

Nagybonyolultságú elektronikai távközlő rendszerek meghibásodási intenzitásának számítógépes előrejelzése*

NITSCH, R.

Zentrallaborium für Nachrichtentechnik Siemens AG, München

ÖSSZEFOGLALÁS

Távközlő rendszerek hardver meghibásodási intenzitásának előrejelzésére a QESAR nevű szoftver-programcsomagot alkalmazták. A számítógép számára szükséges bemenő információkat az u.n. rendszer minőségi jegyzék és az u.n. modul minőségi jegyzékek tartalmazzák. Az üzemi környezet paramétereinek rendszeren belüli, helyi különbségelt a számítási program figyelembe veszi. Többféle előrejelzési módszer és jelentés-formátum választható.

Bevezetés

Az elektronikai távközlő rendszerektől — különösképpen a kapcsolástechnikai eszközöktől — ma igen nagy megbízhatóságot szokás elvárni. A legszigorúbb követelményeket a használhatósággal szemben támasztják: évente csupán néhány percnyi teljes üzemkiesés engedhető meg ezeknél az eszközöknél. E magas megbízhatósági szintet 15-25 éves hasznos élettartam idejére kívánják meg, ami az elektronikai áramkörtervezéstől csúcsteljesítmény nyújtását követeli meg. Annak érdekében, hogy ezeket a követelményeket teljesíthessék, életbevágóan fontos a fejlesztés alatt álló készülék vagy rendszere hardver meghibásodási intenzitásáról mihamarabb információt szerezni. Ezek az információk azért szükségesek, hogy a javítások közti átlagidőt, a karbantartó személyzet kiképzési programját valamint a tartóalkatrészek és egységek mennyiségét becsülni lehessen.

A használhatóság természetesen nemcsak a hardver kialakításában rejlő redundanciáktól és az átlagos javítási időtől is függ. A meghibásodási intenzitás ismerete azonban elengedhetetlen bármiféle használhatósági számításhoz. A meghibásodási intenzitás modul- vagy rendszer-szintű előrejelzése számítógép igénybevétele nélkül körülményes, fárasztó feladat.

A bonyolult nagy rendszereket ritkán gyártják nagy sorozatban. Rendszerint egyedi felhasználás céljára méretezik őket, 100-1000 különféle áramkörli modul és max. mintegy 10.000 különféle alkatrész építőelemként való felhasználásával. Így mindenesetesen megvalósításra kerülő rendszer meghibásodási intenzitását egyedileg kell meghatározni. Ez olyan eljárás, amely számítógépes támogatás nélkül - gazdaságossági okokból lehetetlen.

A jelen beszámoló annak a QESAR elnevezésű, megbízhatósági előrejelzés végzésére alkalmas szoftver-programcsomagnak néhány alkalmazási szempontját kívánja bemutatni, amelyet a SIEMENS AG-nál használnak a távközlő rendszerek esetében. A beszámoló a szoftver segítségével nyert eredményekről is számot ad.

Rendszerek meghibásodási intenzitását előrejelző módszerek

A probléma kezelésére 2 alapvetően különböző megközelítés lehetséges:

- A *modulok meghibásodási intenzitásának összegzése*: Mindegyik modul meghibásodási intenzitását egyszer határozzák meg, majd az így kapott értékeket olyan többszörösséggel veszik figyelembe, ahány modult a rendszer /az adott fajtából/ tartalmaz.

- Az *alkatrész meghibásodási rátáinak meghatározása* oly módon, hogy a rendszerben lévő mindenegyes alkatrészt külön, saját működési paraméterekkel vesznek figyelembe, azaz mindenegyes modulra illetve rendszerre egyedileg megismélik a meghibásodási intenzitás számítását, a beépített alkatrészek alkalmazási helyén uralkodó környezeti és üzemeltetési feltételek konkrét figyelembe vételével.

