

# IP hálózatok megbízhatósági analízise

## Mérési utasítás

---

Felhasznált eszközök: FLEXPLANET hálózattervező és –elemző rendszer

### A mérés célja

A mérés során a hallgatók megismerkednek a többretegű hálózatok megbízhatósági elemzésében használt modellekkel és módszerekkel. Az egyes rétegekben alkalmazott védelmi megoldások különböző hatással lehetnek a magasabb rétegbeli szolgáltatásokra. A cél ezeknek a hatásoknak a nyomon követése a megbízhatósági elemzési eredmények alapján.

### Megbízhatósági alapok áttekintése

A mérés során alkalmazott módszertan a stratégia elemzések, a hálózati szintű értékelések és összehasonlítások tudományosan megalapozott gyakorlatát követi. Korlátai alapvető jellemzőiből következnek.

A módszertan a hálózatelemek rendelkezésreállási (meghibásodási és javítási) „viselkedését” statisztikus modellek alapján írja le. Annak érdekében, hogy ezeknek a modellek a komplexitása valós méretű hálózatok esetében se haladja meg az ésszerű számítási szükséglet határát, néhány egyszerűsítő megfontolást tartalmaznak:

- A hálózatelemek rendelkezésreállási paraméterei részben gyártó becslésekre, részben az üzemeltetési és fenntartási folyamatok egyszerűsített modelljeire, részben az üzemeltetési tapasztalatok statisztikus feldolgozására alapozottak, és mindenesetben hosszú távú megfigyelések statisztikus leképezései.
- A jellemzők időben állandók, a javításai kapacitás korlátlan, meghibásodási és javítási folyamatok függetlenek, a modellezett folyamat ergodikus.

A hálózati szolgáltatások modellezés alapján meghatározott rendelkezésreállási jellemzők nagymértékben függnak a hálózatelemek meghibásodását leíró paraméterek, és az üzemeltetési folyamatok minőségét tükröző paraméterek becslésének pontosságától. A hálózati szolgáltatásokra kalkulált rendelkezésreállási jellemzők a hosszú távú statisztikus megfigyelések során tapasztalható viselkedést tükrözik.

Mindezek alapján a hálózattervezési gyakorlatban az ilyen modell alapú eredmények elsősorban hálózati változatok összehasonlító értékelésére és nem SLA jellegű követelmények teljesülésének magas konfidenciájú alátámasztására szolgálnak.

### Alapfogalmak

A modellek egyértelmű tárgyalása érdekében az alábbiakban röviden áttekintjük a megbízhatósági modellezésben elterjedt fogalmak általánosan elfogadott definícióit.

#### *MTBF (Mean Time Between Failures)*

A meghibásodások közötti időtartam várható értéke. Értékét a gyártó adja meg, ugyanis az üzemeltetési peremfeltételek betartása esetén csak a berendezés szerkezeti tulajdonságaitól függ. Megjegyezzük, hogy az időtartam eloszlásáról önmagában semmit nem árul el.

### MTTR (Mean Time To Repair)

A meghibásodástól a hiba teljes javításán át a rendszer működésének helyreállításáig eltelő időtartam hosszának várható értéke. Nagyrészt az üzemeltetési gyakorlattól függ, de természetesen az esetlegesen szükséges pótalkatrészek elérhetősége is hatással lehet rá. Általánosan elfogadott gyakorlat szerint a berendezések hibáinál 6h, míg a terepen bekövetkező, tipikusan kábelátvágást jelentő hibaesemények esetén 12h a számításokhoz használt közelítő érték. Megjegyezzük, hogy az időtartam eloszlásáról az MTBF-hez hasonlóan nem ad tájékoztatást.

(Megjegyzés: ezen javítási idők irodalmi közlések és az általános modellezési gyakorlat alapján tipikusan tekinthető gyakorlati értékei.)

### DTR (Down Time Ratio)

A hibás időszakok aránya a teljes megfigyelési időhöz képest. A használhatóság komplementere. Tipikusan javított rendszerek jellemzésére alkalmazzák. A bővebb magyarázatot lásd ott.

### Használhatóság vagy rendelkezésreállítás (Availability, $A(t)$ )

Az üzemképes állapotban töltött idő és az összes megfigyelési idő hányadosa a  $t$  időpontig bezárólag. Alternatív definíciója annak a valószínűsége a  $[0, t]$  intervallumban, hogy a megfigyelt rendszer üzemképes. Alapértelmezés szerint időfüggő mennyiség, amelynek az idő szerint végtelenben vett határértéke az aszimptotikus használhatóság ( $A$ ). Ez utóbbi kifejezhető az MTBF és MTTR segítségével is a következőképpen:  $A = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$ .

### Megbízhatóság (Reliability, $R(t)$ )

Annak a valószínűsége, hogy  $t$  időpontig bezárólag a rendszerben nem következik be hiba. Nem tökéletes komponensekből álló rendszereknél a végtelenben vett határértéke 0. Tipikusan nem javított rendszerek jellemzésére alkalmazzák.

## Számítási alapmodellek

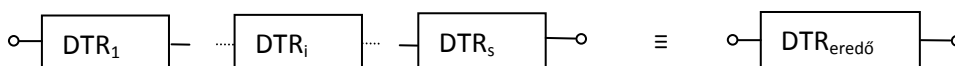
A modell megalkotása során feltételeztük:

- a komponensek függetlenül hibásodnak meg időben változatlan intenzitással
- függetlenül javíthatóak MTTR idővel, azaz javításuk várható idejét a hálózat, állapota és a rendelkezésre álló javítókapacitás nem befolyásolja.

Mindezek alapján a komponensek idő- és állapotfüggetlen DTR értékekkel jellemezhetők.

Feltételeztük továbbá, hogy a vizsgált rendszer ergodikus, így a valószínűségi várható érték megegyezik az időarányal. Ennek alapján a modellben az elemek DTR értékei alapján végezhetők a számítások.

### Soros rendszer

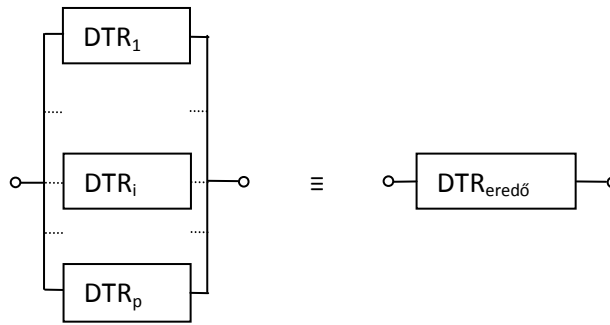


Soros rendszer modellje

Egy soros rendszer akkor működőképes, ha minden eleme működőképes:

$$A_{\text{soros}} = 1 - DTR_{\text{soros}}; DTR_{\text{soros}} = 1 - \prod_{i=1}^s (1 - DTR_i)$$

