

Mély megerősítéses tanulás szimuláció alapján valós környezetben önvezető járművekhez

ALMÁSI PÉTER BÉLA

BME, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
almasipeti715@gmail.com

Konzulensek: Dr. Gyires-Tóth Bálint, Moni Róbert (BME, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék)

Kulcsszavak: megerősítéses tanulás, mély tanulás, mesterséges intelligencia, neurális hálózatok, önvezető járművek

A mély neurális hálózatok kiemelkedő figyelemben részesültek az elmúlt években. Segítségükkel számtalan különféle alkalmazási területen sikerült minden korábbinál jobb eredményeket elérni, így például képfelismerési, objektumdetekciós, beszéd felismerési és -generálási, természetes nyelvfeldolgozási vagy időszerelemzési feladatokban is kiemelkedőnek bizonyultak. Ezek az eljárások sok esetben még az embernél is pontosabban oldják meg a számukra kijelölt feladatot.

A mély megerősítéses tanulás a gépi tanulási algoritmusok azon csoportját foglalja magába, amelyekben egy ágens neurális hálózatok használatával képes meg tanulni egy környezetben egy bizonyos cél elérését a megfelelő akciók végrehajtásával. Ezzel a módszerrel vált lehetővé, hogy számítógépes algoritmusok legyőzzék a világbajnokokat különféle tábla- és számítógépes játékokban, például a Go-ban vagy a StarCraft II-ben.

alapozott matematikai háttérrel. Továbbá a szimulátorban tanított ágensekre jellemző, hogy a valós környezetben történő használatkor jelentősen romlik a teljesítményük.

Dolgozatomban egy olyan mély megerősítéses tanuláson alapuló eljárást dolgoztam ki, amellyel lehetséges önvezető ágenseket tanítani szimulátor segítségével, és ezeket sikeresen át lehet ültetni valós járművekre is. Az ágensek a valós környezetben, valódi járműveken futtatva is hasonló pontosságot nyújtanak – a valós környezetből vett tanító minták nélkül.

A mellékelt ábra szemlélteti a kidolgozott módszer felépítését.

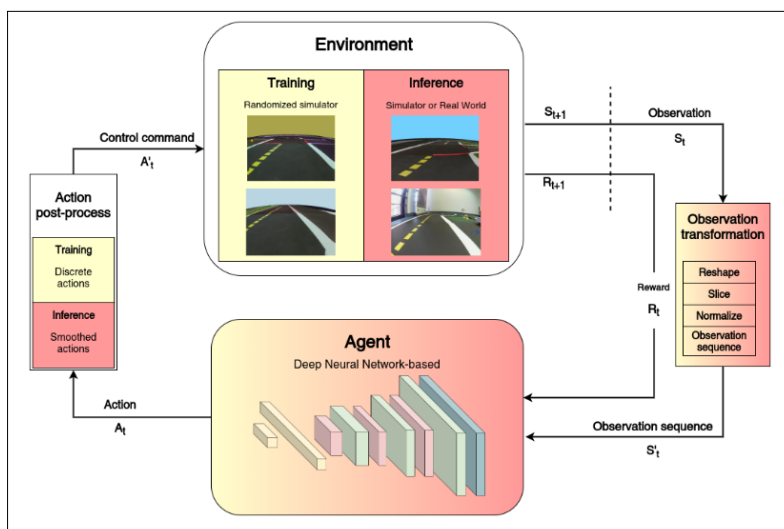
A dolgozatban két ágenszt ismertettem, amelyeket különböző algoritmusok segítségével tanítottam. A módszerek ismertetése után összehasonlítottam és kiértékeltem az ágensek teljesítményét mindkét környezetben.

Az eredményeket egy demonstrációs videóban is bemutattam, amelyre a hivatkozás megtalálható a dolgozatban.

