

Neszveda József

neszveda.jozsef@bmf.kvk.hu

AZ APERIODIKUSAN ALKALMAZOTT KATONAI BERENDEZÉSEK ELLENŐRZŐ TESZTJEINEK HATÁSA A MEGBÍZHATÓSÁG ÁLLAPOTVEKTORRA

Absztrakt

Az aperiodikusan alkalmazott katonai berendezések üzemelési életciklusuk alatt különböző (energiamentesen tárolt, periodikus teszt, feladatvégzés) üzemmódokban működnek. Üzem mód váltásokkor e berendezések hibaaránya ugrásszerűen változik. Az aperiodikusan alkalmazott katonai berendezések megbízhatóságát feladatvégzés üzemmódban az energiamentesen tárolt üzemmódot megszakító periodikus tesztek növelik. A hibaállapot vektorok diszkrét idejű vizsgálatkor a periodikus teszt a hibaállapot vektor korrekciójaként kezelhető. Ehhez korrigált átmenet-valószínűség mátrixra van szükség.

The aperiodic used military systems work in different (stored without energy, periodic test, task) mode during running lifecycle. The failure rates of these systems dramatically change at mode relay. The periodical test increases the reliability of the aperiodic used military systems on stored without energy mode. The periodical tests can be handled like correction of the error's state-vectors. It's needed the correction of the transition matrix.

Kulcsszavak: *periodikus teszt, hibaállapot vektor, átmenet-valószínűség mátrix ~ periodical test, error's state-vectors, transition matrix*

Bevezetés

Az aperiodikusan alkalmazott katonai berendezések tényleges feladatvégzése viszonylag rövid (1 – 10 nap) időtartamú és folyamatos üzemmódú. Két feladatvégzés között az eszköz hónapokig nem működik, az irányító berendezése energiamentesen tárolt állapotban van. A haditechnikai eszközök automatikus (autonóm felderítő robotrepülőgépek, mobilrobotok, egyszer használatos rádiólokációs zavaró berendezések, stb.), vagy félautomatikus (ember által távvezérelt bonyolult légvédelmi rakéta komplexumok, radarberendezések, távvezérelt robotok, stb.) berendezései gyakran ilyenek.

A feladatvégzések között periodikusan végzett ellenőrző teszt célja az üzemelés-megbízhatóság növelése. Az eltérő üzemmódok következménye, hogy az aperiodikusan

alkalmazott katonai berendezések λ meghibásodási hibaaránya nem állandó az üzemeltetés életciklus¹ alatt.

Az aperiodikusan alkalmazott katonai berendezések irányítórendszer megbízhatóság analizéséhez a diszkrét idejű Markov analizis módszert választottam. Az előző [1] cikkemben már rámutattam az 1002D hardverstruktúrájú irányítórendszer előnyeire és a hét meghibásodás állapotot tartalmazó Markov gráf alkalmazását a berendezés megbízhatóságának vizsgálatára.

Az energiamentesen tárolt állapotot megszakító ellenőrző tesztek esetén az IEC 61508 tesztlefedettség (DC) fogalma nem alkalmazható², ezért a szabványtól eltérően kell értelmezni a tesztlefedettség fogalmát. Az energiamentes állapotot megszakító ellenőrző teszt során a detektált hibák kijavításra kerülnek, ezért az ellenőrzött részegységek, és a műveletek aránya befolyásolja a teszt által detektálható hibák arányát. Ennek mértékét a C_M tesztlefedettség határozza meg. Hipotézisem szerint az aperiodikusan alkalmazott eszközökre a tesztlefedettség az irányítási rendszer ellenőrzött részegységei és műveletei, valamint az összes részegység és művelet hányadosa:

$$C_M = \frac{\sum \lambda_{0D} (\text{ellenőrzött részegység} + \text{ellenőrzött művelet})}{\sum (\text{részegység} + \text{művelet})} \quad (1.)$$