Párhuzamos rendszer

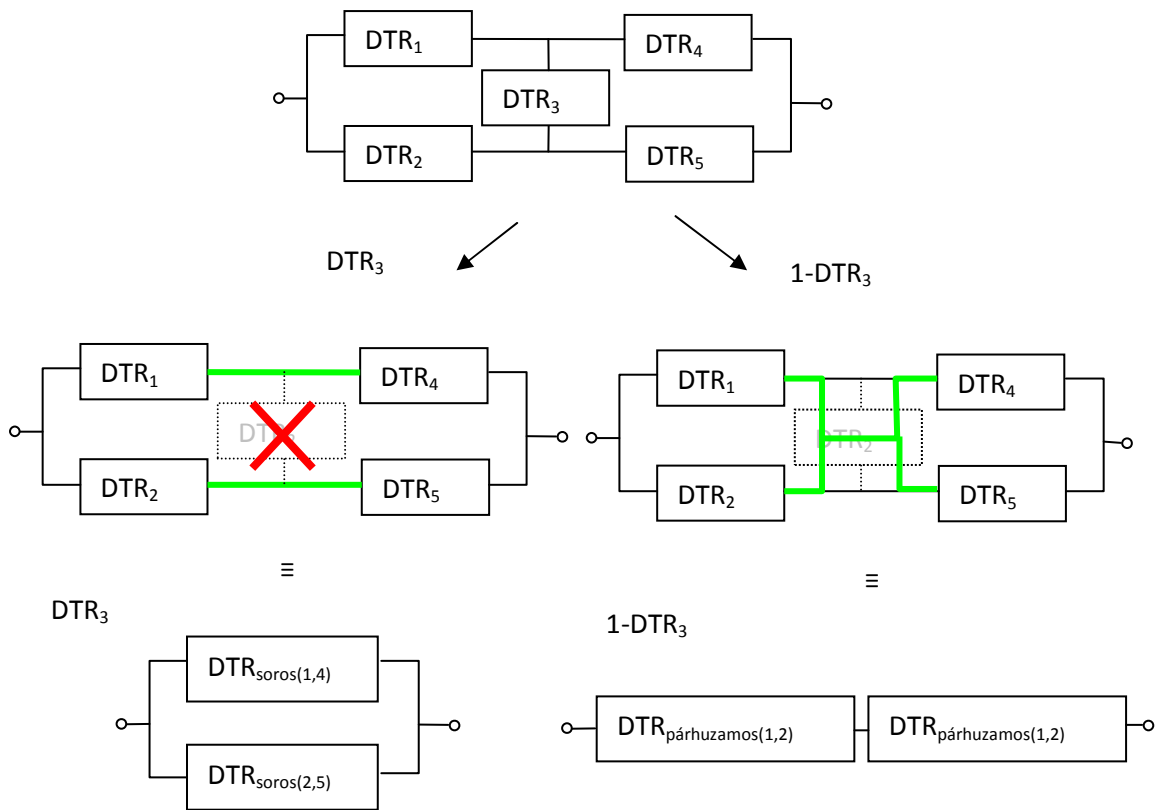


*Párhuzamos rendszer modellje*

Egy párhuzamos rendszer működőképes, ha legalább egy eleme működőképes:

$$A_{\text{parhuzamos}} = 1 - DTR_{\text{parhuzamos}}; \quad DTR_{\text{parhuzamos}} = \prod_{i=1}^p DTR_i$$

Soros-párhuzamos részekre közvetlenül nem bontható összetett rendszer



A „hídgba” lévő komponens hibamentes és hibás állapotát azok valószínűségével figyelembe véve, a teljes rendszerre a teljes valószínűség tételének alkalmazásával a soros-párhuzamos modell kiterjeszhető általánosabb esetekre is. Ezzel a megoldással a vizsgált rendszer már soros-párhuzamos részekre tagolható, és az alapösszefüggések rekurzív alkalmazásával kiértékelhető:

$$DTR_{\text{eredő}} = DTR_3 * [1 - (1 - DTR_1) * (1 - DTR_4)] * [1 - (1 - DTR_2) * (1 - DTR_5)] + (1 - DTR_3) * [1 - (1 - DTR_1 * DTR_2) * (1 - DTR_4 * DTR_5)]$$

A kiterjesztés gyakorlati alkalmazhatóságának határát az elemzendő probléma komplexitása határolja be, ugyanis egyszerűen belátható, hogy a kiterjesztő átalakítások egyenként duplázzák a kiértékelendő esetek számát.

Ezért az összetettebb hálózatos problémákra az egyes hibaállapotok egyenként történő kiértékelését alkalmazzák. Ez statikus, dedikált tartalékokat alkalmazó védelmi megoldások esetén még többszörös hibamélység mellett is egyszerű leszámolás (mely összeköttetések kiszolgálásában szerepelnek a meghibásodott elemek, maradt-e működőképes üzemi vagy tartalék összeköttetés az adott szolgáltatás számára). Bonyolultabb működésű, osztott tartalékokra és/vagy állapotfüggő tartalékutakra alapozott védelmi megoldások esetén azonban hálózati állapotoként tervezés komplexitású kiértékelési lépéseket igényel (osztott tartalék igénybevételének és felszabadításának sorrendje, hibaállapot-függő tartalékutak kalkulálása).

### Berendezés rendelkezésreállási paramétereinek becslésére

A következőkben a hozzáférhető adatok alapján lineáris routermodell segítségével illusztráljuk a berendezés DTR-jének becslésére alkalmazható modellt egy tipikusnak tekinthető router modellezésén. A modellben alkalmazott paraméterek piaci átlagértékek képviselnek. Az illusztrációban 6 órás, standard MTTR időt feltételezünk ( $MTTR_s$ ), ha ezt másképpen nem jelezzük.

[1, 2], továbbá a rendelkezésünkre álló MTBF táblázatok és egyéb gyártói eszközleírások leírások alapján a router következő főbb komponenseit modellezhetjük:

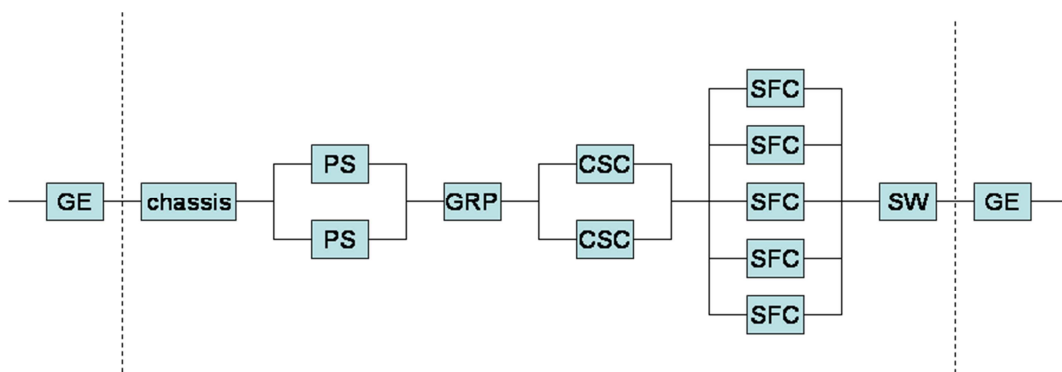
- ház (chassis):  $MTBF=398788h$ ,
- route processzor (GRP): duplázott redundáns elem,  $MTBF=188768h$  processzoronként, amelyből [15] alapján a route processzor párra  $MTBF \approx 283152$  (exponenciális viselkedést feltételezve), valamint  $MTTR=3s$ , ha feltételezzük, hogy a meghibásodást követő  $MTTR_s$  időn belül nem következik be újabb hiba (ennek valószínűsége elhanyagolható), és a rendszer automatikusan átkapcsol a rendelkezésre álló tartalék processzorra,
- tápegység (PS): duplázott, redundáns elem,  $MTBF=414931h$ ,
- clock scheduler kártya (CSC): a kapcsolómátrix komponense, duplázott, redundáns elem,  $MTBF=256470h$ ,
- switch fabric kártya (SFC): a kapcsolómátrix komponense, ötszörözött, redundáns elem,  $MTBF=492917h$ ,
- GE modul (GE): interfész kártya, nem redundáns,  $MTBF=147248h$ ,
- operációs rendszer (SW): [16] alapján az  $MTBF=100000h$  becslés adható meg.

Megjegyezzük, hogy a route processzor esetében azért kezeljük speciálisan a struktúrát, mert speciális failover mechanizmust biztosít a gyártó, amelynek néhány részletét ismerve némileg pontosabb modell adható.

A fenti értékekből az I.a. és II.a. modellek szerint származtatott aszimptotikus rendelkezésre állási értékeket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A modellezett router komponenseinek származtatott megbízhatósági jellemzői

komponens	1-A
chassis	$1.5 * 10^{-5}$
GRP	$2.9 * 10^{-9}$
PS	$1.4 * 10^{-5}$
CSC	$2.3 * 10^{-5}$
SFC	$1.2 * 10^{-5}$
GE	$4.1 * 10^{-5}$
SW	$6.0 * 10^{-5}$



1. ábra: A modellezett router lehetséges megbízhatósági modellje

A bemutatott komponensekből felépített modell a 1. ábrán látható. A soros és párhuzamos struktúrákból felépített modellben a router rendelkezésre állása dekompozícióval számítható és  $1-A_{\text{router}} \approx 1.57 * 10^{-4}$  adódik.

Az eredmény értelmezéséhez meg kell említenünk, hogy a GE, chassis és SW komponensek megbízhatósági paramétereinek van kritikus hatása a becslés végeredményére nézve. Egy példával érzékelte a paraméterek fontosságát: ha a szoftverkomponens rendelkezésre állására adott becslésben MTBF=100000 óra helyett MTBF=200000 óra értéket alkalmazunk, a modell végeredménye  $1-A_{\text{router}} \approx 1.27 * 10^{-4}$ -re változik, míg a szoftverkomponens elhagyásával (azaz hibátlanul való feltételezésével már  $1-A_{\text{router}} \approx 9.7 * 10^{-5}$  lesz a végeredmény.

### Hálózatok rendelkezésreállási elemzése

A rendelkezésreállási elemzés feladata a hálózatok teljesítményváltozásának vizsgálata a különböző hálózati elemek véletlenszerű meghibásodása esetén.

Egy rendszer megbízhatóságának jellemzésére különféle paraméterek és modellek használhatók, amelyek fejlődési sorrendben a következők:

- **Összefüggőségi paraméterek:** ekkor a vizsgálni kívánt hálózatok modellezése az egyszerű gráfmodellel történik, ahol a gráf pontjai az egyes csomópontoknak, élei pedig a kábelszakaszoknak felelnek meg. A hálózati elemek kétféle állapotban lehetnek: működnek, vagy meghibásodtak. A klasszikus gráftechnikák alkalmazhatók az összefüggőség megállapítására, ami valójában nem méri a teljesítménydegradációt, csak infrastrukturális jellemző.
- **Maximális folyam paraméterek:** egyszerű kapacitásos gráfmodellek használata reális elvezetés-kezelés és az egyéb hálózati képességek modellezése nélkül, út, vágat keresési technikák alkalmazása.
- **Többtermékes folyam paraméterek:** valóságos útvonal választási feltételek fogalmazhatók meg, de csak pont-pont hálózati kapcsolatok modellezését teszik lehetővé, hálózati szintű jellemzésre nem alkalmasak.
- **Teljesítőképességi indexek:** lehetnek kapacitás-jellegű, összefüggőség-jellegű vagy forgalmi-jellegű paraméterek, ezek már valós kapcsolt hálózati mérőszámok. Hálózati szintű összehasonlítást tesznek lehetővé általános modell használatával, sokféle analízisteknika áll rendelkezésre az elemzéshez.

A teljesítménycsökkenést jellemző mennyiségek definiálására, majd azok meghatározásához a megfelelő modell felállítására van szükség. A modellt a különböző hibaállapotokban vizsgálva képet kapunk a hálózat viselkedéséről. A teljesítőképességi indexek vizsgálatát végző modell legfontosabb elemei az események, a meghibásodási valószínűségek és a hálózat állapotát jellemző mennyiségek.

Az egyes hibaállapotokban a hálózati igények és kapacitások egy bizonyos része nem áll rendelkezésre, a kiesés jellemzésére a következő paraméterek használhatók:

- Hálózati teljesítmény index (Network Performance Index):

$$NPI = \frac{E(\text{Telj})}{\text{Telj}_{\max}} = \frac{\sum_{\underline{y} \in Y} \text{Telj}(\underline{y}) \cdot P(\underline{y})}{\text{Telj}_{\max}} \quad \{1\},$$

ahol  $\text{Telj}(\underline{y})$ : a hálózat teljesítménye az  $\underline{y}$  állapotban,  $P(\underline{y})$  pedig annak a valószínűsége, hogy a hálózat az  $\underline{y}$  állapotban van. Az így előállított mennyiség megmutatja, hogy mekkora a hálózat várható teljesítménye a maximális teljesítményhez képest.

- Átlagos veszteség (Average Loss):  $AL = E(h(\underline{y})) = \sum_{\underline{y} \in Y} h(\underline{y}) \cdot P(\underline{y}) \quad \{2\},$

$$\text{ahol} \quad h(\underline{y}) = 1 - \frac{\text{Telj}(\underline{y})}{\text{Telj}_{\max}} \quad \{3\}.$$

Ilyen módon a hiba mértékére 0 és 1 közé eső valós értékeket kapunk. Minél közelebb vannak ezek a viszonyszámok a 0-hoz, annál jobb a hálózat állapota. A meghibásodások nagyságának várható értékét, az AL-t megkapjuk, ha minden egyes hibaállapotra az állapotok valószínűségével súlyozva átlagoljuk ezeket a mérőszámokat.