A szerzőről



ALMÁSI PÉTER BÉLA tanulmányait a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, mérnök-informatikus MSc szakon végezte. Diplomamunkájának fókuszja a mesterséges intelligencia, ezen belül a mély megerősítéses tanulás, és az önvezető járművek területén végzett alkalmazásorientált kutatómunkát.



Azonban a mély megerősítéses tanulás használata nagyobb kihívást jelent olyan feladatokban, amelyekben például valós robotokat vagy járműveket szeretnénk vezérelni. Ilyen feladatoknál jellemzően az ágenseket egy szimulátorban tanítják, majd a kész modellt „átültetik” a valós eszközre. A megerősítéses tanulás alkalmazása önvezető járművek esetében már szimulátorban is nehéz kihívás, hiszen ezek az algoritmusok jellemzően instabilak és nem rendelkeznek kellően meg-

Protokoll állapotgépek visszafejtése

SZÉKELY GÁBOR

*BME, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
szvgabor@gmail.com*

Konzulens: Dr. Buttyán Levente (BME, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék)

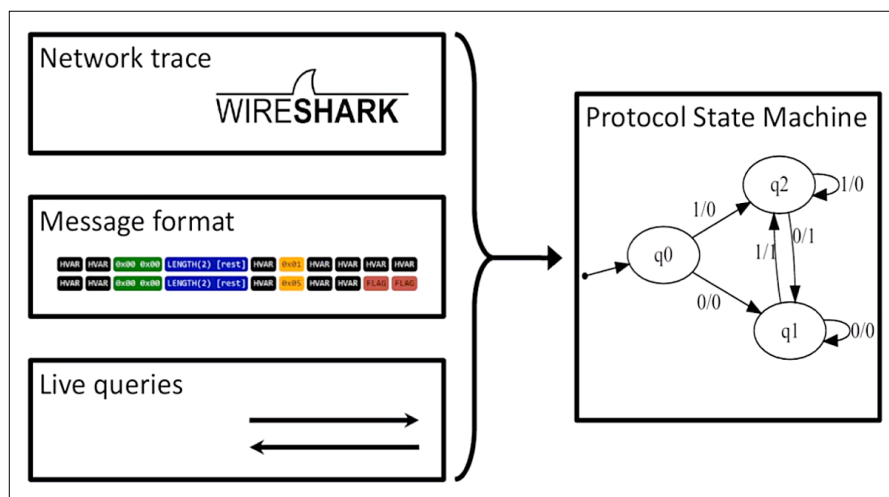
Kulcsszavak: *automatikus protokoll-visszafejtés, formális nyelvtan inferálás, Mealy-automata*

Az elmúlt 50 év során a számítógépek különböző technológiák segítségével egyre jobban összekötötté váltak, egyre növekvő hálózatokat alkotva. A számítógépek kommunikációját kommunikációs protokollok fejlesztésével tesszük lehetővé, melyek jelentős részének nyilván nem érhető el a specifikációja. Ez hátráltatja a kompatibilis alkalmazások fejlesztését, a biztonsági tesztelést, illetve a hálózatot monitorozó és védő, a hálózatra csatolt hosztok védelmét is segítő szoftverek és házirendi szabályok létrehozását. Ismeretlen protokollokat használnak a hálózatuk koordinálására és parancsok kiosztására a botnetek is, amelyek olyan gépek hálózatai, melyek felett támadók vették át az irányítást, és melyeket közöttük elosztott terheléses támadások indítására használhatnak. Ezen protokollokat a botnetek karbantartói hozzák létre és megértésük nagyban segítheti ezen hálózatok felszámolását.

A fenti feladatok megoldásához nincs más választásunk, mint a protokollok visszafejtése. E feladat nehézségét a SAMBA-projekt látványosan demonstrálta, mely keretében az SMB-protokollt mintegy 12 év munkája során sikerült visszafejteni. Annak érdekében, hogy felgyorsítsák és megkönnyítsék az ilyen feladatokat, különböző automatikus protokoll-visszafejtési (APRE) módszereket fejlesztettek, megteremtve ezzel egy új kutatási területet. A legtöbb APRE-eszköz vagy a protokoll üzeneteinek szintaxisát, vagy a protokoll állapotgépét próbálja automatikusan megadni. Utóbbi azt írja le, hogyan követhetik a különböző típusú üzenetek egymást a kommunikáció során, különböző üzenetek fogadása esetén hogyan reagálnak a kommunikáló felek.