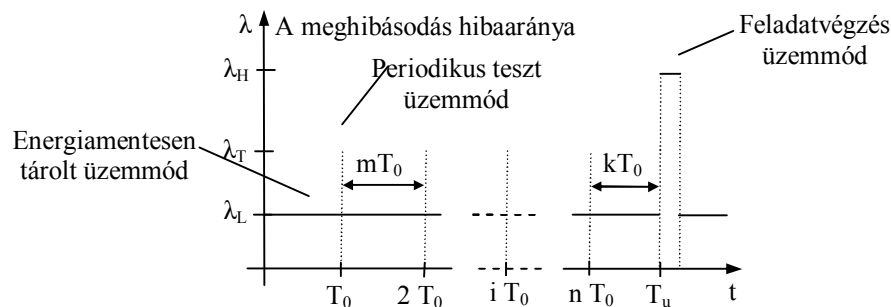
ahol a részegység a rendszer közös hibajellemzőkkel leírt része, a művelet a berendezés által a feladatvégzés üzemmódban megkívánt feladatsor, a λ_{0D} a detektált kezelhető és a detektált veszélyes hibaarányok összege.

Az állapotvektorok meghatározása diszkrét időpontokban

Legyen T_u a feladatvégzés megkezdéséig eltelt idő:

$$T_u = (n \cdot m + k)T_0 \quad (2.)$$

ahol T_0 a diszkrét idejű vizsgálat mintavételi ideje, „n” a periodikus tesztek száma, „ mT_0 ” két teszt közötti energiamentesen tárolt állapot időtartama, és „ kT_0 ” az utolsó teszt és a feladatvégzés kezdete közötti időintervallum.



1. ábra. Aperiodikusan alkalmazott katonai berendezések váltakozó hibaaránya

A berendezések hibaarányát normál üzemi körülményekre határozzák meg. Az 1. ábrán a normál üzemi körülmények a periodikus teszt üzemállapothoz tartoznak. Legyen ez a hibaarány λ_T . Szakszerű tárolás esetén az energiamentesen tárolt állapotban – a hőhatások és a

¹ Safety Lifecycle: Az IEC61508 szabvány [2] az üzembiztonság életciklus fogalma lefedi a tervezéstől, a rendszer vagy berendezés üzembe-helyezésén és üzemeltetésén át a szakszerű leszereléséig a megbízható működést szolgáló eljárások szabványos módszereit.

² A DC a szabvány definíciója szerint a detektált és az összes veszélyes hiba aránya.

mechanikai terhelések hiánya miatt – nagyjából egy nagyságrenddel³ kisebb ($\lambda_L = h_L \cdot \lambda_T$) ez a hibaarány. A katonai berendezések feladatvégzés üzemelési körülményei általában megterhelőbbek a normálisénál, ezért ez a hibaarány ($\lambda_M = h_M \cdot \lambda_T$) nagyobb⁴.

Amennyiben $\overline{\overline{T}}_L$ az energiamentesen tárolt, $\overline{\overline{T}}_T$ a periodikus teszt, és $\overline{\overline{T}}_M$ a feladatvégzés üzemmódhoz tartozó átmenet-valószínűség mátrix és a kezdeti hibátlan állapotot állapotvektora $\overline{S}(0) = [1 \ 0 \ \dots \ 0]$, akkor az első T_0 diszkrét időintervallumhoz tartozó hibaállapot vektora a 2. kifejezéssel határozhatjuk meg.

$$\overline{S}(1) = \overline{S}(0) \overline{\overline{T}}_L \quad (3.)$$

A hibaállapot vektor az első teszthez tartozó időperiódusban, amennyiben a berendezés hibamentesen üzemel teszt üzemmódban és ennek tényét sem vesszük figyelembe:

$$\overline{S}(m) = \overline{S}(0) \overline{\overline{T}}_L^{\overline{\overline{(m-1)}}} \overline{\overline{T}}_T \quad (4.)$$

