

K-128062 projekt záró beszámolója

Tapolcai János

February 16, 2024

A projektünk a hálózati hibák kezelésére összpontosított, különös tekintettel arra, hogyan befolyásolják ezek a hibák az internetes szolgáltatásokat, hogyan kezeljük ezeket a problémákat, és hogyan lehetne őket a jövőben még hatékonyabban kezelni. Kiemelten foglalkoztunk azzal a kérdéssel, hogy hogyan lehet az internet szolgáltatások megbízhatóságát növelni anélkül, hogy jelentős hálózati infrastruktúra-fejlesztésekre lenne szükség.

A kutatás két fő területre irányult:

1. A hibák kezelése az IP és TCP protokollok szintjén: Ennek érdekében olyan többútvonalas útválasztási módszereket dolgoztunk ki, amelyeket fokozatosan lehet bevezetni a meglévő IP hálózatokban. Megállapítottuk, hogy ez a megközelítés jelentősen javíthatja a hálózatok stabilitását és csökkentheti a teljesítmény ingadozásait. Innovációnk kulcsa az volt, hogy kihasználtuk az útvonalhalmazok speciális strukturális tulajdonságait, ami lehetővé tette az útvonalválasztási táblák méretének hatékony kezelését.
2. A gerinchálózatok felkészítése nagyméretű földrajzi területek kiesésére, kihasználva a hálózatok geometriai szerkezetét. Ehhez hatékony algoritmusokat fejlesztettünk sík gráfok számára, amelyekkel korábban megoldhatatlan útvonalválasztási problémákra találtunk megoldást.

Projektünk során jelentős előrelépéseket értünk el a hálózati hibák kezelésében, amelyek elősegíthetik az internetes szolgáltatások megbízhatóságának javulását, mindezt anélkül, hogy szükség lenne jelentős hálózati infrastruktúra fejlesztésekre.

Az egyes részfeladatokhoz kötődő eredményeink

A vizsgált kutatási kérdések és a hozzájuk kapcsolódó megállapításaink, valamint az elfogadott publikációink a következők:

(1.1) Milyen speciális struktúra észlelhető az úthalmazok (például él-független útpárok) vizsgálatában?

Cikkünk, mely az 2022-es IFIP Networking konferencián jelent meg [1] kimutatta, hogy a közös célhoz vezető diszjunkt útpárok uniója speciális struktúrával

rendelkezik, és javasolunk egy hatékony címkéző rendszert, mely csupán egy extra továbbítási táblázat-bejegyzést igényel routernként célcímenként. Az IFIP Networking konferencián 23.4% az elfogadási ráta.

(1.2) Hogyan lehet tömören tárolni forgalomtovábbító táblákban több utat egy adott célcím felé?

A 2019-es IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC) folyóiratban megjelent cikkünkben [2] azt vizsgáltuk, hogyan található meg egy olyan legkisebb (csúcs- vagy él-) diszjunkt útpár, amelyet csupán két továbbítási táblázat-bejegyzéssel lehet reprezentálni. A JSAC folyóirat D1-es és az impact faktora 13.08.

(1.3) Általánosítható-e a Suurballe-Tarjan algoritmus (és az adatstruktúrája) több mint két független út számára?

Az INFOCOM 2023 konferencián bemutatott friss cikkünkben [3] egy általános algoritmus keretrendszert javasoltunk, mely az Egész Számú Lineáris Programozás és egy a k-kapcsolt grafokon alapuló hatékony megközelítés előnyeit kombinálja. Az IEEE INFOCOM a CORE konferencia értékelő oldalán a legmagasabb A* rank kapta, és 19-22%-os az elfogadási rátája.

(1.4) Az internet több tartományos környezetében milyen úthalmazt célszerű hirdetni a tartományok közötti (Border Gateway Protocol) protokollon keresztül?

BGP protokollok vizsgálatával foglalkoztunk többutas kommunikációs szempontból. Sajnálatosan nem értünk el olyan tudományos eredményt, melyet a vezető konferenciák elfogadtak volna, így ebben a témában nem készült publikáció.

(1.5) Mikor stabil több önző felhasználó esetén a többutas útvonalválasztási játék modell?

A 2019-es ACM SIGCOMM konferencián bemutattuk a demónkat [4], amelyben a Multi-Path TCP működési teljesítményére összpontosítottunk, valamint annak képességére, hogy hogyan tudja elosztani a forgalmat több útvonalon. Az ACM SIGCOMM konferencia a CORE konferencia a konferencia értékelő oldalán a legmagasabb A* rank kapta.

(2.1) Hogyan modellezhető a forgalom mátrix megváltozása meghibásodások után, és hogyan lehet előjelezni egy nagyméretű terület kiesését?

Idén az IFIP Networking 2023-on publikáltunk egy cikket [5], amelyben a gépi tanítás a hálózat riasztási üzeneteit, a hálózati topológiát és a forgalmi eloszlást korábbi eseményein történik. A cikk folyóirat változatát elfogadták az IEEE Communications Magazine folyóiratba, melynek impakt faktora 11.2 [6].

(2.2) A regionális hibák milyen geometriai vagy kombinatorikus korlátai mellett lehetséges hibalistákat (Shared Risk Link Group) hatékonyan számolni?