A dolgozatomban egy olyan algoritmust dolgoztam ki, mely képes automatikusan visszafejteni a kommunikációs protokollok állapotgépét. Az algoritmus magja az LM+ algoritmust használja fel, mely egy ismert algoritmus Mealy-automaták automatikus tanulására. Az LM+ felhasználása a hálózati üzenetek és az LM+ algoritmus által érthető be- és kimeneti betűk közötti oda- és visszatranszformálásával kerül felhasználásra. Emel-

lett a lefedettség növelésének érdekében az algoritmus véletlenszerű, illetve vezérelt keresést végez olyan üzenetekért, amelyek még nem felfedezett működést produkálnak. Az eredményül kapott Mealy-automaták könnyebb értelmezhetősége érdekében egy utófeldolgozási algoritmust is definiáltam. Az algoritmusok implemen-



tációit tesztelésre egy kitalált protokollon és két valódi protokollon, a Modbuson és MQTT-n teszteltem.

Az implementáció a mellékelt *ábrán* szemléltetett módon működik: a futtatásához szükség van egy élő rendszerre, mely képes válaszolni a vizsgált protokollon küldött üzenetekre, illetve az üzenetek formátumára, hogy kategorizálni, valamint generálni lehessen helyes üzeneteket. Opcionálisan fel tud használni valós, rögzített hálózati forgalmat a futási idő rövidítésére és a nagyobb pontosság eléréséhez. Kimenete pedig olyan Mealy-automata, mely a vizsgált protokoll működését írja le.

A szerzőről



SZÉKELY GÁBOR tanulmányait a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem mérnökinformatikus MSc szakán végezte. Tanulmányai során az IT-biztonság szakterületére fókuszált, melyen belül gyakorlati és kutatói munkát is végezett.

Hangforrások lokalizációja mikrofonrendszerekkel

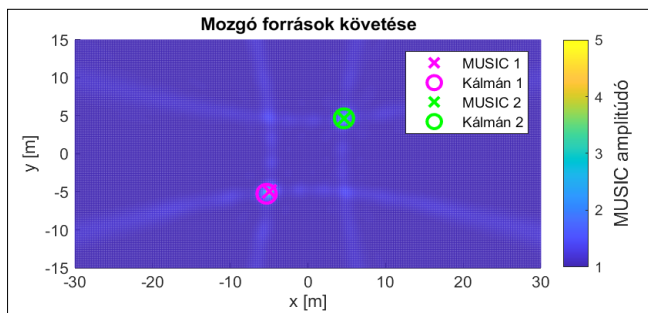
CSÓKA BENCE

BME, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
csokabence996@gmail.com

Konzulens: Dr. Fiala Péter (BME, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék)

Kulcsszavak: akusztika, mikrofontömbök, nyalábformálás, Kálmán-szűrő, drónok

Munkám során a célom hangforrások pozíciójának meghatározása volt akusztikai kameraként használt mikrofontömbök segítségével. Ehhez két fő problémát kell megoldani, a fókuszálást és a forráslokalizációt. A fókuszálás során a tér egy adott irányából érkező hangot kiemeljük a Delay and Sum módszerrel, a mikrofonok vett jelének megfelelő erősítésével és késleltetésével. A forráslokalizáció során a hangforrás pozícióját becsüljük meg virtuális forráspozíciók közül (amik együttesen alkotják az akusztikus vásznat) a legvalószínűbbet választva. A két feladatot együttesen elvégezve végigpásztazzuk a tér egy részét, létrehozunk egy amplitúdóterképet és ez alapján végezzük el a becslést.