Sajnos a meghibásodási ráták nem fizikai állandók, hanem egy és ugyanazon alkatrész esetében is erősen függnék a környezeti és üzemeltetési igénybevételektől. A legfontosabb tényezők közül néhány:

- az alkatrész környezeti hőmérséklete a rendszeren belül,
- megszakításos üzemmód, azaz nem állandó működés,
- légmozgás sebessége a nyomtatott áramkörli kártyák, fiókok között mesterséges hűtés alkalmazásával, minthogy a beültetett integrált áramkörök réteg-környezet közötti hőellátása előtt a lógsebességtől függ.

Az alkatrésze vonatkozó — íly módon definiált — "igénybevételi profil"-t ismerni kell ahhoz, hogy megbízhatósági előrejelzést végezhesünk. Sajnos ezt a nagyon kézenfekvő követelményt gyakran el szokták hanyagolni.

Ha a felsorolt paraméterek a rendszer minden részében azonosak /azaz homogén módon oszla-

* Előadásaként elhangzott a Relectronic '88 konferencián (Fordította: Kesselyák Péter)

nak el/ akkor az első és egyszerűbb módszer adja a probléma gazdaságos megoldását, vagyis elegendő a modulok meghibásodási intenzitását összegezni.

Ha azonban az "igénybevétel profil" nem homogén eloszlású, azaz pl. egy-ugyanazon szekrényen vagy kártyarekeszen belül előfordul hőmérséklet különbség, akkor szükség van a második, munkalágényesebb módszer alkalmazására.

A probléma jelentőségét a következő, egyszerűsített, de valószínű példát mutatja be.

Kártyarekeszen belül hőmérséklet gradiens

A SIEMENS AG-nél meghibásodási ráták meghatározása az SN 29500 házi szabvány szerint történik, amely elektronikai és elektrotechnikai alkatrészekre vonatkozik. Ebben a szabványban — más jól ismert kézikönyvekhez / (1), (2), (3), 4) / hasonlóan — a félvezetők meghibásodási rátája a réteg hőmérséklettől és az aktiválási energiától függ, ahogy azt az alábbi egyenletek leírják. A két különböző aktiválási energia két különböző fizikai hibamechanizmus-csoport figyelembe vételét jelenti. Az alacsonyabb aktiválási energiával leírt hibamechanizmus valószínűségét A-val jelöltük.

$$\Pi_T = A \cdot e^{E_{a1} \cdot x} + (1 - A) e^{E_{a2} \cdot x}$$

$$\lambda = \lambda_B \Pi_T$$

$$x = 11605 \cdot (1/(T_{ST} + 273) - 1/(T_j + 273))$$

Tekintsünk példaként egy 2 m magas keretet /szekrényt/, amelynek az alapján 25 °C-os levegő lép be, amely közepmagasságban 40 °C-ra melegszik, majd a keret tetején 55 °C-ra hevülve távozik. Az SN 29500 szabvány lajstromozása szerint egy 16 bites VLSI mikroprocesszor névleges meghibásodási rátája 70 °C réteghőmérsékleten 400 FIT. A réteghőmérséklet 30 °C-kal magasabb a környezeti hőmérsékletnél a morzsaáramkör teljesítményfelvétele /disszipációja/ miatt.

Az alábbiakban megadjuk a keret három különböző helyén — alul, középen és felül — üzemelő mikroprocesszorra a meghibásodási rátát és reakció gyorsítási tényezőt, abban az esetben ha az

alacsony aktiválási energiával jellemzett hibamechanizmus érvényesülési valószínűsége $A = 0,9$ és az aktiválási energiák:

$E_{a1} = 0,3 \text{ eV}$ és $E_{a2} = 0,8 \text{ eV}$.

Alul: $T_j = 55 \text{ °C}$ $\Pi_T = 0,59$ $\lambda = 238 \text{ FIT}$

Középen: $T_j = 70 \text{ °C}$ $\Pi_T = 1,00$ $\lambda = 400 \text{ FIT}$

Felül: $T_j = 85 \text{ °C}$ $\Pi_T = 1,69$ $\lambda = 675 \text{ FIT}$

A meghibásodási ráta függhet az üzemeltetés helyétől.

