

MÉRNÖKI MODELLALKOTÁS AZ ELMÉLETTŐL A GYAKORLATIG

MEGBÍZHATÓ ÚTVONALVÁLASZTÁS HÁLÓZATI KÓDOLÁSSAL

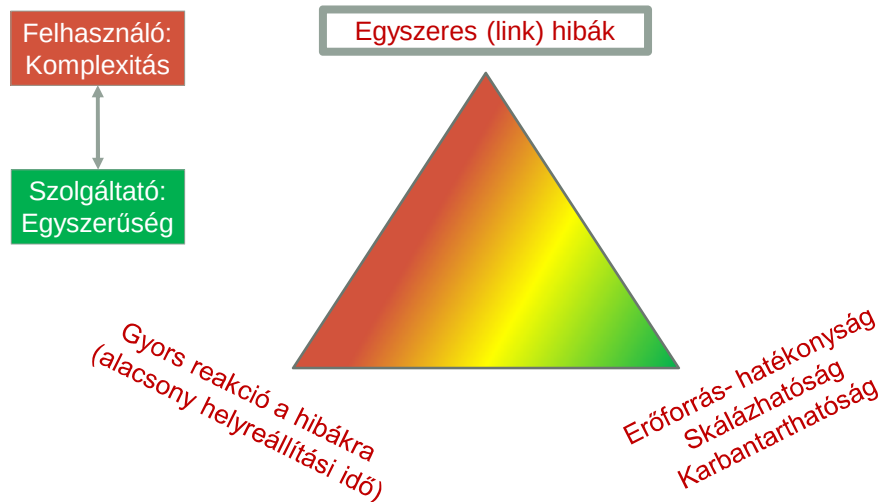
Dr. Babarczi Péter
egyetemi adjunktus

BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
MTA-BME Lendület Jövő Internet Kutatócsoport

2

Megbízható útvonalak tervezése

Egymásnak ellentmondó feltételek

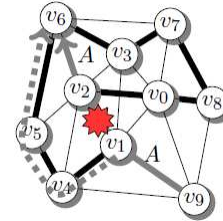


Referencia védelmi módszerek

Az adatot küldjük az üzemi úton (working path, **W-LP**), melynek a kiesését védelmi úttal/utakkal védjük (protection path, **P-LP**)

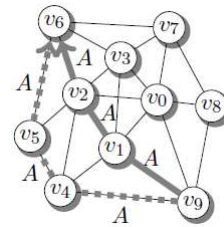
• P-Cycles (védő körök)

- Előre definiált „közös” védelmi erőforrások a hálózatban
 - Egyszerre biztosítják a P-LP-t a kör linkjein, illetve a kör „húrjain” áthaladó W-LP-k számára
 - W-LP $v_9 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_6$ adott szakasza átkapcsolható a $v_9 \rightarrow v_1 \rightarrow v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6$ P-LP-re a (v_1, v_2) kör-él hibája esetén.
- + **Hatékony erőforrás használat** (P-LP-k megosztása W-LP-k között): 60-70% redundancia
- - **lassú (legalábbis nem azonnali) helyreállítás** a belső csomópontok kapcsolási beállításai miatt (40-50 ms)



• 1 + 1 védelem

- Egy felhasználó adatát (A) két egymástól (link / csp / hiba)-független úton párhuzamosan küldjük a forrás (v_9) és a célcsomópont (v_6) között
 - Hiba esetén csak a cél csp kapcsol, minden más változatlan
- + Nincs szükség jelzésekre hiba esetén (kvázi **azonnali helyreállítás**)
- - **Több, mint 100% redundancia**

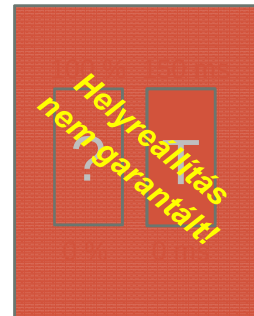
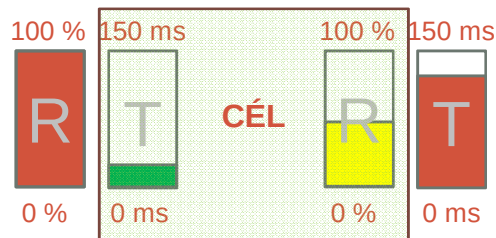


Erőforrás-hatékonyság – helyreállítási idő trade-off

Szerződésben adott rendelkezésre állás garantálása mellett

- Cél: kiküszöböljük, de legalábbis csökkentjük a trade-off-ot (azaz teljesítjük egyszerre mindkét feltételt) a legújabb hálózati kódoló technikák segítségével.