Az előzőekhez hasonló feltételek mellett a feladatvégzés megkezdődésekor a hibaállapot vektor:

$$\overline{S}(m \cdot n + k) = \overline{S}(0) \left(\prod_{i=1}^n \overline{\overline{T}}_L^{\overline{\overline{(m-1)}}} \overline{\overline{T}}_T \right) \overline{\overline{T}}_L^{\overline{\overline{k}}} \quad (5.)$$

Az energiamentes állapotot megszakító tesztek célja a hibák felderítése, kijavítása, és így a meghibásodás-valószínűség csökkentése. Ezért az $(i \cdot m)T_0$ időperiódusokban a hibák felderítését és kijavítását modellező állapot-korrekciónak kell megvalósítani, vagyis a 4. és 5. kifejezésekben a $\overline{\overline{T}}_L$ átmenet-valószínűség mátrix helyett $\overline{\overline{T}}_{\text{kor}}$ módosított átmenet-valószínűség mátrixot kell alkalmazni.

Bár a végső vizsgálatokhoz elegendő lenne az $\overline{S}(i)$ állapotvektorok diszkrét idejű sorozata, a 4. kifejezés korrekt meghatározása érdekében mégsem elegendő, hogy az $\overline{S}(i \cdot m)$ állapotvektort lecseréljük $\overline{S}_{\text{kor}}(i \cdot m)$ állapotvektorra. Ellenőrző tesztekhez a következő műveletsort kell végrehajtani:

$$\overline{S}(i \cdot m - 1) = \overline{S}(0) \overline{\overline{T}}_L^{\overline{\overline{(i \cdot m - 1)}}} \quad (6.a.)$$

$$\overline{S}(i \cdot m) = \overline{S}_{\text{kor}}(i \cdot m) = \overline{S}(0) \overline{\overline{T}}_{\text{kor}}(i \cdot m) \quad (6.b.)$$

$$\overline{S}(i \cdot m + 1) = \overline{S}(0) \overline{\overline{T}}_{\text{kor}}(i \cdot m) \cdot \overline{\overline{T}}_M \quad (6.c.)$$

A $\overline{\overline{T}}_{\text{kor}}(i \cdot m)$ átmenet-valószínűségmátrix időben változó érték és minden $i \cdot m \cdot T_0$ időintervallumban meg kell határozni. A $\overline{\overline{T}}_{\text{kor}}(i \cdot m)$ sorainak meghatározása:

- A $\overline{\overline{T}}_{\text{kor}}(i \cdot m)$ mátrix első sorának az $\overline{S}_{\text{kor}}(i \cdot m)$ állapotvektorral⁵ azonos.
Az, hogy a $\overline{\overline{T}}_{\text{kor}}(i \cdot m)$ állapotvalószínűség mátrix első sora megegyezik a $\overline{S}_{\text{kor}}(i \cdot m)$ állapotvektorral következik a 2. kifejezésből.
- A $\overline{\overline{T}}_{\text{kor}}(i \cdot m)$ mátrix második és harmadik sorai az eredeti $\overline{\overline{T}}_L$ állapotvalószínűség mátrix megfelelő sorai, de a tesztlefedettség tökéletlensége miatt az adott sornak megfelelően korrigálni kell.

³ A közel három évtizede gyűjtött FARADIP eszköz meghibásodási adatbázis alapján.

⁴ Ugyancsak a FARADIP eszköz meghibásodási adatbázis alapján, az üzemelés körülményeitől függően, kétszeres és négyszeres érték között ilyenkor a hibaarány.

⁵ Az $\overline{S}_{\text{kor}}(i \cdot m)$ állapotvektor kiszámításának módszerét a következő fejezetben mutatom be.