Mint látható, a felső érték 2,83-szorosa az alsónak, ami pontosabb becsléseknél nem hanyagolható el. Ily módon azt kell mondanunk, hogy az alkatrészenkénti komplex értékelési módszer az a módszer, amely ma távközlési berendezések esetében célra vezető, és a SIEMENS AG-nál ezt használják.

A következő fejezetben megmutatjuk, hogyan történik az egyes modulokra vonatkozó egyedi paraméterek bevétele.

Rendszer minőségi jegyzék

A rendszer minőségi jegyzék /továbbiakban SQL = System Quality List/ az adatbázis adott címen tárolt adategyüttesből áll. Az SQL tartalmazza valamely rendszer, készülék, keret /szekrény/ vagy más, modulokból felépített egység összes olyan adatát, amely a minőség meghatározása szempontjából fontos. Hasonló minőségi jegyzék létezik az SQL-ben felsorolt mindegyes modul számára is, amit a továbbiakban MQL-lel jelölünk.

SQL-re példát egy kicsiny és egyszerűsített demonstrációs modell kapcsán láthatunk.

A "Hírközlő készülék 88" 9 modulból áll, amelyek 3 sorban helyezkednek el. A processzor egység, a memória egység és a tápegység az alsó sorban foglal helyet, ahol a környezeti hőmérsékletet 30 °C-nak lehet tekinteni. / $T_a = 30 \text{ °C}$ /. A hat periféria modul a középső sorban /ahol a környezeti hőmérséklet $T_a = 34 \text{ °C}$ / és a felső sorban /ahol a környezeti hőmérséklet $T_a = 36 \text{ °C}$ / helyezkedik el.

SIEMENS N ZL QES 1

Minőségi jegyzék

QES - Nr: 3856

Tétel x24129-Q1409-B-2

Minőségi adatvisszajelzés: VAN

Kód x dátum: 1988. I. 14.

SZÖVEGFELOSZTÁS

x "Hírközlő készülék 88"

Az összes periféria modul naponta csak

8 órán át és évente 252 napot üzemel

db	Eszközcsoport áramköri kódja	tétel/típus	D	Adr	Dta	Te	PnW	Sf	Tf	Cf	Fn
1	processzor egység	X24129-Q2203-A1-3	3	5 018	-4	0	0	1,00	1,00	1,00	0
1	memória egység	X24129-Q2204-A1-2	3	5 018	-4	0	0	1,00	1,00	1,00	0
1	egyenáramú átalakító	X24129-Q2905-B-2	3	5 047	-4	0	0	1,00	1,00	1,00	0
3	periféria egység	X24129-Q2205-A2-4	3	5 446	0	0	0	1,00	1,00	1,00	0
3	periféria egység	X24129-Q2205-A2-4	3	5 046	2	0	0	1,00	0,23	1,00	2

Modul minőségi Jegyzék (MQL)

db	Eszközcsalád áramköri kódja	Tétel/típus	D	Adr	Dta	Te	PmW	Sf	If	Cf	Fn
4	IC	Q67100-Q469-S20	1	2901	0	0	0	1,00	1,00	1,00	0
1	IC	Q67120-C54-S20	1	826	9	0	0	1,00	1,00	1,00	0
1	tC	Q67120-Y18-S20	1	405	6	0	0	1,00	1,00	1,00	0
1	IC	Q67120-P45-S20	1	445	5	0	0	1,00	1,00	1,00	0
4	IC	Q67120-P32-S20	1	547	5	0	0	1,00	1,00	1,00	0

Az átlagos környezeti hőmérséklet $T_{am} = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$ megegyezik a készülék középső sorának magasságában mért hőmérséklettel. A számítógép a következő bemenő adatokra vár:

- "Pcs": a modulok száma,
- "Adr": belső cím,
- "Dta": a kérdéses modul lokális környezeti hőmérsékletének és a készülék átlagos környezeti hőmérsékletének a különbsége, ami lehet pozitív vagy negatív, mindenesetre hőmérsékletmérések eredménye,
- "If": a modulra ható igénybevétel időtartamának és a vonatkozó naptári időtartamnak a hányadosa,
- "Cf": korrekciós tényező - amelyet modulokkal kapcsolatosan még nem használtak.