Hozzárendelt védelem Előre tervezett helyreállítás Dinamikus helyreállítás
(Megosztott védelem)



1. irány: Gyors hibamonitorozás

Megosztott védelem hatékonyságát megtartva csökkentjük a helyreállítási időt

- Valós-idejű feladatok meghibásodás esetén (helyreállítási idő, t_R):

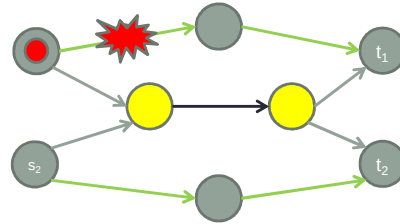
- Hiba detektálás
- Hiba lokalizáció (t_l)
- Hiba szétterjesztés (t_n)
- Hiba korreláció (t_c)
- Hiba helyreállítás
 - Útvonal kiválasztása (t_p)
 - Eszköz konfiguráció (t_d)

Hiba
menedzsment

t_R megosztott védelem
estén (150 ms):

- $t_l = 10$ ms
- $t_n = 20-30$ ms
- $t_c = 20-30$ ms
- $t_p = 0-30$ ms
- $t_d = 50$ ms

- Monitorozó utak** segítségével a csomópontok azonnal képesek eldönteni, hogy milyen védelmi kapcsolást kell végrehajtani
 - Nincs szükség lassú jelzésekre, hiba lokalizációs és szétterjesztési idő „fénysebességgel” működik

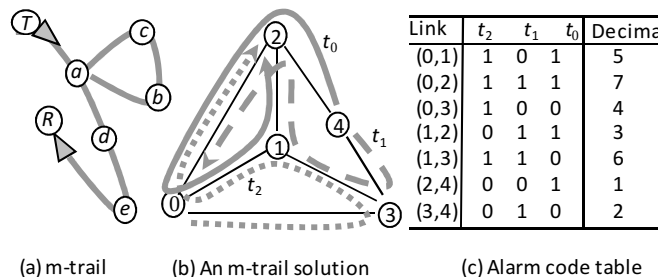


Optikai hiba lokalizáció

Monitorozó utak (S-LP vagy m-trail) bevezetése

- Unambiguous Failure Localization**

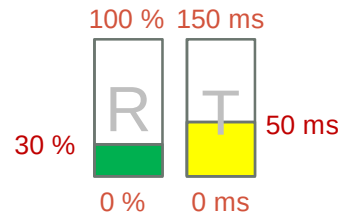
- Minden egyes linken az m-trailek egyedi halmaza halad keresztül (ekvivalens: a hibakód tábla sorai egyediek)



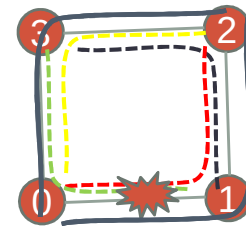
Optikai hiba lokalizáció

A jelzések teljesen kiküszöbölhetőek

- Minden kapcsoló csomópont képes a megszakadt összeköttetéseket helyreállítani **mindenfajta jelzés nélkül**
 - Miután a hibát lokalizálta, azonnal megkezdheti a kapcsoló mátrixok beállítását (50 ms alatti helyreállítás)



Node 2				Action
0-1	0	0	1	SW 1->3
1-2	0	1	1	
2-3	1	1	0	
3-0	1	0	0	



János Tapolcai, Pin-Han Ho, Péter Babarczi, and Lajos Rónyai, *On Achieving All-Optical Failure Restoration via Monitoring Trails*, in Proceedings of the **32nd IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM)**, pp. 380-384, Turin, Italy, 2013.

2. irány: Ellenálló útvonalválasztás

Hozzárendel védelem helyreállítási idejét csökkentve javítsuk annak hatékonyságát

Definíció: Azt mondjuk, hogy $R = (VR, ER, f)$ egy **ellenálló megoldás** a $G = (V, E, k)$ gráfban (az éleken k szabad kapacitással), hogyha a $D = (s, t, d)$ igényre (s forrás, t cél, d sávszélesség) $\forall e \in ER: f(e) \leq k(e)$, és R bármely élét eltávolítva még marad legalább f folyam $s - t$ között $F \geq d$ értékkel.