- Hálózat kimaradás (Network Unavailability/Outage):

$$NO(c) = P(h(\underline{y}) > c) = \sum_{\underline{y} \in Y : h(\underline{y}) > c} P(\underline{y}) \quad \{4\}$$

Az NO mennyiség megmutatja, hogy mekkora valószínűséggel tartózkodik a hálózat olyan állapotban, ahol a teljesítménydegradáció egy adott  $c$  értéknél nagyobb mértékű.

Az állapottér mérete az események számának exponenciális függvénye, azaz  $n$  db eseményt vizsgálva a hibaállapotok száma:  $2^n$ . A gyakorlatban a relatív hiba várható értékének meghatározása során nem végezhető el kívárható időn belül az összegzés a teljes állapottérre. Ezért csak az állapottér egy részhalmazát tudjuk ténylegesen kiértékelni, a többi elhanyagolt állapotra pedig becslésekkel, feltételezésekkel élhetünk. A probléma megoldására léteznek determinisztikus és statisztikai módszerek.

A determinisztikus módon alsó és felső becslést kaphatunk a relatív hiba várható értékére a következő módon – az irodalomban Li-Silvester módszerként számon tartott modell szerint – (2. ábra).

Biztosan alsó becslést kapunk, ha az elhanyagolt állapotokban a kiesés mértékét 0-nak vesszük.

Jelölje  $Y_v \subset Y$  a ténylegesen kiértékelt hibaállapotokat,  $Y_e = Y / Y_v$  az elhanyagolt

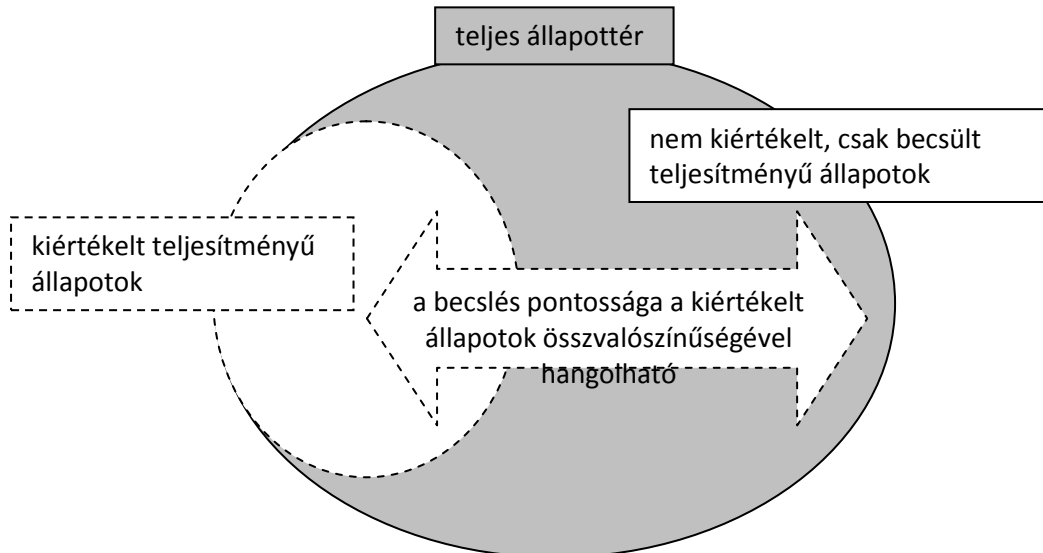
állapotokat. Ekkor az alsó becslés a következő összefüggéssel számítható:

$$H_{\min} = \sum_{\underline{y} \in Y_v} h(\underline{y}) \cdot p(\underline{y}) + \sum_{\underline{y} \in Y_e} 0 \cdot p(\underline{y}) = \sum_{\underline{y} \in Y_v} h(\underline{y}) \cdot p(\underline{y}) \quad \{5\}$$

Biztosan felső becslést kapunk, ha az elhanyagolt állapotokban a maximális hibaértékkel (1) számolunk:

$$H_{\max} = \sum_{\forall \underline{y} \in Y_v} h(\underline{y}) \cdot p(\underline{y}) + \sum_{\forall \underline{y} \in Y_e} 1 \cdot p(\underline{y}) = \sum_{\forall \underline{y} \in Y_v} h(\underline{y}) \cdot p(\underline{y}) + P_e \quad \{6\}$$

A képletben  $P_e$  az elhanyagolt állapotok összvalószínűségét jelenti:  $P_e = \sum_{\forall \underline{y} \in Y_e} p(\underline{y})$ .



2. ábra A determinisztikus becslés grafikus illusztrálása

Minél kisebb  $P_e$  értéke, annál szorosabb alsó és felső korlátot kapunk, hiszen a fentiek alapján:

$$H_{\max} = H_{\min} + P_e \quad \{7\}$$

A módszer a hálózati szolgáltatások DTR-jének becslésére a következők szerint alkalmazható:  
 $Tel_j(\underline{y}) = 1$  ha a szolgáltatás az  $\underline{y}$  hálózati állapotban működőképes (redundáns megvalósítás esetén üzemi

vagy védelmi átviteli útvájból legalább az egyik üzemképes),

különben  $Tel_j(\underline{y}) = 0$ .

$p(\underline{y})$  - független meghibásodásokat feltételezve - az  $\underline{y}$  hálózati állapotban hibás hálózatelemek meghibásodási valószínűségének (illetve DTR-jének) összege.

A kiértékelendő hálózati állapotok halmaza ( $Y_v \subset Y$ ) az elérni kívánt becslési pontosság alapján kiválasztható

- az elemzés műszaki tartalmát szem előtt tartva hibamélység (=az egyidejű hibák száma) alapján,
- a valószínűségük szerint csökkenő sorrendbe rendezett hálózati állapotok az első K-t megjelölve.

A hálózat generikus modell alapján végzett hibaelemzésének eredményét figyelembe véve a hibamélységre kettőt