A vett jelek erősítését és késleltetését nyalábformáló algoritmusok (pl. CBF, MUSIC, CS) segítségével határozzuk meg. A CBF (Conventional Beamforming) egy nagyon egyszerű és gyors, de pontatlan módszer. A MUSIC (Multiple Signal Classification) a vett jelek keresztspektrum-mátrixának szétválasztásán alapul. A Compressive Sensing (CS) elven alapuló Compressive Beamforming a forráslokalizációt egy konvex optimalizálási problémára vezeti vissza. Egy ritkasági kényszerfeltételnek köszönhetően az amplitúdóterképen kevés nullától eltérő mező van, azaz a kamerakép nagy felbontású, de nagy a számításigénye.

Az akusztikus vászon pontjai általában egy síkon vagy egy gömbfelületen helyezkednek el. Egy ilyen vászon csak iránybecslésre alkalmas. A fókusz távolság változásával ugyanolyan mérési elrendezés esetén jelentősen változik a kamerakép minősége, így a vászon kiterjeszthető három dimenzióba a távolság meghatározása céljából. Egy elsődleges vásznon meghatározzuk az irányt, majd ebben az irányban egy egyenes mentén létrehozunk egy másodlagos vásznat, aminek a pontjai külön-

böző távolságokra vannak a mikrofontömbtől. Ezzel a másodlagos vászonnal is végrehajtva a szükséges számítási lépéseket, már megbecsülhető a távolság.

A Kálmán-szűrő egy olyan algoritmus, ami optimális becslést ad változó rendszerek állapotára. Esetünkben ez a rendszer egy mozgó hangforrás, az állapota pedig a pozíciója és a sebessége. Az algoritmus a méréseken kívül a rendszer korábbi állapotát is figyelembe veszi, és ezek alapján végzi el a becslést, így a nyalábformáló algoritmusokat kiegészítve pontosabb végeredményt tud adni. Kiterjeszthető úgy, hogy nemlineáris rendszereket is kezeljen (pl. Unscented Kalman Filter), illetve, hogy egyszerre több hangforrást is kövessen.

Az algoritmusok MATLAB-környezetben lettek tesztelve szimulációkon és mérési eredmények feldolgozásán keresztül. A három nyalábformáló algoritmus két és három dimenzióban is hasonló eredményt adott, a CBF pontatlansága és a CS nagy számításigénye között a MUSIC-algoritmus jelentette az arany közepet. A Kálmán-szűrő a MUSIC-kal együttműködve képes mozgó források követésére (ahogy a mellékelt ábrán egy pillanatképen látható). Az algoritmus távolságbecslő része akkor és csak akkor képes helyes eredményt adni, ha az iránybecslés maga is helyes volt, és távoli források esetén (pl. 50 méterre a mikrofontömbtől) meglehetősen pontatlan.

Szabadtéri mérések során drónok voltak a hangforrások, amelyek pozícióját kellett becsülni. A körülmények itt kevésbé voltak kedvezőek, a zavarforrások kiszámíthatatlanabbak voltak a szimulációkhoz képest. Az iránybecslés a MUSIC-algoritmus és a Kálmán-szűrő segítségével megfelelően működött, néhány pillanatot kivéve, amikor valamilyen erős zavarforrás megnehezítette a becslést, illetve amikor a drón már túlságosan távol volt a mikrofontömbtől. A távolságbecslés által adott eredmény azonban nagyon instabil volt, így nem használható még mérési eredmények feldolgozására; ennek továbbfejlesztése fontos jövőbeni feladat.



A szerzőről

CSÓKA BENCE tanulmányai:
2007–2015: Gyöngyösi Berze Nagy János Gimnázium.
2015–2019: BME (BSc).
2019–2021: BME (MSc).

