

MÉRNÖKI MODELLALKOTÁS AZ ELMÉLETTŐL A GYAKORLATIG

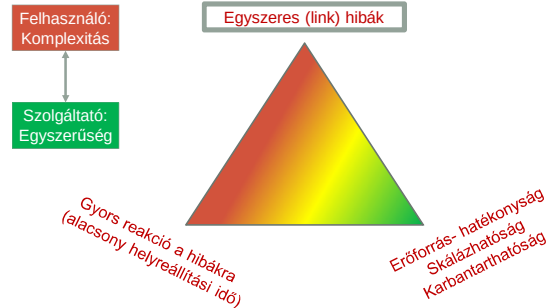
MEGBÍZHATÓ ÚTVONALVÁLASZTÁS HÁLÓZATI KÓDOLÁSSAL

Dr. Babarczi Péter
egyetemi adjunktus

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

Megbízható útvonalak tervezése

Egymásnak ellentmondó feltételek

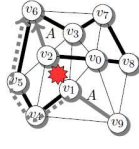


Referencia védelmi módszerek

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

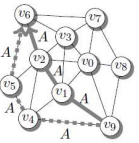
P-Cycles (védő körök)

- 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 $v_0 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3$ adott szakasza átkapcsolható a $v_0 \rightarrow v_1 \rightarrow v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6$ 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_0) és a célcsoópont (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**

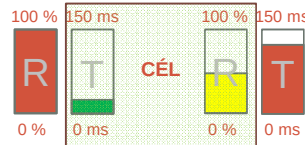


Erőforrás-hatékonyság – helyreállítási idő trade-off

Szerződésben adott rendelkezésre állás garantálása mellett

- Cél: kiküszöböljük, de legalábbis csökkentjük a trade-off-ot (azaz teljesítsük 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

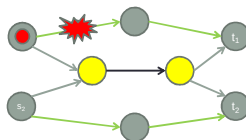
- Valós-idejű feladatok meghibásodás esetén (helyreállítási idő, t_R):

- 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 „fényssebességgel” működik

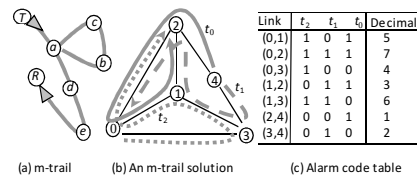


Optikai hiba lokalizáció

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)



7

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)

100 % 150 ms
30 % 50 ms
0 % 0 ms

R T

Node 2

	0	0	1	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 Babarcsi, 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.

8

2. irány: Ellenálló útvonalválasztás

Hozzárendelt védelem helyreállítási idejét csökkentve javítjuk 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 sáv szélesség) $\forall e \in ER: f(e) \leq k(e)$, és R bármely élett 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

9

Robusztus hálózati kódolás

Közös 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-hatékonyan érdekében alkalmazzuk a legújabb hálózati kódoló módszereket.

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

100 % 150 ms
75 % 30 ms
0 % 0 ms

Péter Babarcsi, 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.

10

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 célcsoomópontnak**, és egy **kódoló csomópontnak** (v_3).
 - + Ennél gazdaságosabbat nem igazán tudunk statikus útvonalválasztás esetén (azaz ha az igények előre adottak)
 - DE: NP-teljes (nehéz optimális megoldást találni)

Péter Babarcsi, 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.

11

Hozzárendelt védelem dinamikus útvonalválasztással

Erőforrás-használat javítása azonnali helyreállítás biztosítása mellett

- Általános hozzárendelt védelem (GDP)
 - Nem mondjuk meg előre, hogy nézzem 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 finomságra kell darabolni, ráadásul bonyolult (magas GF feletti) kódok

Péter Babarcsi, Alija Pašić, János Tapolcai, Felician 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.

12

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?**

Samir El Rouayheb, Alex Sprintson, and Costas Gheorghe, 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.

13

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 érhalmaz -ben (továbbító DAG), melyek közül bármely egyszeres link hiba esetén legalább kettő összeköti a forrást a céllal.
- Csak osztók (p) és összevonók (m) szükséges a hálózat belső csomópontjaiban.
- XOR kódolás/dekódolás elegendő a forrás és célcsoomópontban.**
- 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.

14

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+B} are denoted as dashed, dotted and densely dotted lines, respectively. Here Algorithm 1 fails for connection $D = (s, t, 2)$.

Alja 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

15

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>

Participants: Info-BéH Future Internet Research Group (Izot)

Objective: To deploy a robust network coding architecture in the GÉANT OpenFlow facility, which provides a highly available backbone network infrastructure for future Internet applications.

16

RFD a gyakorlatban

Fejlec 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)	Payload/MPLS flow ID 1 – A flow 2 – B flow
---------------------------	----------------	-------------------------------	--------------------------------	--

A csomag fejlécbe beágyazva (Ethernet és IP közé)

17

Virtuális Hálózati Funkciók

Tetszőleges RFD megoldás elvezethető az alábbi VNF-ekkel

- Osztó (M_A):** duplikálja az adott interfészen beérkező csomagokat és két kimenő linken továbbítja őket (s és v_A).
- Sorrendező (M_B):** a felhasználói folyamat két részre (A és B) osztja az s forrástól pl. a paritás alapján.
- Összevonó (M_C):** ugyanazt a folyamatot veszi két bejövő interfészen, és az egyiket (hiba esetén a sértetlent) továbbítja az egyetlen kimeneti linkjén (v_3 és t).
- Kódoló/dekódoló (M_4):** gyors csomagfeldolgozást végez az XOR művelet segítségével, és kezeli a sorokat a bejövő csomagok várakoztatására (mindig az s és t csomópontokban).

Bence Ladóczki, Carolina Fernandez, Oscar Moya, Péter Babarcsi, János Tapolcai, and Daniel Guja, *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://lmduliet.tmi.bme.hu/~babarcsi/presentations/Minervainfocom2015.avi>