HTE INFOKOM 2026

Mennyire **mesterséges** a hálózati **intelligencia**?



Önvezető hálózatok felé – AI native telco

Maros Péter
Networker Kft.

2026. november 23.

networker

Az **autonómia** anatómiája



Tanúsítás: a TM Forum 2026 novemberében 35+ új ANLAV-tanúsítványt adott ki; 147 validációból 54 L4-es (saját közlés alapján).

Szabványosítás: az ETSI GS ZSM 022 (2026. okt.) az AI-ügynököket a zero-touch menedzsment szabványos elemévé teszi.

Független mérés: AI-ügynökök az emulált üzemeltetési feladatok átlagosan csupán 13–38%-át oldották meg helyesen.

Szabályozás: az EU AI Act a hálózati AIOps többségét valószínűleg nem magas kockázatúként sorolja be. A fék a bizalom.

A HITL dominanciája nem véletlen. Ilyen teljesítménynél még nem lehet bizalom az önvezetésben.

Források: TM Forum szintek és ANLAV (konzorciumi adat) · NetArena, ICLR 2026 · ETSI GS ZSM 022 V1.1.1 · EU 2024/1689 (AI Act), III. melléklet

Nem minden intelligencia **mesterséges**

GN/EGN fizikai modell (GNPy): Gauss-zaj modell, nem gépi tanulás. Mégis ebből tanul az ML: az optikai QoT-modellek tanító adatbázisa sokszor szintetikus EGN-adatokból áll.

SDN orchestration: a központi vezérlő klasszikus optimalizálással számolja az útvonalakat, a hyperscalerek WAN-jaiban és a gyártói PCE-vezérlőkben is. Optimalizálás, nem tanulás. Az ML az Ops-ban, management rétegben van.

Óvatos hyperscalerek: publikált éles rendszereikben nem az AI, vagy a gépi tanulás dönt.
Google B4: átlagosan 70%-os, a csúcson közel 100%-os linkterhelés; Microsoft SWAN: az optimum 98%-a (szimuláció).
A Meta EBB klasszikus TE, az Alibaba WAN-ellenőrzése (Hoyan, Jingubang) szabályrendszer és szimuláció.

„AI fabric”: GPU-klaszterek adatközponti hálózatában az AI a szállított forgalom, a hálózat maga nem tanul. A cél itt is a monitoring és döntés-előkészítés továbbfejlesztése autonóm döntési algoritmusokká, de még nem tartunk itt.

„AI coherent”: AI-adatközpontok közötti koherens optika, például 1,6 Tb/s 120 km-ig (OIF 1600ZR). A DSP-ben klasszikus jelfeldolgozás fut. Az üreges magú szál csillapítása már 0,1 dB/km alatti. Itt is az AI a traffic, nem a transport.

Források: OFC 2021 Tu1G.2 · B4, SWAN: SIGCOMM 2013 · EBB: NSDI 2026 · Hoyan: SIGCOMM 2020 · Jingubang: NSDI 2024 · OIF-1600ZR · Nat. Photon. 2025

Ahol az ML **egyelőre nem** jobb

Útvonal- és spektrumkiosztás: a UCL kutatói öt publikált RL-megoldást építettek újra, és egy jól hangolt klasszikus szabályrendszerrel (legrövidebb út, első szabad spektrum) vetették össze: a szabályrendszer gyakran tizedannyi kapcsolatkérést utasított el.

ML-alapú TE: a díjnyertes DOTE-ban egy előre betanított neurális háló adja meg a közelmúlt forgalmából a forgalomelosztást. A saját tesztjein csak 5%-kal marad el az optimumtól, célzottan összeállított forgalommal viszont a legterheltebb link kihasználtsága az optimum hatszorosára nő. A historikus adatokon alapuló predikció még kezdetleges.