A teszt során vagy az derül ki, hogy nincs ebben a hibaállapotban a rendszer, vagy ha mégis akkor a hiba kijavításra kerül. A tesztlefedettség tökéletlensége miatt nem áll helyre az eredeti állapot. A hibavalószínűségeket a kiindulási állapothoz képest konstans $1+(1-C_M)$ tényezővel kell felszorozni. A második sorhoz szükség van az $\bar{I}_2 = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$, a harmadik sorhoz az $\bar{I}_3 = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$ segédvektorokra.

$$2. \text{ sor: } \bar{T}_{\text{kor}} [2, :] = (\bar{T}_L - \bar{I}_2) \cdot (2 - C_M) + \bar{I}_2 \quad (7.a.)$$

$$3. \text{ sor: } \bar{T}_{\text{kor}} [3, :] = (\bar{T}_L - \bar{I}_3) \cdot (2 - C_M) + \bar{I}_3 \quad (7.b.)$$

- A $\bar{T}_{\text{kor}}(i \cdot m)$ mátrix negyedik és ötödik sorai megegyeznek a $\bar{T}_L^{(i \cdot m)}$ mátrix negyedik és ötödik sorával.
A hét hibaállapotot tartalmazó modellben [1] a negyedik és az ötödik állapot a kezelőszemélyzet számára felderítetlen marad, ezért a $\bar{T}_L^{(i \cdot m-1)} \cdot \bar{T}_L$ mátrixszorzat és a \bar{T}_{kor} korrigált állapotvalószínűség mátrix negyedik és az ötödik sora nem különbözhetnek egymástól.
- A $\bar{T}_{\text{kor}}(i \cdot m)$ mátrix hatodik és hetedik sorai az eredeti \bar{T}_L állapotvalószínűség mátrix megfelelő soraival egyeznek meg.
A hét hibaállapotot tartalmazó modellben a hatodik és hetedik állapot nyelő típusú. Ha az ellenőrző teszt közben a rendszer ezek az állapotok valamelyikébe kerül, akkor működésképtelenné válik, vagyis a hiba nem maradhat rejtve! Ezért a javítás utáni állapot az eredeti \bar{T}_L állapotvalószínűség mátrixnak megfelelő.

Az állapotvektor korrekció

Az energiamentesen tárolt állapotot megszakító periodikus teszt üzemmódban a hiba észlelését és javíttatását az állapot-valószínűségek korrekcióival kell figyelembe venni. A valószínűségállapotok korrekciójára, vagyis az $\bar{S}_{\text{kor}}(i \cdot m)$ hibaállapot vektorok meghatározására az egyik tanulmányomban **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** már a következő javaslatot tettem: a detektálható hibás állapotok korrekciója a hibaállapotok előfordulás valószínűségével súlyozottan történjen. Mivel csak statisztikai valószínűség adható meg, hogy melyik hibaállapot milyen valószínűséggel következik be, ezért a sikeres működés valószínűsége a hibaelhárítás okozta átlagos javulás mértékével emelkedjen meg és ennek megfelelően a hibás állapotok valószínűsége együttesen az átlagos javulás mértékével csökkenjen.⁶

Matematikailag ez a következőképpen valósítható meg: legyen az \bar{S}_x sorvektor elemei azon állapotok, amelyekben a kezelőszemélyzet a $(m-1)T_0$ időtartam eltelte után végrehajtott teszt közben hibát észlelhet és $\bar{V}_x(i \cdot m) = \bar{S}_x(i \cdot m) - \bar{S}_x(1)$ a hibaállapotok mT_0 időpontban és az üzembe helyezéskor létező hibavalószínűségük különbségei, vagyis \bar{V}_x a maximális javíthatóság sorvektora:

$$\bar{V}_x(i \cdot m) = [S_2(i \cdot m) - S_2(1) \quad S_3(i \cdot m) - S_3(1) \quad S_6(i \cdot m) - S_6(1) \quad S_7(i \cdot m) - S_7(1)] \quad (8.)$$

⁶ Megjegyzés: Az elvégzett teszt alatt csak egy konkrét hibaállapotba kerülhet az eszköz. A fenti javaslat ezt úgy veszi figyelembe, hogy a hibaállapotok az előfordulásuk valószínűségének megfelelően vannak súlyozva, vagyis azt a trivialiszt feltételezi, hogy az üzemelési élettartam alatt a hibavalószínűségeknek megfelelő gyakorisággal fordulnak elő a hibák. [4]