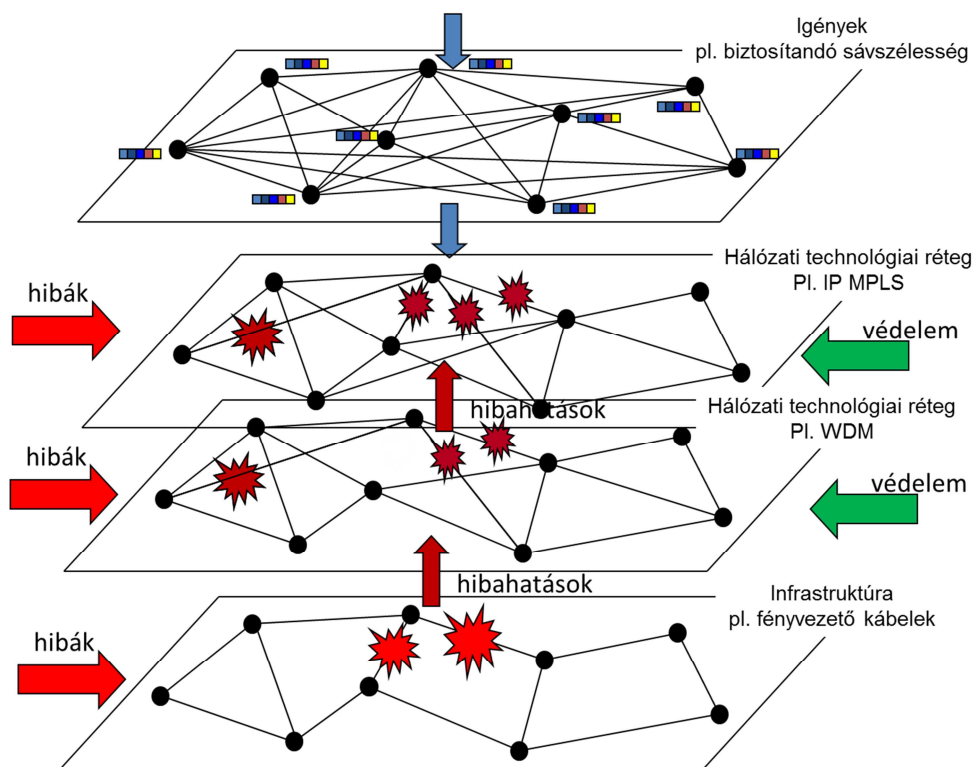
- két kábelszakasz hiba
- vagy egy kábelszakasz és egy átviteli berendezés hiba
- két átviteli berendezés hiba.

Ha az így ki nem értékelt hálózati állapotok összvalószínűsége magasabb, mint a megcélzott hibaküszöb, akkor a kiértékelt állapotok halmazát a fentiek alapján még ki nem jelölt legnagyobb valószínűségű állapotokkal kell a kívánt mértékben kiegészíteni.

## Többrétegű hálózatok elemzésének modellje

Egy több technológiai rétegből felépülő hálózat esetében az egyes hálózati rétegek kliens-szerver viszonyban vannak egymással. Egy szerver szerepű rétegben bekövetkező hiba hatása továbbterjed kliensrétegeire, mivel a hiba a szerverréteg bizonyos szolgáltatásainak meghibásodását eredményezi. Például egy fényvezető kábel szakadása (véletlen átvágás) megszünteti a kapcsolatot a szomszédos hálózati helyek között, és megszakítja a WDM hálózatban adott kábelszakasz által hordozott optikai hullámhossz-multiplex rendszereit, valamint az ezen hullámhossz-multiplex rendszerek által összefogott optikai csatornákat. A fényvezető kábel hibája az optikai csatornák megszakadásával továbbterjed az IP rétegre is: a közvetlenül összekötött routerek (u.n. direkt routol IP hálózat) közti IP linkeket az Ethernet linkek, azokat pedig az optika csatornák szállítják. Az IP linkek megszakadása pedig a szolgáltatási rétegre terjed tovább.

Az egyes aktív technológiájú rétegekben preventív és reaktív védelmi mechanizmusok alkalmazhatók a hibák hatásának csökkentésére, kiküszöbölésére. Az optikai multiplex szakaszok vagy optikai csatornák 1+1 preventív (előre konfigurált) védelme, vagy az IP útvonalválasztás adaptivitásából következő reaktív (hiba hatására konfigurációt módosító) védelme az optikai csatornák (és így az általuk szállított Ethernet és IP linkek) megszakadását háríthatják el, illetve az IP szolgáltatások (pont-pont és pont-multipont kapcsolatok) megszűnését akadályozhatják meg.



3. ábra Többrétegű hálózat hibamodellje

A szolgáltatások rendelkezésreállításának modellezése, elemzése során – a modellben a fizikai felől a logikai felé haladva - rétegről rétegre az adott rétegben bekövetkezett hibákat, a rétegre áttérjedő hibahatásokat és az alkalmazott védelmi mechanizmusokat kell kiértékelni az adott réteg által nyújtott szolgáltatások állapotának (működik/nem működik) meghatározásához (3. ábra).



## A mérés leírása

A megbízhatósági elemzéseket a hallgatók egy adott hálózatra végzik el, melyben az elemi hibaesemények jellemzőit a gyűjtött statisztikák alapján kell beállítani. A hálózat legfelső rétegében jelentkező igényeket a különböző hálózati rétegekben, különböző védelmi mechanizmusokkal védhetjük a meghibásodások ellen. Ezeknek jelentős hatása van az eredő megbízhatósági értékekre, amit a hallgatók az eredmények összehasonlításával kell értékeljenek.

A feladatok az elemzés mélységének (a figyelembe vett állapotok számának) célszerű beállításait is érintik.

### Hálózatmodell

A mérés során vizsgált hálózat egy többrétegű, hipotetikus magyarországi hálózat. Bár az ország földrajza eléggé meghatározza a fizikai topológia kialakítását, sem ez, sem pedig a felsőbb rétegek összeköttetéseinek és berendezéseinek halmaza nem feleltethető meg egyik szolgáltatató hálózatának sem.

Rétegezett hálózati modell alatt egy olyan hálózati képet értünk, melyben különböző technológiai vagy logikai szintekre besorolható összeköttetések egymással kliens-szerver viszonyban állnak. Egy igény lebonyolítása több, különböző rétegbeli link segítségével történik, melyek a linkek hierarchiája alapján határozhatók meg. A rétegeket a FLEXPLANET terminológiában szintnek nevezzük és több, például a hálózatban hasonló szerepet betöltő szint halmazához egy kategóriát rendelhetünk.

A mérésben szereplő hálózat szintjei és kategóriái az alábbiak az egymásra épülés sorrendjében:

**OPTIKAI szint:** A legalsó szint, mely tartalmazza a kihúzott optikai szálakat, amik telephelyeket (site) kötnek össze. Ezek kapacitását a modellben végtelennek tekintjük.

**OMS kategória:** Minden optikai szálon egy optikai multiplex szakaszt építettünk ki. Ezen a kapcsolaton a hullámhossz-osztásos multiplexálás (WDM) segítségével több optikai csatornát vezethetünk. Az ilyen csatornákból felépített utat fényútnak (lightpath) nevezzük. Az optikai multiplex szakaszok olyan optikai eszközökben végződnek, melyeknél lehetőség van a megfelelő csatornák leválasztásával a fényutak végződtesére. Modellünkben az egyszerűség kedvéért nem különböztetjük meg a hullámhosszakat, (ezzel hasonló modellhez jutunk, mintha egy fényút minden csomópontjában engedélyeztük volna a hullámhossz-konverziót).

**ETHERNET kategória:** Az Ethernet technológiájú összeköttetések útírányító eszközök (routerek) kártyáin lévő portokban végződnek. Az ilyen rendszerek kapacitása függ a konkrét technológiától.

**IPLINK szint:** Minden egyes EHTERNET link pontosan egy IP linket valósít meg (routolt Ethernet eset). Ezek az összeköttetések a router berendezésekben végződnek.