- Két feladatot kell egymás után (de nem feltétlen függetlenül) megoldani:
 - 1) Találjunk egy ellenálló megoldást minimális költséggel (azaz **találjunk egy kódoló részgráfot**)
 - 2) Találjunk egy megfelelő folyam elvezetést (konfigurációt) ezen a megoldáson (azaz **találjunk egy robusztus hálózati kódot**)
- CÉL:** ne kelljen folyamokat újratervezni, vagy csomagokat újraküldeni meghibásodás esetén

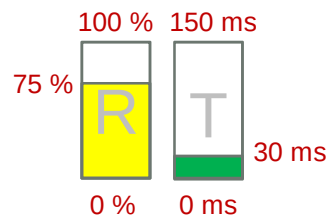
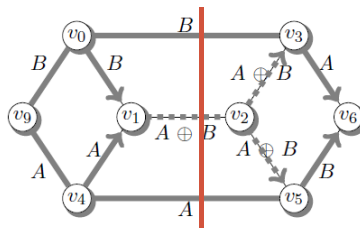
Robusztus hálózati kódolás

Közbülső csomópontok a hibától függetlenül ugyanazt az algebrai műveletet hajtják végre



- **Lassú helyreállítás:** a legtöbb erőforrás-hatékony módszer megosztja a védelmi erőforrásokat, így a hiba után *lokalizálni* kell azt, majd adaptálni az összeköttetést a megfelelő *védelmi kapcsolással*, majd az adatot *újra kell küldeni*.
- **Azonnali helyreállítás:** Nem különböztetjük meg üzemi és védelmi erőforrásokat, azok képesek egymás szerepét átvenni (a hálózat hiba esetén **automatikusan** használhatja a redundáns adatokat).
 - Az erőforrás-hatékony érdekében alkalmazzuk a legújabb hálózati kódoló módszereket.

$D=(v_9, v_6, 2)$
Hibák: (v_0, v_3) ,
 (v_1, v_2) , (v_4, v_5)



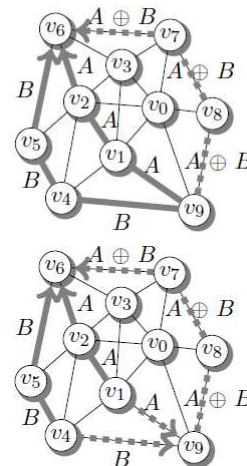
Péter Babarczy, János Tapolcai, Pin-Han Ho, and Muriel Médard, *Optimal Dedicated Protection Approach to Shared Risk Link Group Failures using Network Coding*, in Proceedings of the **IEEE International Conference on Communications (ICC)**, pp. 3051-3055, Ottawa, ON, Canada, 2013.

Hozzárendelt védelem statikus útvonalválasztással

Erőforrás-használat javítása **azonnali helyreállítás** biztosítása mellett



- **Diverzitás kódolás**
 - Két részre osztott felhasználói adat (A és B) és az $A \oplus B$ redundanciát 3 úton küldjük.
 - + **100%-ról 50%-ra csökkentettük az 1+1 redundanciáját!**
 - - DE: csak min. 3-link összefüggő topológiákban
- **Felhasználók közötti 1+1 hálózati kódolás**
 - **inter-session network coding**
 - Két összeköttetés $(v_4 - v_6)$ és $(v_1 - v_6)$ közvetlen küldi az adatát a **közös célcsomópontnak**, és egy **kódoló csomópontnak** (v_9)
 - + Ennél gazdaságosabbat nem igazán tudunk statikus útvonalválasztás esetén (azaz ha az igények előre adottak)
 - - DE: NP-teljes (nehéz optimális megoldást találni)



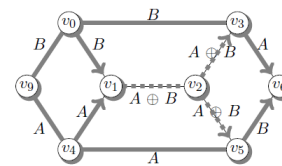
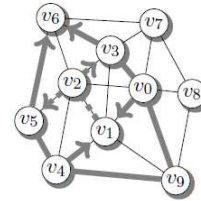
Péter Babarczy, Gergely Biczók, Harald Øverby, János Tapolcai, and Péter Soproni, *Realization Strategies of Dedicated Path Protection: A Bandwidth Cost Perspective*, **Elsevier Computer Networks (ComNet)**, vol. 57, no. 9, pp. 1974-1990, impact factor 1.282, 2013.