Az SQL rendszer minőségi jegyzékéből (lásd az előzőekben bemutatott jegyzéket) kiolvasható, hogy pl. a memória egység környezeti hőmérséklete $D_{ta} = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal alacsonyabb, mint a készülék átlagos környezeti hőmérséklete. Míg a processzor, a memória és a tápegység állandó üzemben működik, napi 24 órán keresztül - addig a periféria egységek az üzemén kívüli időben lekapcsolódnak a tápegységről. A perifériának ez a nem állandó üzeme öventé 2016 órát tesz ki az SQL jegyzék szerint, ami $If = 0,23$ időkitöltési tényezőt eredményez. Az időszakos üzemeltetésre vonatkozó matematikai modellt /5/ írja le.

A fenti jegyzéken a processzor egység MQL jegyzékének egy részlete látható. A jegyzék felépítése ugyanolyan, mint az SQL jegyzéké. Az MQL "Dta" oszlopa az alkatrész környezeti hőmérsékletének különbségét tartalmazza. További részleteket /6/- ban lehet találni.

Rendszer meghibásodási intenzitás előrejelzési programjának futtatása

A számítógép mindenek előtt bekéri a rendszer teljes "igénybevételi profil"-ját, pl. a készülék átlagos környezeti hőmérsékletét és a keret, szekrény vagy kártyarekesz ventilációs légsebesség adatait és azokat további felhasználásra tárolja. Ezután elolvassa az SQL-nek egy sorát, azonosítja a modult - ami rendszerint egy nyomtatott áramköri kártya - és kikeresi azt az MQL jegyzéket,

amelyik ehhez a modulhoz tartozik az adatbázisban. Az SQL-ben megadott Dta értéket hozzáadja az MQL-ben található Dta értékhez, vagyis a lokális hőmérsékletkülönbség értékeket előjelesen összegzi. Ugyanakkor az SQL-ben található "If" üzemidő kihasználási tényezőt megszorozza az MQL-ben talált "If" üzemidő kihasználási tényezővel.

Az alkatrészek meghibásodási rátájának számítása az "igénybevételi profil"-nak megfelelő eredő tényezők figyelembe vételével, az SN 29500 szabvány alapján történik. Az SN 29500 tartalmazza az alkatrészek névleges meghibásodási rátáit /amelyek a számítások kiinduló alapját képezik/, valamint a hőmérséklet, igénybevételek és más környezeti tényezők figyelembe vételére szolgáló matematikai modelleket.

A rendszerre vagy készülékre vonatkozó, kiszámított meghibásodási intenzitás és hibák közti átlagidő /MTBF/ értékek kinyomtatásra kerülnek. Rendszeres meghibásodási intenzitás és meghibásodás közti átlag idő /MTBF/

SIEMENS N ZL QES 1

Meghibásodási intenzitás
előrejelzés

QESN-Nr: 3856

tétel: X24 129-Q1409 - B - 2

Minőségi adat-visszajelzés: VAN Kód x Dátum: 1988. Jan.14.
"HIRKÖZLŐ KÉSZÜLÉK 88"

Meghibásodási intenzitás és hibák közti
átlagidő - átlagértékek:

xxx Meghibásodási intenzitás = 19 054 fit
xxx Hibák közti átlagidő, óra = 52 482 h
xxx Hibák közti átlagidő, év = 6,1 a

1 fit: 10^9 óránként i hiba

MTBF: meghibásodások közti
átlagidő órákban illetve években

Ezek az eredmények érvényesek, feltéve a következőket:

xxx Átlagos környezeti hőmérséklet: $34\text{ }^{\circ}\text{C}$

xxx Mesterséges hűtés nélkül

xxx Készülék-barát környezet

xxx Állandó üzem, 8760 óra évente

Ezt kiegészíti még egy lista, amely a különböző alkatrészféleségek /családok/ részesedését mutatja az eredő meghibásodási intenzitásból.

