

Javaslat a rendszer megbízhatóság előrejelzés pontosságának javítására

DR. FARKAS GYÖRGY—DR. FÖLDEVÁRI RUDOLF
BME Híradástechnikai Elektronika Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A berendezések ténylegesen tapasztalható megbízhatósága lényegesen jobb, mint az előrejelzett érték. A szerzők ennek az ismert ellentmondásnak az okait elemzik és a feloldására egy becslési módszert javasolnak az ún. „1/3 törvény” (rule of 1/3 failure) alkalmazása helyett.

Bevezetés

Az elektronikai ipar gyors fejlődése következtében a berendezések megbízhatósági paramétereit akkor kell specifikálni, amikor a berendezések üzemeltetésére, szervizére vonatkozó tapasztalatok még nem állnak rendelkezésre. Új berendezések rendszerének és áramköreinek tervezésekor is figyelembe kell venni megbízhatósági szempontokat. Ebben a stádiumban csak az alkatrész megbízhatósági adatokból lehet a berendezés paramétereit becsülni. Általános nemzetközi tapasztalat, hogy az alkatrészek a berendezésben megbízhatóbbnak mutatkoznak, mint az a laboratóriumi vizsgálatok eredményeiből várható, azaz a berendezés ténylegesen tapasztalható megbízhatósága lényegesen jobb mint az előrejelzett érték. [1].

A BME Híradástechnikai Elektronika Intézet több mint egy évtizede rendszeresen együttműködik vállalatokkal és kutatóintézetekkel a megbízhatósággal kapcsolatos feladataik megoldásában. E tevékenység során szerzett tapasztalatok az elmondottakat messzemenően alátámasztották, ezért szükségessé vált előrejelzett és a tényleges paraméterek közötti szignifikáns eltérés okainak vizsgálata.

Jelen munkában ezen okokkal, majd az irodalomból ismert és általánosan használt becslésnél kedvezőbb előrejelzést szolgáltatató számítási módszerrel foglalkozunk.

Az előrejelzett és a tapasztalt megbízhatóság közötti eltérések okai

A megbízhatóságelmélet alapösszefüggései szerint a logikailag soros alkatrészek eredő meghibásodási tényezője az alkatrészek meghibásodási tényezőjének összege. Ez az összefüggés akkor ad helyes eredményt, ha ismerjük az alkatrészek üzemi körülményeknek megfelelő meghibásodási tényezőjét. A gyakorlatban rendelkezésünkre álló meghibásodási tényező azonban nem az üzemi körülményekre vonatkozik, és sok esetben nem egy pontos hanem egy pesszimális érték.

Elhangzott a HTE Megbízhatóság és Minőségügyi Bizottsága által 1986. ápr. 23-án rendezett „Megbízhatóság, minőség-szabályozás és gazdaságosság” szemináriumán Kecskeméten.

DR. FARKAS GYÖRGY

egyetemi docens. A Budapesti Műszaki Egyetem 1957-ben villamosmérnöki oklevelet, a Drezdai Műszaki Egyetemen 1977-ben Dr.-Ing. fokozatot szerzett. 1980-ban megkapta „a műszaki tudományok kandidátusa” címet.

A BME Híradástechnikai Elektronikai Intézetében Méreştechnikával és konstrukcióval kapcsolatos tárgyak előadója. Kutatótevékenységét a megbízhatóság területén végezte, elsősorban bonyolult elektronikus rendszerek megbízhatósági analizisével foglalkozik.

A gyakorlati tapasztalatok alapján az előrejelzés pontosságát befolyásoló okok legcélszerűbben a következőképpen csoportosíthatók:

a) A derating modell hibája

Az alkatrészek meghibásodási tényezőjére a gyártók általában egy névleges értéket specifikálnak, amely laboratóriumi vizsgálatok eredménye. Az alkatrészek azonban nem laboratóriumi, hanem rendszerint enyhébb körülmények között működnek.

Nevezük a környezeti igénybevételek és a funkcionális terhelés összességét stressznek. A megbízhatósági paramétereket a névlegestől eltérő stressznek megfelelően át kell számítani és a számítás gyakran helytelen eredményre vezet. Úgy tűnik, hogy a stress modellek pl. a névleges terhelés kb. 1/10-e alatt már nem írják le jól az alkatrészek tényleges viselkedését. Ha egy berendezés sok, gyakorlatilag terheletlen alkatrészt tartalmaz, (pl. átviteltechnikai berendezések csillapítói, szűrői stb.) akkor különösen nagy eltérés adódhat a számított és a tényleges rendszerparaméterek között. A kézenfekvő megoldás az lenne, hogy terheletlen alkatrészek laboratóriumi vizsgálatából határoznánk meg az alkatrészek megbízhatósági adatait. Ennek a vizsgálatnak leggyakrabban az az eredménye, hogy nagy darabszám és hosszú vizsgálati idő alatt sem fordul elő meghibásodás. Így csak egyoldali konfidencia intervallum adható meg. Erre a kérdésre a későbbiekben még visszatérünk.