Hozzárendelt védelem dinamikus útvonalválasztással

Erőforrás-használat javítása **azonnali helyreállítás** biztosítása mellett

- Általános hozzárendelt védelem (GDP)
 - Nem mondjuk meg előre, hogy nézzen ki a megoldás, egyetlen kritérium, hogy ellenálló legyen.
- GDP útvonalválasztással (GDP-R)
 - Hagyományos **store-and-forward** megközelítés
 - Többszörös hibák esetén NP-teljes
- GDP hálózati kódolással (GDP-NC)
 - Új, **compute-and-forward** megközelítés: **intra-session network coding**
 - Dinamikus: kizárólag egy felhasználó adatán dolgozhatunk (igények egymástól függetlenül bonthatók és elvezethetők)
 - + Elméleti alsó korlát az erőforrás használatra az azonnali helyreállítást garantáló védelmi módszerek között (**polinom időben számolható kódoló gráf**)
 - **Csak elméleti jelentőségű:** Ennek eléréséhez a felhasználói adatot tetszőleges finomságúra kell darabolni, ráadásul bonyolult (magas GF feletti) kódok



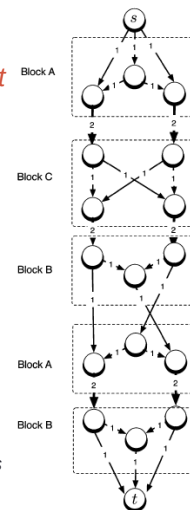
Péter Babarczi, Alija Pašić, János Tapolcai, Felicián Németh, and Bence Ladóczki, *Instantaneous Recovery of Unicast Connections in Transport Networks: Routing versus Coding*, **Elsevier Computer Networks (ComNet)**, vol. 82, SI on Robust and Fault-Tolerant Networking, pp. 68-80, impact factor 1.282, 2015.



Robusztus kódok unicast összeköttetéseknek

Feladat: Keressünk egy gyakorlatban is alkalmazható módszert!

- Két feladatot vizsgál:
 - Megosztott védelem két unicast összeköttetésnek.
 - Egy unicast összeköttetés védelme, melynek adata két részre osztható.**
- Minimális költségű kódoló részgráfban felfedez egy speciális struktúrát
 - Eredmény: **XOR kódolás elegendő** -> egyszerű módszer hálózati kód konstruálására
 - DE: hálózati kódoláshoz módosítanunk kell a hálózat belsejét, aminek a felügyelete nem a mi kezünkben van!
- Tudunk-e ennél is többet mondani?*



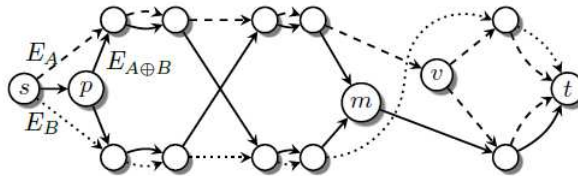
Samil El Rouayheb, Alex Sprintson, and Costas Gheorgiades, *Robust Network Codes for Unicast Connections: A Case Study*, **IEEE/ACM Transactions on Networking (ToN)**, vol. 19, no. 3, pp. 644-656, impact factor 2.033, 2011.

Resilient Flow Decomposition (RFD)

Egy fontos speciális eset: egyszeres link hiba védelem két részre osztott felhasználói adattal



- **Ahol a gráfelmélet mégis hatékonyabb, mint az algebra...**
- **Tétel:** Tegyük fel, hogy egy ellenálló megoldás minimális költségű. Ekkor mindig létezik három élhalmaz -ben (továbbító DAG), melyek közül bármely egyszeres link hiba esetén legalább kettő összeköti forrást a céllal.
 - Csak osztók (p) és összevonók (m) szükséges a hálózat első csomópontjaiban.
 - **XOR kódolás/dekódolás elegendő a forrás és célcsomópontban.**
 - A hálózati kód (azaz a konfiguráció = továbbító DAG-ok) **lineáris időben** megtalálhatóak egy adott **minimális költségű** megoldásban.



Péter Babarcsi, János Tapolcai, Lajos Rónyai, and Muriel Médard, *Resilient Flow Decomposition of Unicast Connections with Network Coding*, in Proceedings of the **IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT)**, pp. 116-120, Honolulu, HI, USA, 2014.