Tanulás nélkül: az SSDO egy egyszerű, lépésenkénti algoritmus: forrás–cél páronként, egyesével igazítja a forgalom elosztását, LP-megoldó és neurális háló nélkül. Egy Meta adatközponti hálózaton 65%-kal kisebb normalizált maximális linkterhelést (MLU) ért el, mint a GNN + RL alapú Teal.

LLM a hálózatban: öt nyelvi modell egyszer sem írt helyes kódot egy útvonal-választó algoritmusra. A GPT-4-Turbo router-konfigurációban (OSPF) a teljes dokumentációval csak 5-ből 1–3-szor hibátlan, kis részfeladatokra bontva mindig.

Források: „Hype or Hope?”, JOCN 17(9) D1, 2025 · DOTE, NSDI 2023 · HotNets 2024 · SSDO, NSDI 2026 · NetConfEval, CoNEXT 2024

Hol van **valódi ML** a gerinchálózatokban?

Terület	Rendszer	Mit végez az ML?	Mért eredmény
Optikai QoT	Duke + NEC Labs, kaszkád tanulás	OSNR- és GSNR-becslés	**0,22 dB OSNR / 0,13 dB GSNR átlagos hiba**
	ADVA neurális háló, Tele2 Észtország	fényút SNR-előrejelzése	**neurális háló: max. 0,48 / átlag 0,15 dB;** fizikai EGN-modell: 0,22 / 0,10 dB
Erősítő	fizikai alapú neurális háló	EDFA erősítési profiljának becslése	**0,127 dB átlagos hiba**
Szálérzékelés	Verizon + NEC Labs (DAS + DTS)	kábelakna-keresés és állapotdiagnózis	**együtt 94,7%;** csak DAS 78,9%, csak DTS 89,5%
Mobil x-haul	LSTM + optimalizáló városi backhaul-hálózat	esőcsillapítás előrejelzése, előzetes átterelés	**<0,4 dB RMSE 50 s-ra előre;** >200%-kal jobb kihasználtság a reaktívhoz képest (utólagos kiértékelés)
Üzemeltetés (AIOps)	Selector, Kentik, Augtera (NVIDIA)	anomália-észlelés, hibaok-keresés	éles üzemben; független, lektorált mérés nincs
Biztonság (AI SecOps)	Harvard + USC ISI, Xatu	DDoS-észlelés a meglévő védelem mellett	**medián 9,5 perccel korábbi észlelés;** akár 44,1%-kal több kiszűrt anomális forgalom (utólagos kiértékelés)

Források: JOCN 18(1):A88, 2026 · OFC 2021 Tu1G.2 · JLT 43(11), 2025 · JLT 44(3), 2026 · POMACS 6(3), 2022 · CoNEXT 2022 · AIOps: gyártói dokumentáció

Már **látszik a fény** az alagút végén

Neurális háló a DSP-ben: egy csatornán +6,3 dB effektív SNR a lineáris kiegyenlítéshez képest, WDM-ben viszont a hagyományos digitális visszaterjesztéshez képest már csak +0,4 dB Q. Szimuláció.

Fotonikus chip: a kiegyenlítés már az optikai tartományban, valós időben történik, 28 Gb/s-os jelen, 4×10^{-7}-es bithibaaránnyal.

Tisztán optikai kiegyenlítő: 8 WDM-csatorna, összesen 1,6 Tb/s, 60 ps alatti késleltetéssel, intenzitásmodulált összeköttetésen.

Kapcsoló adatsík: a Taurus csomagonként futtat gépi tanulást a kapcsolóban: +3,8% chipterület, legfeljebb 221 ns késleltetés, és két nagyságrenddel több észlelt anomália, mint a vezérlősíkban.

Tanulság: a DSP-be integrált neurális hálónak alig van előnye.
Az innováció ott látványos, ahol a gépi tanulás közelebb kerül a fizikai jelhez: az optikai tartományba vagy a kapcsoló adatsíkjába. Így a „fény fizikájából” tanul. Egyelőre minden ilyen megoldás csak kísérlet és laborteszt.