Csatornabecslés milliméteres hullámhosszú masszív MIMO rendszerekben

CSATHÓ BOTOND TAMÁS

BME, Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék
csatho.botond@edu.bme.hu

Konzulensek: Dr. Horváth Péter, Dr. Horváth Bálint Péter
(BME, Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék)

Kulcsszavak: vezeték nélküli kommunikáció, masszív MIMO, milliméteres hullámhossz, csatornabecslés, szoftverrádió

A masszív MIMO (massive Multiple-Input Multiple-Output) az egyik legkorszerűbb többantennás vezeték nélküli kommunikációs technológia, melyben a több tíz vagy több száz antennával rendelkező bázisállomás kommunikál a jellemzően egyetlen antennával ellátott felhasználókkal. A szóban forgó technológia megoldást jelent a korlátozott frekvencia-erőforrások melletti folyamatosan növekvő adatátviteli sebesség iránti igényre. A masszív MIMO sarokköve az ötödik generációs hálózatoknak, használatával a bázisállomás egy időben, azonos frekvenciasávban több mobil állomással is képes kommunikálni, azokat térben elválasztva. Igazolt, hogy a bázisállomás antennaszámát növelve nő a cellán belül elérhető eredő spektrális hatékonyság, így a jövőben akár a több száz vagy több ezer antennával szerelt bázisállomások fejlesztése várható.

A masszív MIMO működéséhez elengedhetetlen a rádiós csatorna ismerete, amit méréssel határoz meg a rendszer. Időosztásos működés esetén a rádiós csatorna reciprocitására támaszkodva a mérést elegendő felmenő ágba elvégezni, jelentősen csökkentve ez által a csatornabecslés időtartamát. Az adatsorozatok bázisállomás-oldali előkódolása és dekódolása mért csatornaparaméterek segítségével végezhető el, ebből fakadóan a csatornabecslés feladatköre kulcsfontosságú. A cellás rendszerekben használható csatornabecslési eljárások vizsgálata jelenleg is a tudományos érdeklődés központjában áll.

Dolgozatomban vizsgáltam a masszív MIMO-rendszerek csatornabecslését, ezt követően az ötödik generációs hálózat fizikai rétegéből kiindulva csatornabecslő keretrendszert terveztem. A kivitelezéshez szoftverrádiós platformot használtam, a rendszer teljesítőképességét szimulációval vizsgáltam és méréseket készítettem milliméteres hullámhossz-tartományban is, igazolva a jelfeldolgozási algoritmusok megvalósításának helyességét. A mellékelt ábrán egy validációs mérés látható, ahol 38,8 GHz-en, pont-pont összeköttetésben vizsgáltam a keretrendszer működését.

A szerzőről



CSATHÓ BOTOND TAMÁS tanulmányait a Debreceni Református Kollégium Dóczy Gimnáziumában, majd a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Villamosmérnöki és Informatikai Karának villamosmérnök BSc- (2019, minősítés: kiváló) és MSc- (2021, minősítés: kitüntetéses) képzéseiben végezte. Jelenleg a BME Villamosmérnöki Tudományok Doktori Iskola doktorandusza, masszív többantennás kommunikációs rendszerek témakörében. Szakmai érdeklődési köre a vezeték nélküli kommunikáció, jelfeldolgozás és elektromágneses térszámítás tématerületei.



Elektromágneses hullámterjedés szimuláció plugin készítése QGIS szoftverhez

LUKÁCS BALÁZS

Széchenyi István Egyetem, Távközlési Tanszék
balazs.lukacs@rf.sze.hu

Konzulensek: Prukner Péter (Széchenyi István Egyetem, Távközlési Tanszék),
Friedl Gergely (Jaguar Land Rover Hungary Kft.)

Kulcsszavak: 5G, hullámterjedés, GIS, szimuláció, 3,5 GHz

A dolgozatban bemutatásra kerül egy GIS-(Geographic Information System) szoftverhez készített plugin. A létrehozott plugin képes különböző empirikus hullámterjedési modelleket alkalmazni, hogy meghatározza a várható térerősség-értékeket a kijelölt területen belül.