Survivable Routing with Diversity Coding (SRDC)

Minimális költségű kódoló részgráf találása, melyen RFD már alkalmazható

- A megoldásnak nagyon speciális tulajdonsága van (utak és „szigetek” alkotják az egyes továbbító DAG-okat)
- **Javító utak segítségével polinom időben** megoldható, ha minden linken végtelen a kapacitás

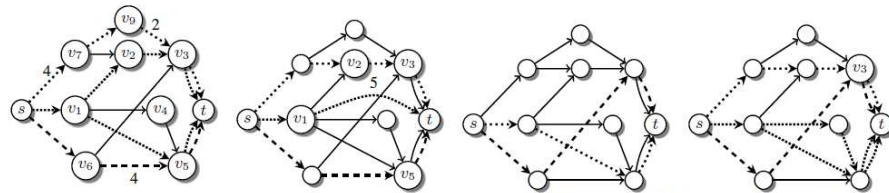


Fig. 2. An example network $G^* = (V, E^*, c)$ with capacity constraint on the edges (remember from the construction of G^* that $k(e) = 2$ edges in G are parallel edges in G^*), where $c(e) = 1$, or written next to the edge otherwise. The edges of the routing DAGs E_A, E_B and $E_{A \oplus B}$ are denoted as dashed, dotted and densely dotted lines, respectively. Here Algorithm 1 fails for connection $D = (s, t, 2)$.

Alija Pašić, János Tapolcai, Péter Babarcsi, Erika Bérczi-Kovács, Zoltán Király, and Lajos Rónyai, *Survivable Routing Meets Diversity Coding*, in Proceedings of the **IFIP Networking Conference** (Networking), pp. 1-9, Toulouse, France

MINERVA – High-availability networking



GN3Plus (GÉANT) FP7 Project Open Call nyertese (2013 november – 2015 március)

- Egyszerű, skálázható hálózati kódolás implementálása, előnyeinek demonstrálása a GÉANT európai oktatói-kutatói hálózat OpenFlow rendszerében (GOFF)
- <http://www.geant.net/opencall/SDN/Pages/MINERVA.aspx>

RFD a gyakorlatban

Fejléc struktúra – end-to-end XOR-nak köszönhetően egyszerű

- Saját (custom) hálózati kódoló fejléc (MPLS címkével megvalósítva)
 - 3 címke: egy a típust, kettő a tartalmat határozza meg
- Egyszerű hálózati kód: nincs szükség külön global encoding vector-ra, a csomag fejléce egyértelműen meghatározza annak tartalmát

1 – A flow 2 – B flow 3 – A+B flow	A MPLS label 0 – No A flow SEQ numA	B MPLS label 0 – No B flow SEQ numB
--	---	---

MINERVA fejléc

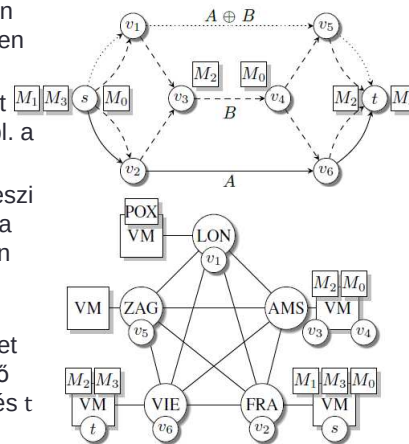
Ethernet header (VLAN ID)	MINERVA header	IP header (SEQ num, checksum)	UDP header (SEQ num, checksum)	PayloadMPLS flow ID 1 – A flow 2 – B flow
------------------------------	----------------	----------------------------------	-----------------------------------	---

A csomag fejlécebe beágyazva (Ethernet és IP közé)

Virtuális Hálózati Funkciók

Tetszőleges RFD megoldás elvezethető az alábbi VNF-ekkel

- **Osztó (M_0):** duplikálja az adott interfészen beérkező csomagokat és két kimenő linken továbbítja őket (s és v_4).
- **Sorrendező (M_1):** a felhasználói folyamat két részre (A és B) osztja az s forrásnál pl. a paritás alapján.
- **Összevonó (M_2):** ugyanazt a folyamat veszi két bejövő interfészen, és az egyiket (hiba esetén a sértetlent) továbbítja az egyetlen kimeneti linkjén (v_3 és t).
- **Kódoló/dekódoló (M_3):** gyors csomagfeldolgozást végez a XOR művelet segítségével, és kezeli a sorokat a bejövő csomagok várakoztatására (mindig az s és t csomópontokban).



Bence Ladóczki, Carolina Fernandez, Oscar Moya, Péter Babarczi, János Tapolcai, and Daniel Guija, *Robust Network Coding in Transport Networks*, in Proceedings of the **34th IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM) Demo session**, pp. 1-2, Hong Kong, 2015.
http://lendulet.tmit.bme.hu/~babarczi/presentations/2015_Infocon_Poster.pdf
<http://lendulet.tmit.bme.hu/~babarczi/presentations/Minervainfocom2015.avi>