**MPLSIGENY szint:** Az IP hálózat felett elvezetendő forgalmi igények egy véletlenszerűen generált átviendő kapacitás-mátrixnak felelnek meg. Értelemszerűen az útírányítók (router) szerepelnek az igények végpontjaiként. Az igények egyirányúak, egyesadásúak (unicast) és kapacitásuk mértékegysége kilobit/sec (kbps). Az elvezetésük során azonosítható, menedzselhető adatfolyamként kezeljük őket.

A FLEXPLANET a hálózati csomópontokra is értelmez tartalmazási hierarchiát. A hálózat telephelyei olyan csomópontok, melyekben a különböző berendezések találhatók. A berendezések további részletezését csak az Ethernet eszközök esetében tartalmazza a hálózat, itt még kártyákat és azokon portokat is megkülönböztetünk. A valamilyen szempontból hasonló eszközök halmazához egy sablont rendelhetünk.

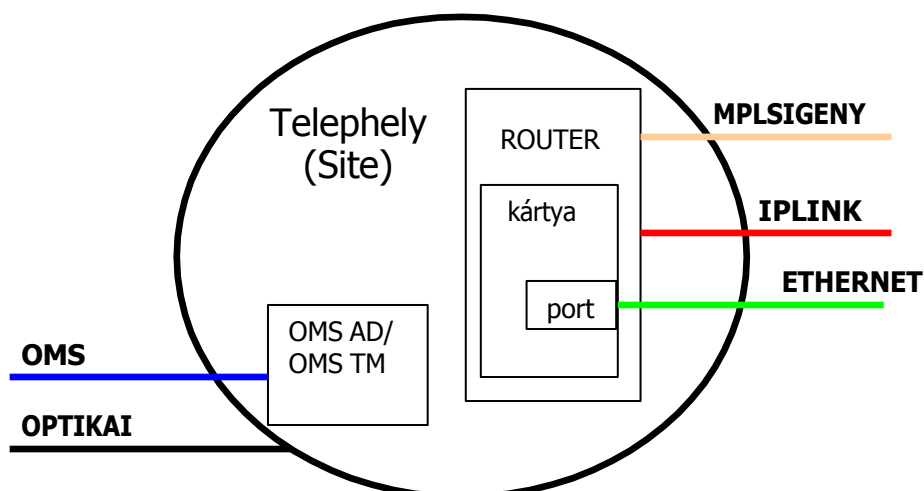
A hálózati modellben szereplő berendezéseket három sablonba soroltuk:

**OMS-AD sablon:** Az optikai add-drop multiplexerek funkciója a két kapcsolódó OMS összeköttetés egyes csatornáit ki- illetve bevezetni, míg a többi csatornát változatlanul továbbítani. Ilyen eszközöket a másodfokú optikai csomópontokban alkalmazhatunk.

**OMS-TM sablon:** Az optikai terminál-multiplexerek a kapcsolódó OMS linknek valamennyi csatornáját végződtetik. Ezek az eszközök nem túl drága építőelemei lehetnek a kettőnél többfokú optikai csomópontoknak. Minden irányhoz egy TM berendezést rendelve és az ezekben végződő csatornáknak tetszőleges összekötését megengedve hullámhossz-konverzióra képes optikai kapcsoló funkcióhoz jutunk. A telephelyen belüli összeköttést biztosító patch kábeleket a hálózati modell nem tartalmazza.

**ROUTER sablon:** Útírányító berendezéseket nem minden telephelyen találunk, de ahol van ilyen, ott mindenképpen kell legyen optikai eszköz is, hogy az Ethernet linkek megvalósíthatók legyenek a WDM hálózat felett. Az optikai és az útírányító eszközt összekötő patch kábel (vagy más összeköttetés) nem része a modellünknek.

Az alábbi ábra bemutatja a hálózatelemek elhelyezkedését és viszonyát egy IP eszközt tartalmazó telephelyen.



A mérés alatt megvizsgálandó egyszerű védelmi módszereket az Ethernet linkek és az igények elvezetésében alkalmazzuk. Az alábbi védelmi megoldások egyes kombinációit kell sorra venni:

- Ethernet szintre
  - védelem nélküli elvezetés,
  - 1+1 útvédelem pontfüggetlen utakkal,

- MPLS igényekre
  - statikusan konfigurált, védelem nélküli elvezetés,
  - statikusan, TE alapon konfigurált, védelem nélküli elvezetés,
  - egyszerű helyreállítás.

Az MPLS igények egyszerű helyreállítását azzal modellezzük, hogy az igényeket az OSPF protokoll alapján vezetjük el, az OSPF-ben használt IP linkek felett. A protokoll szempontjából a hálózatunk egyetlen tartományra (area0) korlátozódik, melyben valamennyi IPLINK összeköttetés benne van. Az elvezetés során az ECMP terhelésmegosztást ne használjuk, vagyis csak 1 irányba történhet elágazás minden egyes routernél.

Az eredményeket az MPLS igényeknél tapasztalt hatások alapján kell összehasonlítani. Az alsó rétegek hibáiból eredő, a magasabb rétegekben jelentkező összeköttelési problémák számszerű jellemzőit (kiesett igények száma, kiesett igénykapacitás) kell kiértékelni és összevetni.

### Megbízhatósági elemzés

A megbízhatósági elemzésnél ezúttal csak a kiesési időarány (DTR, down time ratio) jellemzőre koncentrálnunk, ami egy hálózati elemre, (ami akár egy igény is lehet) a teljes időnek meghibásodott állapotban töltött arányát írja le. Ezeket az értékeket fizikai hálózatelemekre gyári és tapasztalati adatokból kiindulva adhatjuk meg. A DTR értéket a magasabb szintek kapcsolatainál az őt kiszolgáló elemek adatainak megfelelő kombinálásával kaphatjuk meg (erről bővebben lásd a megbízhatósági elemzéssel foglalkozó oktatási anyagokat és irodalmat).

A DTR értékét az  $MTTR/(MTTR+MTBF)$  képlettel számíthatjuk ki, ahol az MTTR (Mean Time To Repair) az átlagos javítási időt, az MTBF (Mean Time Between Failures) pedig az egy elemet érintő két hiba között eltelt idő átlagos értékét jelzi. Az utóbbit a következő hibáig eltelt idő átlagának (Mean Time To Failure) és a javítási idő átlagának összegeként ( $MTTF+MTTR$ ) becsüljük.

A meghibásodni képes elemekkel kapcsolatban az alábbi feltételezéseink vannak:

- az azonos sablonú csomóponti elemek azonos tulajdonságúak,
- a hálózati elemek egymástól függetlenül hibásodnak meg,
- az első (vagy következő) hibáig eltelt időt egy memóriamentes (exponenciális eloszlású) valószínűségi változó írja le.