b) A hibakritériumok eltérése

A laboratóriumi vizsgálatok során és az üzemeltetés-kor nemcsak a stress adatok térnek el, hanem különbözőek lehetnek azok a határértékek is, amelyeket túllépve hibásnak minősítünk egy alkatrészt. Az üzemelő készülékben rendszerint az adott alkatrésznek nem valamennyi hibatípusa idéz elő berendezéshibát. A gyakorlati számítások javíthatók, ha az egyes alkatrészeket többféle megbízhatósági adattal vesszük figyelembe, pl. degradációs-katasztrofális, és open-short típusú meghibásodási tényezővel. Egy részletes tolerancia-analízis elvileg még pontosabb becslést tenne

lehetővé, mint a fenti durva hibakategorizálás, azonban az analízist nemcsak a feladat méretei hiúsítják meg, hanem az is, hogy az alkatrészekre vonatkozó összefüggések sem állnak rendelkezésre.

c) A paraméterbecslések ellentmondásai

Berendezés-megbízhatóság számításához az alkatrészek, illetve a részegységek pontbecsléssel előállított adatai lennének szükségesek. Sok esetben azonban az alkatrészek megbízhatóságát egyoldalas konfidencia tartománnyal specifikálják, és az ilyen adatok alapján számított rendszerparaméterek túlzottan pesszimálisak. Az alkatrészek minőségének állandó javulása következtében nemcsak terheletlen alkatrészek vizsgálata során, hanem még forszírozott igénybevétel esetén is egyre gyakoribb, hogy egyetlen meghibásodás sem történik a vizsgálati idő alatt. Ezekben az esetben a paraméterre kizárólag egyoldalas konfidencia intervallum adható meg, amelyet általában 60 vagy 90%-os konfidenciaszinthez számítanak. Ez azt jelenti, hogy ilyen valószínűséggel bármilyen mértékben jobb lehet a tényleges paraméter a specifikáltnál. Az így specifikált adat jellemzi az alkatrész megbízhatóságát és alkalmas arra, hogy más alkatrészek hasonló adataival összevegyjük. Nem alkalmas azonban arra, hogy közvetlenül rendszerparaméter becslésére használjuk, mert már a legegyszerűbb soros rendszerben is nagyságrendi számítási hibák keletkezhetnek, ha az eredő meghibásodási tényezőt az alkatrészek pesszimális meghibásodási tényezőjének összegével becsüljük. Soros rendszer eredő meghibásodási tényezőjének becslésére azonban ennél a pesszimálisnál lényegesen jobb becslés adható.

Javasolt becslési eljárás

Tételezzük fel, hogy egy jól megszervezett visszajelzési rendszerrel rendelkezünk üzemelő berendezések hibáiról. Továbbá legyen a visszajelzés körébe bevont berendezések javításpolitikája olyan, hogy a berendezéseket nemcsak rendszerhiba esetén javítják, hanem a redundáns részek hibáit is elhárítják. Ebben az esetben úgy tekinthető a megfigyelt berendezések halmaza, mint egy képzeletbeli (hipotetikus) soros berendezés. Másszóval több berendezésre vonatkozó megfigyelési adatokat, sőt a laboratóriumi vizsgálatok eredményeit is a hipotetikus berendezésben egyesítjük. Továbbá tételezzük fel, hogy e hipotetikus soros berendezés alkatrészei exponenciális eloszlás szerint hibásodnak meg, és az alkatrészek n homogén csoportba sorolhatók. (Azaz, hogy az egy csoporton belüli alkatrészek azonos meghibásodási tényezőjűek, és nem kevert eloszlásból származnak.) Ezek az alkatrész csoportok előző ismeretek alapján jól meghatározhatók. A csoportok, illetve alkatrészkategóriák adatait „eszközóraban” célszerű számítani, azaz az i -edik kategóriára vonatkozó m különböző megfigyelés esetén