A GIS-rendszereket kifejezetten helyhez kötött, aszociált adatok tárolására, csoportosítására és feldolgozására fejlesztették ki. Ezáltal rendkívül sok területen alkalmazzák őket. Jelen esetben a hullám terjedésének vizsgálatához jelent egy nagyszerű eszközt, hogy a térbeli adatokat megfelelően lehessen kezelni és megjeleníteni.

A hullámterjedési modelleket már évtizedek óta használják a vezeték nélküli hálózatok előzetes lefedettségi vizsgálatához. Ez a módszer jelentős mennyiségű időt, erőforrást takarít meg a hálózattervezők számára. Folyamatosan fejlesztik a különböző hullámterjedési modelleket a minél pontosabb szimulációs eredmények eléréséhez, viszont a pontosabb eredményekhez egyre több és pontosabb adatra is szükség van. Ezért a diplomamunkában empirikus modellek kerültek bemutatásra és implementálásra a GIS- rendszerben. Az empirikus hullámterjedési modellek viszonylag kevés információval is pontos eredményeket szolgáltathatnak. Az ennél pontosabb lefedettség-szimulációkhoz már szükség van

a terepviszonyokra vonatkozó adatokra (vegetáció, magasságértékek, talaj vezetőképessége) és egy vektoros épület-adatbázisra, az épületek anyagával együtt.

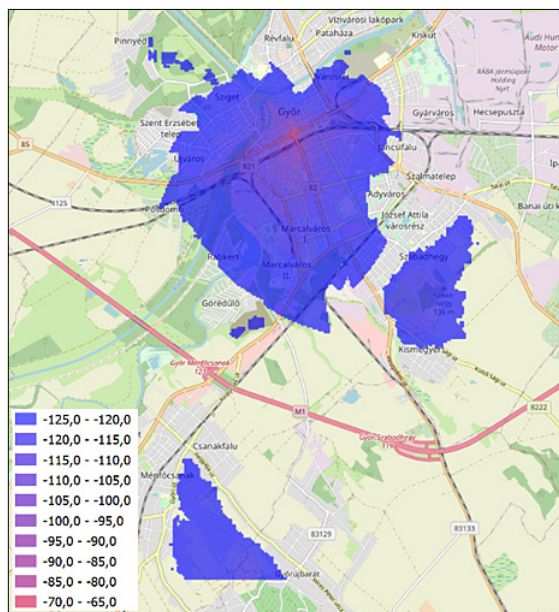
A diplomamunkában bemutatásra került a QGIS-szoftverhez készített plugin, valamint a plugin elkészítésének folyamata is, a különböző hullámterjedési modellek és a vezeték nélküli hálózatok tervezési folyamatai, a csillapítási tartalékok kiszámításának módszere. Végezetül pedig a létrehozott szimulációs szoftver által kiszámított lefedettség-térképek kerültek összehasonlításra annak függvényében, hogy milyen adatok és algoritmusok lettek felhasználva a lefedettség szimulációjához. A mellékelt ábra is egy ilyen szimulációs eredményt mutat Győr városában.

A diplomamunkában kiértékelésre és összehasonlításra kerültek a felhasznált elektromágneses hullámterjedési modellek, és egy példa-szimuláción keresztül bemutatásra került a QGIS-plugin működése, használata és végeredménye.

A szerzőről



LUKÁCS BALÁZS villamosmérnöki BSc-fokozatát 2018-ban, MSc-fokozatát pedig 2021-ben szerezte meg a győri Széchenyi István Egyetemen. Jelenleg a Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Doktori Iskola hallgatója. 2017 óta foglalkozik IoT-hálózatokkal és hullámterjedési modellek vizsgálatával. Jelenleg az egyetem Rádiófrekvenciás Vizsgáló Laboratóriumában dolgozik, ahol EMC- és RED-direktíva szerinti megfelelőségi vizsgálatokkal is foglalkozik, továbbá különböző kutatási és fejlesztési projekteknél vesz részt.