Összegezés:

Ob	Eszközcsoport	fit	$1 \cdot 10^9$	százalékos	hiba/óra	részesedés
72	Integrált áramkör: kódoló-dekódoló szűrő, előfizetői vonal interfész	3 204	16,8%			
890	Kondenzátorok	1 872	9,8%			
24	teljesítmény IC-k	1 817	9,5%			
30	lineáris IC-k	1 729	9,1%			
7	mikroprocesszor periféria IC-k	1,293	6,8%			
3	bipoláris teljesítmény tranzistorok	1090	5,7%			
6	EPROM, OTPROM memória IC-k	1033	5,4%			
24	dinamikus RAM memória IC-k	987	5,2%			
224	Zener diódák	830	4,4%			
6	sztatikus RAM memória IC-k csatlakoztatások	803	4,2%			
692		692	3,6%			
168	bipoláris standard IC-k	502	2,6%			
1	mikroprocesszor IC	487	2,6%			
34	csatlakozók, dugaszaljzatok	453	2,4%			
34	standard CMOS IC-k	372	2,0%			
5	teljesítmény diódák, tirisztorok, triakok	347	1,8%			
135	általános és Schottky-diódák	340	1,8%			

A statisztikai eredményeket ezen kívül megjelenítik egy 3 dimenziós színes diagramon is.

A számítógépes előrejelzés eredményei többféleképpen dolgozhatók fel tovább:

- A gép összefésül az összes MQL jegyzéket egyetlen szuper-Q jegyzékbe, amely a rendszer összes alkatrészét tartalmazza, oly módon, hogy az azonos típusú alkatrészeket összegzi. Ezt a részletes alkatrészlistát azután kinyomtatják. Nagy rendszer esetén a lista 100 oldalt is kitehet. Ha szükséges, az alkatrészlista újra rendezhető annak kimutatása érdekében, hogy egy bizonyos alkatrész csoport mennyivel járul hozzá az eredő meghibásodási rátájához. Ezt nevezik "Top Ten Method"-nak.
- A másik tovább-feldolgozási mód az, amikor csak az egyes modulfajták meghibásodási intenzitását küldik output eszközre. /Lásd a következő jegyzéket/. A periféria modul kétszer szerepel a listában, mert a környezeti hőmérséklet a középső ill. a felső sorban különbözik egymástól és ezért a meghibásodási intenzitás is kis mértékben különbözik. Néhány kiegészítő megjegyzés az eredményekhez:
- Az előrejelzett meghibásodási intenzitás a szükséges alkatrész cserékkel kapcsolatos. Feltételeztük, hogy nincs fölösleges alkatrész a rendszerben, ezért minden meghibásodott elemet előbb vagy utóbb ki kell cserélni.
- A meghibásodási intenzitás értékek önmagukban nem fejezik ki a használhatóságot, de annak becsléséhez elengedhetetlenek.
- A meghibásodási intenzitás értékét időben állandónak tekintjük. Mivel az alkatrész élettartamának korai szakasza nem eléggé jól ismert, a

Különböző modulfajták meghibásodási intenzitása

SIEMENS N ZL QES 1 Meghibásodási intenzitás előrejelzés

Az összetevők meghibásodási intenzitásai, felső és alsó határok
 xxx átlagos környezeti hőmérséklet 34C°
 xxx mesterséges hűtés nélkül
 xxx készülék-barát környezet
 xxx állandó üzem, 8760 óra évente