A $\bar{V}_x(m) = [v_{x1} \ v_{x2} \ \dots \ v_{xx}]$ sorvektor x darab elemének átlagértékét (v_{xavg}) meghatározva a $v_{xavg}(m)$ átlagos javulás mértéket kapjuk meg. Az mT_0 időintervallumokban végrehajtott teszt által feltárt hibák kijavítását követően következik be a berendezés átlagos javulása. Az átlagos javulás mértéke a kezdeti állapot helyreállítását feltételezi, ezért az értékét módosítja a C_M tesztlefedettség.

$$v_{xavg}(k) = \frac{C_M}{X} \text{Sum} \{V_x(k)\} \quad (9.)$$

ahol az x azon állapotok száma, amelyben a kezelőszemélyzet hibát észlelhet.

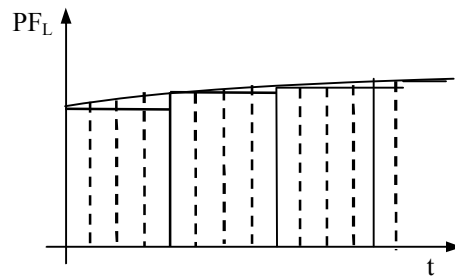
Ennek megfelelően a hét összevont hibaállapotot tartalmazó, 1002D hardver struktúrájú irányítási modell esetén a kezelőszemélyzet által kT_0 időtartam eltelte után végrehajtott teszt során észlelt \bar{S}_x hibaállapot és \bar{V}_x maximális javíthatóság sorvektor a következő:

$$\bar{S}_x(k) = [S_2(k) \ S_3(k) \ S_6(k) \ S_7(k)] \quad (10.a.)$$

$$\begin{aligned} \bar{V}_x(k) &= [S_2(k) - S_2(1) \ S_3(k) - S_3(1) \ S_6(k) - S_6(1) \ S_7(k) - S_7(1)] = \\ &= [v_{x1}(k) \ v_{x2}(k) \ v_{x3}(k) \ v_{x4}(k)] \end{aligned} \quad (10.b.)$$

Tekintve, hogy az irányítási rendszer energiamentes állapotát megszakító periodikus teszt rövid a két teszt közötti mT_0 időintervallumhoz képest, megfelelő időalap választással a sikeres működés illetve az állapotok hibavalószínűségének korrekciója egyetlen időintervallumban bekövetkező változásként vehető figyelembe.

A periodikus tesztekkel megszakított, energiamentesen tárolt üzemiállapot több hónapig, esetleg évekig tart. A T_0 [h^{-1}] időalap alkalmazásával több ezer $\bar{S}(k)$ állapotvektort kell kiszámítani úgy, hogy a \bar{T}_L átmenet valószínűségmátrix értékei nagyon kicsik. A kerekítési problémák miatt a \bar{T}_L átmenet valószínűségmátrix elemeit duplaszó formátumúra kell választani. A duplaszó formátumú, nagyon nagyméretű mátrixszal végzett műveletek komoly számítási erőforrást igényelnek.



2. ábra. Az időalap konverzió hibája

(Készítette: Neszveda József)

A PF_L hibavalószínűség diszkrét idejű kiszámítása integrálszámítás jellegű (2. ábra). Az energiamentesen tárolt állapotban nagyjából egy nagyságrenddel csökken a λ hibaarány a folytonos üzemelés üzemmódhoz képest, ezért $PF_L(t)$ időbeni változása lassúbb. Ennek következtében az 1 óránál nagyobb időlépték választás, vagyis egy napos időalapra történő időkonverzió okozta hiba elhanyagolható.