$$N_i T_i = \sum_{j=1}^m N_{ij} T_{ij}. \quad (1)$$

Vonatkoztassuk az egyes eszközórákat egy közös



DR. FÖLDVÁRI RUDOLF

egyetemi adjunktus, A Budapesti Műszaki Egyetemen

T_e időegységre, így valamennyi kategóriára írható, hogy

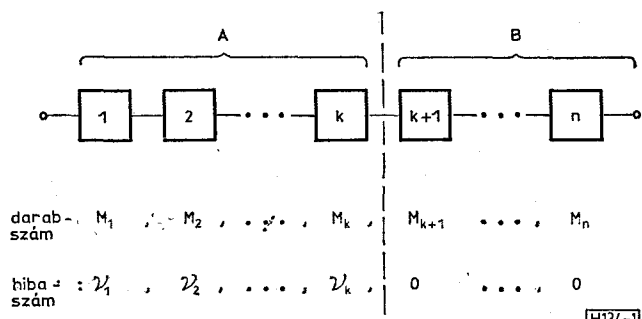
$$N_i T_i = M_i T_e. \quad (2)$$

A hipotetikus berendezés tehát úgy is felfogható, hogy T_e ideig működött, és az egyes kategóriákban M_i alkatrészt tartalmaz. Az i -edik kategóriában T_e idő alatt bekövetkezett meghibásodások száma ($v_i(T_e)$) azonnali csere esetén Poisson eloszlású valószínűségi változó. Így a $v_i(T_e)$ elégséges statisztika függvényében λ_i hatásos becslése a következő:

$$\hat{\lambda}_i = \frac{v_i(T_e)}{M_i T_e} \quad (3)$$

ha $v_i(T_e) \geq 1$.

Azokat az alkatrész kategóriákat, amelyekben a bekövetkezett hibák száma $v_i(T_e) \geq 1$, jelöljük $i = 1, 2, \dots, k$ index-el. Azokat a kategóriákat pedig amelyekben nem észleltünk hibát ($v_i(T_e) = 0$) jelöljük $i = k+1, k+2, \dots, n$ index-el. Így a hipotetikus berendezés az ábrának megfelelően **A** és **B** részre osztható.



1. ábra. Hipotetikus berendezés modellje

Egy új berendezés, vagy a megfigyelték közül valamelyik berendezés eredő meghibásodási tényezőjére a következőképpen adhatunk becslést. Jelöljük a tényleges berendezés alkatrész darabszámait N_i -vel, és azokat az alkatrész kategóriákat, amelyekből nem tartalmaz elemet a tényleges berendezés, töröljük a hipotetikus berendezés kategóriáiból.

Az első rész (A) minden kategóriájára a (3) szerinti becslés pontbecslés, és ennek a résznek az eredő meghibásodási tényezője

$$\hat{\lambda}_A = \sum_{i=1}^k \hat{\lambda}_i N_i \quad (4)$$

összefüggéssel adható meg.

A második rész (B) meghibásodási tényezőjére pontbecslés nem adható, de a hipotetikus berendezés B része alapján egyoldali konfidencia intervallum határozható meg.

A hipotetikus berendezés B részének meghibásodási tényezőjét a

$$\hat{\lambda}_B = \frac{A_{1-\alpha}}{T_c} \quad (5)$$

összefüggéssel becsülhetjük, ahol $A_{1-\alpha}$ a konfidencia-szinttől függő konstans.

A tényleges berendezés B részének meghibásodási tényezője formálisan

$$\lambda_B^H = \sum_{i=k+1}^n \lambda_i N_i, \quad (6)$$

valamint a hipotetikus berendezés B részére szintén írható, hogy

$$\lambda_B^H = \sum_{i=k+1}^n \lambda_i M_i. \quad (7)$$

Tételezzük fel, hogy $N_i \ll M_i \forall i$ -re. Ha választunk egy olyan konstans, amely

$$C = \min \frac{M_i}{N_i}, \quad (8)$$

akkor (6) és (7) összevetéséből látható, hogy

$$\lambda_B^H \geq C \lambda_B \quad (9)$$

Ennek alapján a becsült értékekre vonatkozóan adódik:

$$\hat{\lambda}_B \leq \lambda_B^H / C. \quad (10)$$

Felhasználva az (5) és (8) összefüggéseket

$$\hat{\lambda}_B \leq \frac{A_{1-\alpha}}{T_c} \max \left(\frac{N_i}{M_i} \right), \quad (11)$$

továbbá a (2) egyenletből M_i értékét a (11) egyenletbe helyettesítve kapjuk, hogy

$$\hat{\lambda}_B \leq A_{1-\alpha} \max \left(\frac{N_i}{N_i T_i} \right). \quad (12)$$

Az általánosan szokásos becslés

$$\hat{\lambda}_B = \sum_{i=k+1}^n \frac{A_{1-\alpha}}{N_i T_i} N_i, \quad (13)$$

azaz az egyes alkatrész kategóriákra kiszámított egyoldali konfidencia intervallumok összegével becsülük az eredő meghibásodási tényezőt. Ez a becslés túlzottan pesszimális, és mint az a (12) és a (13) összehasonlításából jól látszik

$$A_{1-\alpha} \max \left(\frac{N_i}{N_i T_i} \right) \leq \sum_{i=k+1}^n A_{1-\alpha} \frac{N_i}{N_i T_i}, \quad (14)$$

azaz írható:

$$\hat{\lambda}_B \leq \hat{\lambda}_B^*, \quad (15)$$

ahol $\hat{\lambda}_B$ nem kisebb mint $(1-\alpha)$ szintű becslése λ_B értékének.

