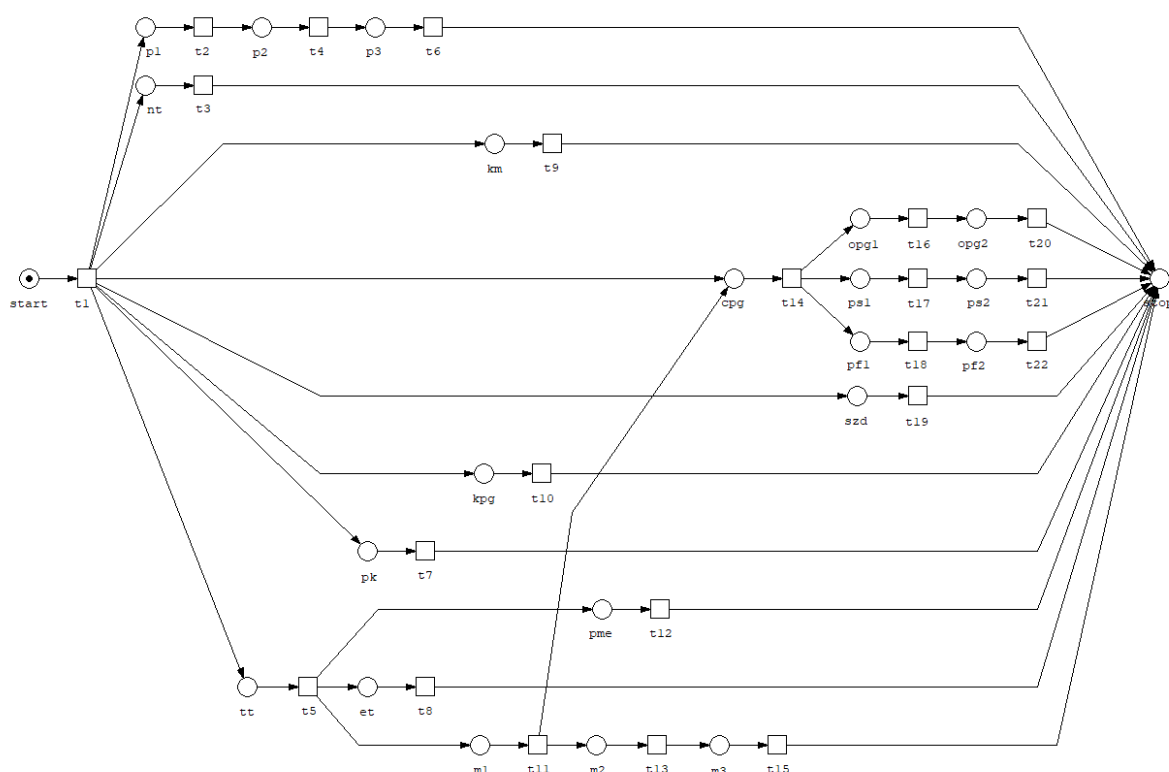
Az átmenetek a következők. Az *M_able_to_start* átmenet akkor tüzel, amikor a hallgató teljesíti a modul elkezdéséhez szükséges összes követelményt. Az *M_start* átmenet akkor tüzel, amikor a hallgató elindítja a modult. Az *M_accomplished* átmenet akkor tüzel, amikor a hallgató befejezte a modult. Az *M_not_accomplished* átmenet akkor tüzel, ha a hallgató nem teljesítette a modult. Az *M_ready_time_ends* átmenet akkor tüzel, ha a hallgató nem indította el időben a modult. Az *M_to_do_time_ends* átmenet akkor tüzel, ha a hallgató nem teljesítette a modult a rendelkezésére álló idő alatt. Az *M_expires* átmenet akkor tüzel, ha a modul érvényessége lejárt.

2.6 Egy szak mintatantervének modellje

A mintatantervekben megadott előtanulmányi feltételeket formálisan egy aciklikus irányított gráfként ábrázolhatjuk, ahol minden csomópont egy kurzust ábrázol, az ívek pedig a kurzusok közötti függőségeket képviselik. A gráfot a terjedelmi korlátok miatt nem közöljük.

A mintatantervet modellező Petri-hálókban a hely jelöli a kurzust, az átmenet pedig a kurzushoz kapcsolódó tevékenységet, a kurzus elvégzését. A tokennel ellátott hely azt jelzi, hogy a hallgató a vonatkozó kurzust felvette.

Az osztatlan mérnöktanár szak mintatantervében szereplő, kötelező pedagógiai tárgyak előtanulmányi feltételeinek Petri hálóját a 7. ábra mutatja. Az ábrán az egymás alatti helyek az adott félévben felveendő kurzusoknak felelnek meg. Az ábrán a *p1* a Pszichológia 1, az *nt* a Nevelés és társadalom tárgyat jelöli. Ezek a 3. félévben vehetők fel.