Egy nap még modulcserével megvalósítható kisebb javításokkal együtt is elegendő az időszakos teszt végrehajtására. Ez az időalap választás csökkenti a túlságosan kis számértékeknél fellépő kerekítési problémát, és egyben összhangban van az időszakos teszt egyetlen időperiódusban végrehajthatott állapot-korrekcióként való kezelésével. Ezért

vezessük be az egynapos ($T_N = 24$ [h]) időegységet a periodikus tesztekkel megszakított, energiamentesen tárolt állapot vizsgálatára. Az időegységváltás hatása a hibaarányra:

$$\lambda_N \left[\frac{1}{24} h^{-1} \right] = h_N \cdot \lambda_H \left[h^{-1} \right] \quad (h_N = 24.) \quad (11.)$$

Az mT_0 időintervallumban végrehajtott teszt által feltárt hibák kijavítása következtében a [1] cikkben megadott modell hét állapotának hibavalószínűség változásait egyetlen időperiódusként kezelve a korrigált állapot-valószínűség értékek a következők:

$$S_1(m) = S_1(m-1) + v_{xavg}(m) \quad (12.a.)$$

$$S_2(m) = S_2(m-1) - v_{xavg}(m) \frac{S_2(m-1)}{S_2(m-1) + S_3(m-1) + S_6(m-1) + S_7(m-1)} \quad (12.b.)$$

$$S_3(m) = S_3(m-1) - v_{xavg}(m) \frac{S_2(m-1)}{S_2(m-1) + S_3(m-1) + S_6(m-1) + S_7(m-1)} \quad (12.c.)$$

$$S_4(m) = S_4(m-1) \quad (12.d.)$$

$$S_5(m) = S_5(m-1) \quad (12.e.)$$

$$S_6(m) = S_6(m-1) - v_{xavg}(m) \frac{S_2(m-1)}{S_2(m-1) + S_3(m-1) + S_6(m-1) + S_7(m-1)} \quad (12.f.)$$

$$S_7(m) = S_7(m-1) - v_{xavg}(m) \frac{S_2(m-1)}{S_2(m-1) + S_3(m-1) + S_6(m-1) + S_7(m-1)} \quad (12.g.)$$

A 12.a. kifejezés a sikeres működés átlagos javulását tartalmazza. A 12.d. és a 12.e. kifejezésekből következik, hogy az S_4 és S_5 állapot-valószínűség értékek nem változnak.

A 12.b., 12.c., 12.f. és 12.g. kifejezések tartalmazzák a meghibásodás valószínűségek súlyozott csökkenését. Ezekben a kifejezésekben szerepel az $\bar{S}_x(k)$ sorvektor sorösszege. Ezért a további számításokhoz célszerű ezt meghatározni:

$$s_x(m) = \text{Sum} \{ \bar{S}_x(m) \} \quad (13.)$$

Behelyettesítve az $s_x(k)$ értékét azon 12. kifejezésekbe, amelyek a korrekció következtében változnak, majd rendezve azokat a következő sorvektor elemeket kapjuk:

$$S_1(m) = S_1(m-1) + v_{xavg}(m) \quad (14.a.)$$

$$S_2(m) = S_2(m-1) \left\{ 1 - \frac{v_{xavg}(m)}{s_x(m)} \right\} \quad (14.b.)$$

$$S_3(m) = S_3(m-1) \left\{ 1 - \frac{v_{xavg}(m)}{s_x(m)} \right\} \quad (14.c.)$$

$$S_6(m) = S_6(m-1) \left\{ 1 - \frac{v_{xavg}(m)}{s_x(m)} \right\} \quad (14.d.)$$

$$S_7(m) = S_7(m-1) \left\{ 1 - \frac{v_{xavg}(m)}{s_x(m)} \right\} \quad (14.e.)$$

Az algoritmizálhatóság érdekében vezessük be a sikeres működés valószínűségének átlagos növekedését tartalmazó $\bar{V}(k)$ vektor-változót.

$$\bar{V}(m) = \left[v_{xavg}(m) \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \right] \quad (15.)$$

A periodikus teszt állapot-konverzióját leíró 3.24.b ... 3.24.e kifejezésekhez most vezessük be a hibaállapotban maradás csökkenő valószínűségét tartalmazó $\bar{W}(k)$ vektorváltozót:

$$\overline{W}(m) = [1 \quad wa(m) \quad wa(m) \quad 1 \quad 1 \quad wa(m) \quad wa(m)] \quad (16.)$$

ahol a 14. kifejezésekben szereplő $wa(m) = 1 - \frac{v_{xavg}(m)}{s_x(m)}$ érték.