1 db processzor	X24129-Q2203-A1-3	4 966,1x1 = 4 966,1 fit
egység		
modul minőségi jegyzék		4 347,5x1 = 4 347,5 fit
Dta = -4C°		
1 db memória	X24129-Q2204-A1-2	4 077,9x1 = 4 077,9 fit
egység		
modul minőségi jegyzék		2,940,6x1 = 2 960,6 fit
Dta = -4C°		
1 db egyenáramú	X24129-Q2905-B-2	3 938,7x1 = 3 998,7 fit
áramátalakító		
modul minőségi jegyzék		3 882,6x1 = 3 882,6 fit
Dta = -4C°		
3 db periféria	X24129-Q2205-A2-4	1 191,2x3 = 3 573,6 fit
egység		
modul minőségi jegyzék		1 029,6x3 = 3 088,7 fit
If = 0,23		
3 db periféria	X24129-Q2205-A2-4	1 292,7x3 = 3 878 fit
egység		
modul minőségi jegyzék		1 118,1x3 = 3 54,4 fit
Dta = 2C If = ,23		

Összegezett meghibásodási intenzitás	19 054 fit
határok	20 494 17 614 fit
hibák közti átlagidő MTBF átlagérték	52 482 h
határok	48 794 56 774 h

kezdeti /korai/ kiesés becslésére nem vállalkozhatunk.

Következtetések

A SIEMENS AG által kifejleszteti valamennyi nyilvános távbeszélő /kapcsolástechnikai/ rendszer és egy sor más rendszer és eszköz értékelése a jelen beszámolóban ismertett QESAR hibaelőrejelzési szoftver programcsomag segítségével történik. A program mini-számítógépen fut, egy 128 Mbyte kapacitású /fix- lemezes/ tároló tartalmazza a szükséges adatokat. Az értékelni kívánt rendszer nagysága és bonyolultságára vonatkozóan nincs semmiféle megkötés. A programfutás ideje — az előző példát alapul véve — 90 - 120 másodperc az előrejelzés módjától függően és oldalanként további 40 másodperc szükséges a kinyomtatáshoz.

Az eredményeket — amilyen hamar csak lehetséges — igyekeznek üzemi megbízhatósági adatokkal összehasonlítani. A tapasztalat azt mutatja, hogy a legkomolyabb eltérés az előrejelzés és az üzemi referencia adatok között az igénybevételi profil helytelen felméréséből adódhat, vagy még inkább egyes alkatrészek rendkívül egyedi terheléséből /ami jelenthet túl- vagy aláterhelést/.

Például sok alkatrész nincs állandó terhelés alatt, ahogy azt feltételezték, hanem csak a rendszer működési idejének egy tört része során. Ilyen esetben az előrejelzett meghibásodási ráta rendszerint nagyobb, mint az üzemi tapasztalatból származó érték.

IRODALOM

- [1] Elektronikai berendezések megbízhatóságának előrejelzése MIL HOBK 217E, USA.
- [2] Elektronikai berendezések megbízhatósági előrejelzésére szolgáló eljárás. Bell Communication Research, USA,

- [3] CNET megbízhatósági adatok katalógusa, Franciaország.
- [4] Távközlő rendszerekben használt elektronikai alkatrészek megbízhatósági adatainak kézikönyve, HRD4, British Telecom, Nagybritannia.
- [5] Előrelépés a számítógéppel támogatott megbízhatósági előrejelzés területén. R. Nitsch, Reliability Technology, J. Moltoft and F. Jenes /editors/, Elsevier Science Publishers B.V. 1986.
- [6] Minőségi jegyzék - mint a számítógéppel támogatott megbízhatósági előrejelzés eszköze. R. Nitsch, Proceedings of 5. International Conference on Reliability and Maintainability, Biarritz, France, Oct. 1986.