Általánosságban nem adható meg, hogy $\hat{\lambda}_B$ mennyivel kedvezőbb becslés mint $\hat{\lambda}_B^*$, ezért vizsgáljuk azt a legkedvezőtlenebb esetet, hogy a hipotetikus berendezés maga a vizsgált készülék. Ekkor $C=1$ és $T_1 = T_2 = \dots = T_i = T$, valamint $N_i = N_i$. Így a két becsült érték viszonyára a nullahibás (B) alkatrészcsoportok száma, azaz $n-k$ adódik. Ez nagyságrendnyi eltérést is eredményezhet a két becslés között.

Következtetés

Az elmondottakból adódik egy kézenfekvő eljárás. A szervizstatistikák alapján az alkatrész megbízhatósági adatbankban tároljuk a megfigyelt elemek számát, a megfigyelés időtartamát és a tapasztalt hibaszámot. Ezt az adatbankot a szerviz adatokkal állandóan kiegészítjük. Ennek eredményeként a konfidenciaintervallum egyre jobban szűkül, valamint azon kategóriák száma, amelyekben egy hiba sem következett be, fokozatosan csökken. Az ismertetett becslés egyre jobban fogja közelíteni egy berendezés tényleges eredő meghibásodási tényezőjét, sőt már a kezdeti szakaszban is jobb közelítést ad, mintha az alkatrészek egyoldali konfidenciaintervalluma összegéből képeznénk eredőt.

A meghibásodási tényező szokásos becslése ($\hat{\lambda}_B^*$) lényegesen kedvezőtlenebb, mint a megfigyelésből adódó tényleges érték, E közismert ellentmondás feloldására többen az „1/3 hiba törvény” alkalmazását szorgalmazzák, sőt nemzetközi ajánlasként való elfogadása is felmerült. Fenti törvény szerint azokban a kategóriákban, amelyekben nem történt hiba, a számítások során 1/3 hibaszámot kell figyelembe venni. Az így kapott eredmény egyes konkrét esetekben szolgáltathat jó közelítést, azonban általános érvényűnek nem tekinthető, mivel nem bizonyítható kapcsolat a tényleges meghibásodási tényező és a nulla hiba alapján becsült érték között. Ezért a (12) egyenlettel adott becslés ($\hat{\lambda}_B$) használatát javasoljuk.

Köszönetnyilvánítás

A cikk kidolgozása során Dr. Lajtha György a műszaki tudományok doktora és Balogh Albert a műszaki tudományok kandidátusa hasznos észrevételeket és javaslatokat tett. Az értékes segítségért a szerzők ezúton mondanak köszönetet.

IRODALOM

- [1] Gnyegyenko—Beljaev—Szolovjev: A megbízhatóság-elmélet matematikai módszerei. Műszaki Könyvkiadó 1970. Budapest.
- [2] G. Farkas: Praktische Probleme der Berechnung der Zuverlässigkeit elektronischer Einrichtungen. XX. Int. Wiss. Koll. TH. Ilmenau, 1975.
- [3] G. Farkas und K. Neumann: Die Bestimmung der Zuverlässigkeitsparameter nichtredundanten elektronischer Einrichtungen. Nachrichtentechnik Elektronik, 1976.
- [4] L. Jereb—G. Farkas: Analysis of Availability in Telecommunication Services 4th Symposium on Reliability in Electronics. Budapest, 1977.

- [5] *Farkas Gy., Jereb L.*: Távközlő-szolgáltatás használhatóságának számítása. PKI Közlemények 1978/22.
- [6] *G. Farkas*: Bestimmung der Zuverlässigkeits- und Verfügbarkeitsparameter von fernmeldetechnischen und datenverarbeitenden Systemen. Fernmeldetechnik. 1978.
- [7] *Farkas Gy., Földvári R.*: A REMAN programrendszer dokumentációja BME—HEI 1981.
- [8] *Farkas Gy., Földvári R., Jereb L.*: Megbízhatóságbiztosítás (OKKFI tanulmány) BME—HEI 1984.
- [9] *Bereczkiné, Farkas, Földvári, Jereb, Osváth, Énekes*: A VEGA űrszonda megbízhatósági elemzése. (Tanulmány) BME—HEI 1984.
- [10] *Farkas Gy., Földvári R., Jereb L., Osváth L.*: PILLE sugárzásmérő megbízhatósági és biztonságtechnikai analízise. (Payload Hazard Report a NASA részére) BME—HEI 1984.
- [11] *B. Tigerman, O. A.*: Correlation between Predicted and Observed Reliability for Telecommunication Transmission Equipment. Relectronic'82 Budapest, 1982.