Források: Optics Continuum 2(10):2088, 2023 · Nature Photonics 20:1062, 2026 · Science 392(6803), 2026 · Taurus, ASPLOS 2022

Digitális iker: **make before break**

Mit jósol?	Szabvány	Mit mutat a gyakorlat?
Terhelés és kapacitás: what-if analysis	ITU-T Y.3094 (2026), Y.3091	**Éles üzemben:** Alibaba Jingubang: 87,4–94,6%-os pontossággal adja vissza a linkterhelést; Meta hose-modelles tervezés.
Egy változtatás hatása, élesítés előtt	3GPP TS 28.561; ITU-T Y.3090, Y.3092	**Éles üzemben:** Microsoft CrystalNet: 50+ hiba elfogva, éles incidens nélkül; Alibaba Hoyan: felénél is kevesebb frissítési hiba.
Egy zárthurkú döntés hatása, végrehajtás előtt	ITU-T Y.3090 („kettős zárt hurok”); 3GPP TS 28.561	**Jelenleg field testing:** optikai LLM-ügynök az ikerben. Éles ML-döntést engedélyező ikerre nincs bizonyíték.

Ma: a jóslat az éles ikrekben szimuláció és emuláció, nem gépi tanulás. A predikció még pontatlan.

Az iker is tévedhet: alkatrészekből összerakott optikai iker 1 dB-t tévedett, egy végponti mérés 0,14 dB-re javította (OFC 2024).

A cél: zárt hurok, amelyben a modellezett és a valós környezet folyamatosan visszacsatol egymásba.

Források: ITU-T Y.3090 / Y.3092 / Y.3094 · 3GPP TS 28.561 · SIGCOMM 2021 · NSDI 2024 · SOSP 2017 · SIGCOMM 2020 · JOCN 18(5), 2026 · OFC 2024 M1H.6

Hol tartunk ma? **AI-in-the-loop**

GNN-alapú digitális iker
what-if: késleltetés, veszteség jóslása
BECSLÉS (ML, kutatás, mérés)

külső hurok
mérés, visszacsatolás

Traffic Engineering
útvonal-számítás (LP / PCE), élő hálózat
DÖNTÉS (klasszikus, éles üzem)



belső hurok
emuláció,
optimalizálás



HITL

jóváhagyás, élesítés

Források: ITU-T Y.3090 (kettős zárt hurok) · RouteNet-Fermi, IEEE/ACM ToN 2023

Út az **Önvezető Hálózatok** felé

TM Forum L5: a teljesen autonóm rendszer zárt hurokban, minden rétegben, több szolgáltatáson, több tartományon és a teljes életcikluson át üzemel, ahol emberi beavatkozás csak szélsőséges esetben szükséges.

Level 3
éles üzem

GNN-iker visszamér és jósol, a módosítás emberi döntés alapú
a PCE bevált, hagyományos metódusai döntenek, a változtatások élesítését ember hagyja jóvá

Feltétel: az RL a legrosszabb esetben is múlja felül a jól hangolt szabályt · valós idejű, kétirányú iker

Level 4
kutatás

GNN-RL döntés, csak monitoring és vészhelyzeti beavatkozás
az ikerben csak mérve és visszaellenőrizve, az ember felügyel és feladatot ad

Feltétel: ellenőrző a hurokban (verifier) · auditálható döntés · független, éles mérés (ma egy sincs)

Level 5
vízió

GNN-RL teljesen autonóm orkesztráció
minden rétegben és szcenárióban, zárt kettős hurokban

Források: TM Forum AN whitepaper R1.0 (2019) · ITU-T Y.3090 · Computer Communications 196, 2022 · Teal, SIGCOMM 2023 · JOCN 17(9), 2025

Te **mikor** adnád át az **irányítást**?



Maros Péter
pmaros@networker.hu

networker