Ebben a témában több publikációnk is megjelent. 2021-ben az IEEE/ACM Transactions on Networking (ToN) folyóiratban leírtunk egy hatékony algoritmust az SRLG-k listázására korlátozott földrajzi információs hibamodellünk alapján és megmutattuk, hogy realiztikus feltételek mellett az SRLG-k listája rövid [7]. A ToN D1-es, impakt faktora 4,8. 2020-ban szintén megjelent egy cikkünk a ToN-ban [8], amelyben egy megközelítést adunk az SRLG-k listázására, amely minden lehetséges kör alakú katasztrófát érint egy adott sugár esetén. Emellett 2021-ben a JSAC folyóiratban megjelent cikkünk [9], amely földrajzilag korrelált link hibák sztochasztikus modelljét építi fel katasztrófák által, hogy becsüljük a hibalistákat egy optikai gerinchálózatban.

2.3 A hibalistákat hogyan lehet kiegészíteni valószínűségekkel, hogy a kapcsolatok rendelkezésre állását hatékonyan tudjuk számolni regionális hibák esetén is?

Megvizsgáltuk ezt a problémát útvonalválasztási szempontból is. 2020-ban a ToN folyóiratban [10] megjelent cikkünkben azt vizsgáltuk, hogy hogyan lehet kapacitás-hatékony útvonalakat számolni az alárendelt áramokhoz minden kapcsolat esetén diverzitási kódolás mellett. 2022-ben az IEEE INFOCOM-on megjelent egy cikkünk [11], amelyben egy polinomiális idejű SRLG-diszjunkt útvonalválasztási algoritmust nyújtunk sík hálózati topológiákhoz és nagy mennyiségű SRLG-hez. 2023-ban ennek a cikknek egy kibővített változata jelent meg a ToN folyóiratban [12].

Végezetül, még egy további szorosan kapcsolódó kutatási témát is vizsgáltunk, amikor egy meglévő hálózatot szeretnénk kiegészíteni új linkekkel, hogy ellenállóbbá váljon a természeti katasztrófák ellen. Ebben a témában 2021-ben az IEEE INFOCOM-on jelent meg cikkünk [13].

Projektünk során számos további kutatási eredményt is elértünk, amelyek hozzájárulnak a hálózati infrastruktúrák ellenálló képességének javításához és az internetes szolgáltatások megbízhatóságának növeléséhez.

References

- [1] P. Babarczi, G. Rétvári, L. Rónyai, and J. Tapolcai, “Routing on the shortest pairs of disjoint paths,” in *IFIP Networking Conference (IFIP Networking)*. IEEE, 2022, pp. 1–9.
- [2] J. Tapolcai, G. Rétvári, P. Babarczi, and E. Bérczi-Kovács, “Scalable and efficient multipath routing via redundant trees,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications - Special Issue on Network Softwarization & Enablers*, Jan. 2019.
- [3] J. Tapolcai, P. Babarczi, P.-H. Ho, and L. Rónyai, “Resilient routing table computation based on connectivity preserving graph sequences,” in *Proc. IEEE INFOCOM*, New York City, USA, May 2023.
- [4] L. Zongor, Z. Heszberger, A. Pašić, and J. Tapolcai, “The performance of multi-path tcp with overlapping paths,” in *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2019 Conference Posters and Demos*. ACM, 2019, pp. 116–118.
- [5] P.-H. Ho, Y. Jiao, K. Liang, X. Lu, Y. You, J. Tapolcai, B. Li, and L. Peng, “On Real-Time failure localization via instance correlation in optical transport networks,” in *Proc. IFIP Networking 2023*, Barcelona, Spain, Jun. 2023.
- [6] Y. Jiao, P.-H. Ho, X. Lu, Y. You, J. Tapolcai, and L. Peng, “A novel framework of failure localization in optical transport network,” *IEEE Communications Magazine*, pp. 1–6, 2023.
- [7] B. Vass, J. Tapolcai, and E. Bérczi-Kovács, “Enumerating maximal shared risk link groups of circular disk failures hitting k nodes,” *IEEE Transactions on Networking*, 2021.
- [8] J. Tapolcai, L. Rónyai, B. Vass, and L. Gyimóthi, “Fast enumeration of regional link failures caused by disasters with limited size,” *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2020.
- [9] B. Vass, J. Tapolcai, Z. Heszberger, J. Bíró, D. Hay, F. A. Kuipers, J. Oostenbrink, A. Valentini, and L. Rónyai, “Probabilistic shared risk link groups modelling correlated resource failures caused by disasters,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC) - issue on Latest Advances in Optical Networks for 5G Communications and Beyond*, 2021.
- [10] A. Pašić, P. Babarczi, J. Tapolcai, E. Bérczi-Kovács, Z. Király, and L. Rónyai, “Minimum cost survivable routing algorithms for generalized diversity coding,” *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 28, no. 1, pp. 289–300, 2020.
- [11] B. Vass, E. Bérczi-Kovács, A. Barabás, Z. L. Hajdú, and J. Tapolcai, “Polynomial-time algorithm for the regional SRLG-disjoint paths problem,” in *Proc. IEEE INFOCOM*, London, United Kingdom, May 2022.

- [12] —, “A whirling dervish: Polynomial-time algorithm for the regional srlg-disjoint paths problem,” *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2023.
- [13] J. Tapolcai, Z. L. Hajdú, A. Pašić, P.-H. Ho, and L. Rónyai, “On network topology augmentation for global connectivity under regional failures,” in *Proc. IEEE INFOCOM*, Vancouver, Canada, May 2021.