A link jellegű elemek esetén ettől csak azoknál a szinteknél térünk el, ahol az egyes elemekhez hossz-információt is tárol a modell (ezek a *graflink* típusú linkek). Ezeknél a DTR értéket fajlagosan, egy egységnyi (tipikusan egy kilométernyi) szakaszra vetítve adjuk meg. Egy ilyen linkre kapott DTR hosszfüggő lesz, amit a soros megbízhatósági rendszer szabályai alapján kell kiszámolni. Ezt a számolást a mérésnél használt program el tudja végezni, itt nem részletezzük.

Ha minták alapján kell becsülnünk az MTTF értékét, akkor a következő gondolatmenetet követhetjük a hosszfüggetlen esetben (például ROUTER sablonú csomópontok esetében, melyek száma a hálózatban NROUTER):

1. az egyes mintákból kapott meghibásodási idő értékeket átlagoljuk (Tátl),
2. az egyes meghibásodási idők az NROUTER darab független ROUTER csomópontból álló rendszerben bekövetkező első hiba idejére kapott mintaként tekinthetők,

3. az NROUTER darab független ROUTER csomópont első meghibásodásának idejét leíró eloszlás is exponenciális, melynek paramétere:  $\lambda N = 1/T_{\text{ÁTL}}$ ,
4. az egyetlen ROUTER csomópont meghibásodási idejéhez tartozó exponenciális eloszlás paramétere:  $\lambda = \lambda N / \text{NROUTER}$ ,
5. egy ROUTER csomópont várható meghibásodási ideje:  $\text{MTTF}_{\text{ROUTER}} = 1/\lambda$

Fontos, hogy az NROUTER darabszám nem a minták száma, hanem a hálózat összes ROUTER sablonú elemének száma.

A hosszfüggő DTR meghatározásakor hasonlóképpen kell eljárni, de a meghibásodási idő mintáiból számolt átlagnál a meghibásodott elem hosszával súlyozva kell figyelembe venni az értékeket. NOPTIKAI értéként nem az optikai linkek darabszámát, hanem azok összhosszát kell használni.

Az MTTR becslése jóval egyszerűbb, ehhez egyszerűen (nem súlyozva) átlagolni kell a mintákban szereplő javítási időket. Mivel a javítás már egy adott elemre történik, nem kell figyelembe venni a hálózatban

### **Többrétegű hálózat megbízhatósági elemzése**

Megbízhatósági szempontból az egyetlen fizikailag meghibásodható linkszint az OPTIKAI. A csomópontoknál alkalmazott sablonok egyben a megbízhatóság alapján egy halmazba tartozásra is utalnak. Így az azonos sablonú berendezések a működési komplexitás hasonló mértékéből következően, vagy a konkrét gyártó és típus egyezése miatt kerülnek egy halmazba.

A mérésnél az alábbi elemekhez elérhető hibastatisztikákból indulunk ki: OPTIKAI link, OSM-AD berendezés, OSM-TM berendezés, ROUTER berendezés.

Az itt nem felsorolt elemfajták (linkek és csomópontok) vagy ideálisnak tekinthetők vagy származtatással kaphatjuk a DTR értékeiket.

A véletlenszerűen bekövetkező fizikai meghibásodások akkor lesznek tényleges hatással egy-egy igényre, ha a különböző rétegekben használt védelmi megoldások nem képesek megvédeni azt. A hatás legrosszabb esetben az igény megszakadását, kiesését jelenti. A vizsgálatok során ezeknek a kieséseknek a valószínűségét szeretnénk meghatározni.

A hálózat megbízhatósági elemzésének több célja is lehet, nem csak az egyszerű kiesési jellemzők az MPLS igények szintjén. Ilyen például az, hogy a hibák miatti helyreállítás, vagy védelmi átkapcsolás esetén milyen valószínűséggel számíthatunk túlterhelésre az IP linkeken. Ezúttal nem foglalkozunk ezekkel a tervezéshez egyébként szintén hasznos információkkal

Ha a hálózat egészének megbízhatóságát akarjuk jellemezni, akkor használhatjuk a hálózati teljesítményindexet (NPI). Ez egy adott hálózati jellemző várhatóértéke a hálózati hibák állapottere felett. A mérés során ezt az átvihető igénykapacitás aránya alapján értelmezzük. A teljesítményindex pontos meghatározásához a teljes állapotterre szükség lenne, ezért szűkebb minta alapján végzett becslést végzünk. A becslés gyakorlatilag a valószínűségekkel súlyozott összeg számítását jelenti. Ez a becslés egy alsó becslés az NPI-re. Az alsó becslés eredményéhez hozzáadva a nem vizsgált állapotok összvalószínűségét, felső becslés kapunk (Li-Sylvester korlátok).

A védelmek alkalmazása miatt a magasabb rétegekben akkor sem biztos, hogy kiesést tapasztalunk, ha akár több optikai kábel, vagy berendezés meghibásodik. Ahhoz, hogy

összevethető eredményekhez jussunk, viszonylag nagyszámú hibaállapot kiértékelése lesz szükséges, és ennek vizsgálata szintén része a feladatnak.

## A FLEXPLANET rendszer

A feladatok elvégzéséhez a FLEXPLANET hálózattervező és elemző szoftver egyes funkcióit kell felhasználni. A *FlexFrame* keretrendszer csak egyszerű, beszédes nevű listázó, konvertáló, illetve hálózatmodelljeink kezelését és a tervezést megszervező funkciókat valósít meg.

A paraméterek megadásához saját grafikus felülettel rendelkező tervezőlépések (pluginok) a *Tervezés* gombbal előhívható listából választva érhetők el és ezek használatakor érdemes az aktuális *Help*-ben leírtakból kiindulni. A konzolfelületen keresztül elérhető listázási funkciókról részletes leírást találunk a mellékelt *FPCOM.pdf* fájlban.

Egy kiválasztott hálózatnak a *Megjelenítés* gombbal előhívható grafikus megjelenítésekor használható funkciókat a megjelenítő ablak (*FlexPlanDraw* program) *Segítség/Billentyűzet kiosztás* menüpontjával listázhatjuk.

A keret és a megjelenítő egyes funkcióiról bővebb leírást talál a program felhasználói leírásának kivonatában, az *FPMankiv.pdf* fájlban.

## Feladatok

### 1. feladat

Indítsa el a *FlexFrame* alkalmazást, töltsse be és ismerkedjen meg a *DTRRef* referenciahálózattal, amely a fent vázolt eszközöket és összeköttetéseiket tartalmazza! Használja a grafikus megjelenítőt (*Megjelenítés* gomb) a hálózatelemek és információik megnézésére! Mind az Ethernet linkek, mind az MPLS igények egyelőre elvezetetlenül vannak benne a hálózatban. Jelenítse meg ezeket önállóan a „Virtuális topológia” funkció használatával, és adja meg néhány kiválasztott elem jellemzőit.

Mivel a referencia hálózatot nem lehet módosítani, készítsen róla tervezhető (és elemezhető) másolatokat a további feladatok elvégzéséhez (jobb gomb: *Betöltés*, majd *Mentés tervként*).