A végrehajtott teszt során észlelt hibák kijavitása után bekövetkező állapotkorrekció utáni $\overline{S}_{kor}(m)$ állapotvalószínűség vektor az alábbi vektorművelet formulával számítható:

$$\overline{S}_{kor}(m) = \left\{ \text{Diag} \left(\overline{W}^T(m) \overline{S}(m-1) \right) + \overline{V}^T(m) \right\}^T \quad (17.)$$

Az átmenet-valószínűség mátrix konvertálása

Amennyiben \overline{T}_1 átmenet-valószínűség mátrix nem tartalmaz μ helyreállítási arányt⁷, és a λ hibaarány ugrásszerű változását egy \overline{T}_1 átmenet-valószínűség mátrix elemein akarjuk érvényesíteni, akkor az \overline{I} egységmátrixot kivonva a \overline{T}_1 átmenet-valószínűség mátrixból a \overline{P}_1 meghibásodás-valószínűség mátrixot kapjuk. Beszorozva $(\overline{P}_1 \cdot \lambda)$ kapjuk az új \overline{P}_2 meghibásodás-valószínűség mátrixot, amihez az \overline{I} egységmátrixot hozzáadva megkapjuk az új \overline{T}_2 átmenet-valószínűség mátrixot.

$$\overline{T}_2 = \left(\overline{T}_1 - \overline{I} \right) \cdot \lambda + \overline{I} \quad (18.)$$

A 18. kifejezéssel megvalósítható a váltás a \overline{T}_T és a \overline{T}_L átmenet-valószínűség mátrixok között.

A számítási erőforrás igény csökkentése

A 6. kifejezés alkalmazása az $\overline{S}(k)$ állapot-vektorok kiszámításához nagy számítógépes erőforrást igényel. A számítási kapacitásigényt nagymértékben csökkenti a rekurzív formula alkalmazása.

$$\overline{S}(i) = \overline{S}(0) \overline{T}^i \quad (19.a.)$$

$$\overline{T}(i) = \overline{T}^i \quad (19.b.)$$

$$\overline{T}^i = \overline{T}(i) \overline{T} \quad (19.c.)$$

A periodikus ellenőrző tesztek gyakoriságának és a teszt lefedettségének optimalizálása, ami a folytonos üzemű technológiákra már megoldott volt [6], a 6., 17., 18., 19. kifejezésekkel és a $\overline{T}_{kor}(i \cdot m)$ sorainak meghatározásának szabályaival megvalósítható.

⁷ Ha figyelembe kell venni a μ helyreállítási arányt, akkor az \overline{I} egységmátrix helyet egy olyan \overline{N} mátrixot kell alkalmazni, amelynek főátlója csupa 1-es és a megfelelő pozíciókban tartalmazza a μ helyreállítási arányt.

Irodalom

- [1] Neszveda, József: *Numerikus modell IMET eszközök megbízhatósági szintjének vizsgálatára* ZMNE, Hadmérnök, 2008. III. évf. 4. szám.
- [2] IEC 61508. *Functional safety of Electrical/Electronic/Programmable electronic Safety-Related Systems*, 1998.
- [3] Neszveda, József: *Safety Lifecycle of Intermittently Operated Device*, Academic and Applied Research in Military Science, Volume, Issue, 2009.
- [4] Smith, David J.: *Reliability, Maintainability, and Risk: Practical Methods for Engineers*. 6th edition. Butterworth-Heinemann, 2001, ISBN: 978-0-7506-6694-7
- [5] MATHWORKS, INC: “*Matlab 2008b HELP*”, 2008.
- [6] Torres-Echeveria, A.C., Martorell, S., Thompson, H. A.: *Modeling and optimization of proof testing policies for safety instrumented systems*, Elsevier Journal: Reliability Engineering and System Safety, 2009.