8. ábra A kötelező pedagógiai tárgyak előtanulmányi feltételeinek Petri hálója

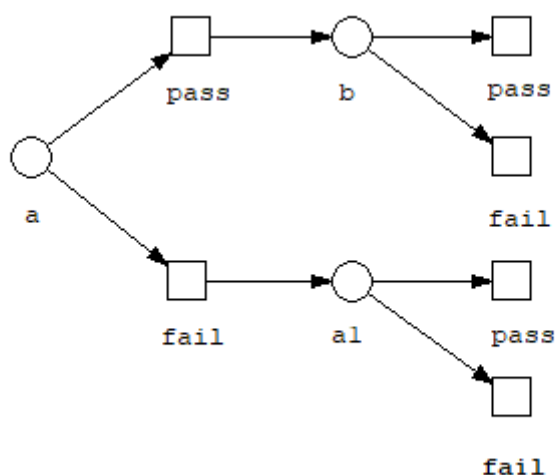
Az ábrából megállapítható, hogy a mintatanterv nagyon kevés előtanulmányi feltételt tartalmaz. Ennek az a törekvés az oka, hogy a hallgató előrehaladását a lehető legkisebb mértékben korlátozzák. A tantárgyak között ennél jóval több logikai kapcsolat van, de ezeknek csak egy része jelenik meg előtanulmányi feltételként. Nyilvánvaló a logikai kapcsolat például az *nt* (Nevelés és társadalom) és a *km* (A pedagógiai kutatás módszertana) tárgyak között, de *nt* mégsem előtanulmányi feltétele *km*-nek.

A *p1* (Pszichológia 1) előtanulmányi feltétele a *p2* (Pszichológia 2), a *p2* pedig a *p3* (Pszichológia 3) tárgynak. A *tt* (Tanulás és tanítás) előtanulmányi feltétele az *et* (Elektronikus tanulás), a *pme* (Pedagógiai mérés és értékelés) és az *m1* (Szakmódszertan 1) tárgyaknak. Az *m1* előtanulmányi feltétele az *m2* (Szakmódszertan 2) és a *cpg* (Csoportos pedagógiai és önálló tanítási gyakorlat), az *m2* pedig az *m3* (Szakmódszertan 3) tárgynak.

A *cpg* (Csoportos pedagógiai és önálló tanítási gyakorlat) előtanulmányi feltétele az *opg1* (Összefüggő egyéni pedagógiai gyakorlat 1), a *ps1* (Pedagógiai szeminárium 1) és *pf1* (Portfólió 1) tárgyaknak. Az *opg1* előtanulmányi feltétele az *opg2* (Összefüggő egyéni pedagógiai gyakorlat

2), a *ps1* a *ps2* (Pedagógiai szeminárium 2), a *pf1* pedig a *pf2* (Portfólió 2) tárgynak.

Az elkészített modell a mintatanterv szerinti eredményes előrehaladást veszi alapul. Nem foglalkozik azzal a problémával, hogy a hallgató nem teljesíti valamelyik tantárgyat. A probléma megoldásához minden egyes kurzushoz *pass* és *fail* tevékenységeket (átmeneteket) kellene rendelni (lásd 8. ábra). Az *a* kurzus elvégzése esetén felvehető lenne a *b* kurzus, bukás esetén az *a1* ismétlő kurzust kellene felvenni.



9. ábra A *pass* és a *fail* ábrázolása Petri hálóval

A bukásokat is ábrázoló modell elkészítéséhez azonban tudni kellene, hogy egy nem teljesített kurzust hányszor vehet fel a hallgató. Az egyetemi Tanulmányi és Vizsgaszabályzat ezt nem határozza meg, csak azt írja elő, hogy ugyanazon tantárgy harmadik és minden további alkalommal való felvételekor a Térítési és Juttatási Szabályzatban megállapított díjat kell fizetni.

A bukásokat is ábrázoló modell kiegészíthető lenne a hallgatói jogviszony megszűnésének az összegyűjtött kreditpontok összegével, illetve a megszerzett elégtelen értékelések számával kapcsolatos eseteivel. A vonatkozó szabályok leírásához azonban már színezett Petri hálóra lenne szükség.

Irodalomjegyzék

van der Aalst, W. - van Hee, K. (2002): Workflow Management Models, Methods, and Systems, The MIT Press, Cambridge, MA, p31-74

van der Aalst, W. - Stahl, C. (2011): Modeling Business Processes – A Petri Net-Oriented Approach, The MIT Press, Cambridge, MA, p111-116

Balogh, Z. - Magdin, M. - Turčáni, M. (2012): Development of a Universal Model of E-course Using Petri Nets, Problems of Education in the 21st Century, vol. 50, p7-13

Balogh, Z. – Turčáni, M. – Magdin, M. (2014) Design and Creation of a Universal Model of Educational Process with the Support of Petri Nets. In: Li, S. – Jin, Q. – Jiang, X. – Park, J. (eds.): Frontier and Future Development of Information Technology in Medicine and Education. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 269, Springer, Dordrecht, p1049-1060

Campos-Rebelo, R. – Costa, A. – Gomes, L. (2012): Finding Learning Paths Using Petri Nets Modeling Applicable to E-Learning Platforms. In: Camarinha-Matos L.M., Shahamatnia E., Nunes G. (eds) Technological Innovation for Value Creation. DoCEIS 2012. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 372., Springer, Berlin, p151-160

Carvajal-Schiaffino, R. – Firinguetti, L. (2014): Petri Net Based Modelling of a Career Syllabus, International Journal of Computers, Communications & Control (IJCCC), August 2014, p397-407

Heiner, M. - Herajy, M. - Liu, F. - Rohr, C. - Schwarick, M. (2012): Snoopy – a unifying Petri net tool, In: Application and Theory of Petri Nets, Proceedings, Springer, Hamburg, p398–407

Kuchárik, M. – Balogh, Z. (2017): Student Learning Simulation Process with Petri Nets, In: Patnaik, S. - Jain, V. (eds.): Recent Developments in Intelligent Computing, Communication and Devices, Proceedings of ICCD 2017, Proceedings of ICCD 2017, Springer, Berlin, p1115-1124

Pataricza, A. (2004): Petri hálók, In: Pataricza, A. (szerk.): Formális módszerek az informatikában, Typotex, Budapest, p31-42