### 2. feladat

Becsülje meg a meghibásodható elemek DTR értékeit a *FailLog.txt* naplófájl alapján.

A fájl első sorában a naplózás kezdetét tüntették fel. A további sorok a meghibásodott hálózatelemek legfontosabb jellemzőit (azonosító, szint/sablon, gráfink esetén hossz-információ), a meghibásodások időpontját, és az újbóli üzembe helyezés (javítás) időpontjait tartalmazzák.

A DTR számításához szükséges idő értékeknél a naplózás kezdetéhez viszonyítjuk az eltelt időt. A becsléshez alkalmazza a fent ismertetett módszert.

A becsült DTR, és fajlagos DTR értékek alapján állítsa be a megfelelő hálózatelemek DTR információit a konzolon kiadható parancsok segítségével. Az így felparaméterezett hálózatot célszerű elmenteni és a további feladatokban ebből kiindulni, például másolatot készítve belőle az egyes feladatokhoz.

### 3. feladat

a) Vezesse el az Ethernet linkeket az OMS szint felett hosszalapú egyutas elvezetéssel, és az MPLS igényeket hopszám alapú egyutas elvezetéssel.

b) Végezze el a hálózat megbízhatósági elemzését. A megoldáshoz alkalmazza a Reli elemzőlépést az IPLINK szintre, mint igényszintre. Az eseményeket értelemszerűen a DTR nevű infóval rendelkező hálózatelemek halmaza jelenti. Az elemzésnél a 100 000 legvalószínűbb hibaállapotot vegye figyelembe.

c) Értékelje a kimenetként kapott ReliStat.txt és ReliOut.txt fájlt!

A ReliStat.txt statisztika fájl elemeinek jelentése a következő

# Vxx: Az xx hibaállapot leírása (valószínűség), amit az ebben az állapotban bekövetkezett elemi hibaesemények (vagyis a hibás elemek) listája követ.  
 # E Az egyik elemi hibaesemény, mely az adott hibaállapotban bekövetkezett  
 # THyy Az yy hálózati hibakonfiguráció leírása (valószínűség és az erre vezető hibaállapotok száma). Ezt a kiesett igények és az említett állapotok felsorolása követi. A TH0 nincs külön kiírva  
 THzz Az egyik, a zz konfigurációban megsérült, az elemzés szempontjából igényként tekintett hálózatelem

A ReliOut.txt fájl oszlopainak értelmezése az állapotokra vonatkozó szakaszban:

<i>állapotazonosító</i>	<i>hibamélység</i>	<i>állapot-valószínűség</i>	<i>túlélő igénykapacitás aránya</i>
-------------------------	--------------------	-----------------------------	-------------------------------------

Ezt követően egy speciális sor összegzi a vizsgált állapotokat, az alábbi oszlopokkal:

<i>V</i>	<i>vizsgált állapotok száma</i>	<i>a nem vizsgált állapotok összvalószínűsége</i>	<i>a kieső kapacitás becsült várható értéke</i>
----------	---------------------------------	---	---

Végül egy olyan szakasz következik, mely az igényekre vonatkozik:

<i>igényazonosító az elemzésben (Dnn)</i>	<i>igényazonosító a hálózatban (Dmm)</i>	<i>kapacitás</i>	<i>az elemzésből adódó DTR érték</i>
---	--	------------------	--------------------------------------

Az alábbi kérdések megválaszolásához induljon ki az eredményfájlokban szereplő adatokból, állapotokból.

- d) Melyik állapot okozta a legnagyobb arányú igénykiesést? Milyen elemek meghibásodásával adódott, és mekkora a valószínűsége?
- e) Melyik igény esik ki a legnagyobb valószínűséggel?
- f) Adjon alsó és felső becslést az NPI értékére! (Tipp: az elhanyagolt állapotokban legrosszabb esetben minden igény kiesik, legjobb esetben egyik sem, ezért használható a Li-Sylvester becslés.)

#### 4. feladat

a) Vezesse el az Ethernet linkeket az OMS szint felett hosszalapú egyutas elvezetéssel, és az MPLS igényeket hopszám alapú egyutas kapacitások elvezetéssel. Az igényeket csökkenő sávszélesség alapján állítsa sorba. A linkek kapacitását is figyelembe véve nem minden igénynek sikerül útvonalat találni (nem mindegyik fér be).

Végezze el sorban a 2. feladatnál is látott b) – f) részfeladatokat erre a hálózatra is.

#### 5. feladat

a) Vezesse el az Ethernet linkeket az OMS szint felett hosszalapú egyutas

elvezetéssel, és az MPLS igényeket OSPF elvezetéssel.

Végezze el sorban a 2. feladatnál is látott b) – f) részfeladatokat erre a hálózatra is. Az OSPF elvezetés esetén az egyes hibaállapotokban az érintett igényeket helyreállítjuk (újra elvezetjük), ezért az elemzés tovább tarthat.

### **5., 6. és 7. feladat**

Végezze el a 2., 3. és 4. feladatban látott részfeladatokat azokra az esetekre is, amikor az Ethernet linkeket az OMS szint felett hosszalapú csomópontfüggetlen kétutas elvezetéssel vezeti el.

### **8. feladat**

A kapott eredmények alapján vonjon le következtetéseket az alábbi kérdésekben:

- a) Mekkora különbségek adódnak a hálózat megbízhatóságában, ha az Ethernet linkeket védelem nélkül, illetve védetten valósítjuk meg?
- b) Érdemes-e több hálózati rétegben (szinten) is védelmet, illetve helyreállítást alkalmazni?

### **9. feladat**

Végezze el ismét a 2. feladatban is vizsgált esetre a b) részfeladatot, de 100 000 helyett 50 000, majd 150 000 állapot figyelembe vételével! Értékelje a d) – f) feladatokban előállított eredményekben tapasztalható különbségeket.

## **Beadandó eredmények**

A mérési jegyzőkönyvet a feladatokhoz kapcsolódóan kell elkészíteni a helyszínen. A mérés végén a jegyzőkönyvet a mérésvezetőnek be kell mutatni és elektronikus formában az általa megadott helyre (címre) el kell juttatni.

## **FLEXPLANET háttéranyagok**

- FPCom.pdf – a FLEXPLANET rendszer konzolos funkcióinak felhasználói kézikönyve
- FPMankiv.pdf - a FLEXPLANET rendszer felhasználói leírásának rövidített változata
- PlanView\_alapok.pdf – a FLEXPLANET rendszer grafikus megjelenítő felületének rövid leírása

## **Hivatkozások**

- [1] Pándi Zsolt: IP routerek megbízhatósági modellezése, kézirat, BME Híradástechnikai tanszék, 2005, kézirat
- [2] Krzysztof Iniewski, Carl McCrosky, Daniel Minoli: Network Infrastructure and Architecture: Designing High-Availability Networks. Wiley, 2008, ISBN-10: 0471749060

Készítette: Zsóka Zoltán, Jakab Tivadar, 2018. március 28.