Gépi tanulás alapú anomáliadetekció

VAJDA DÁNIEL LÁSZLÓ

BME, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
vajdadaniellaszlo@edu.bme.hu

Konzulensek: Dr. Pekár Adrián, Dr. Farkas Károly
(BME, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék / NETvisor Zrt.)

Kulcsszavak: anomáliadetekció, idősorok, LSTM, neurális háló, számítógépes hálózat

Ahogy egyre több és több eszköz csatlakozik számítógépes hálózatokhoz, úgy lesz azok infrastruktúrája egyre komplexebb. Ezen hálózati eszközök, rendszerek és szolgáltatások folyamatos felügyelete manapság lényegesebb, mint valaha. Ennek számos haszna lehet, mint például üzemzavar előrejelzése; leállások elkerülése azáltal, hogy előre azonosítjuk azok jeleit; rendszerek teljesítményének monitorozása; továbbá rendszerek biztonságának felügyelete és az esetleges támadások észlelése.

Hagyományos módszerekkel azonban ezeket a funkciókat megbízhatóan, hatékonyan, valós időben megvalósítani koránt sem egyszerű feladat. Ezt segíti elő a hálózati telemetria paradigmája, mely egy modern eljárás a hálózati eszközökből kinyerhető, idősor-alapú telemetriai adatok gyors, hatékony és automatikus begyűjtésére. A begyűjtött adatokat azonban fel kell dolgozni, hogy képesek legyünk detektálni a helytelen működésre utaló jeleket, amit gépi tanuló algoritmusok segítségével lehet hatékonyan megvalósítani. Ezt a folyamatot nevezzük anomáliadetekciónak.

A mellékelt ábrán három, hálózati eszközök processzor-telesítményét megjelenítő idősor látható példaként, ezek forrása a Numenta Anomaly Benchmark platform. Piros pontok jelölik a valódi anomáliák helyeit az adatokban. Ezen pontok megtalálása jelenti a kihívást, a lehető legváltozatosabb forrású és jellegű idősorok esetén, eközben a lehető legkevesebb hamis jelzést produkálva.

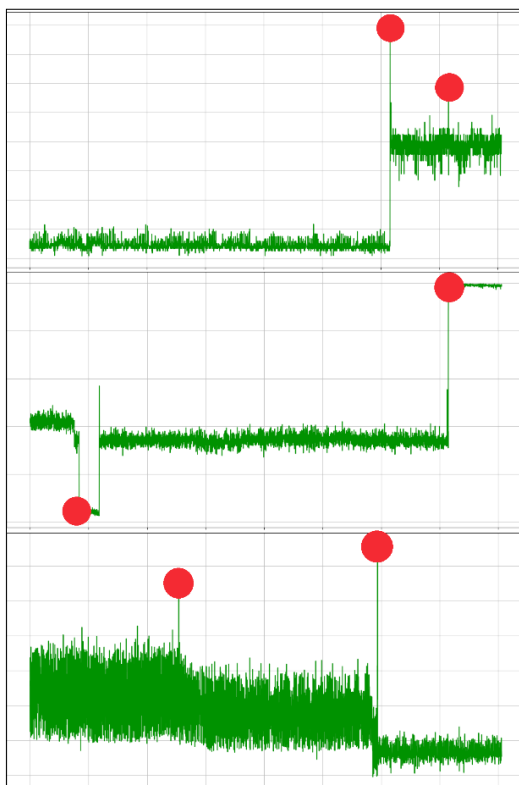
Ez a dolgozat tehát kifejezetten az anomáliadetekcióra összpontosít, új megvilágításba helyezve annak idősor-alapú telemetriai adatokon történő használatát. Az irodalomkutatás során az ún. Long Short-Term Memory (LSTM) alapú, ReRe elnevezésű algoritmust azonosítottam, mint a jelenleg elérhető leghatékonyabb el-

járást. Azonban a vizsgálataim azt mutatták, hogy még ez az eljárás is számos limitációval rendelkezik. Ezért a dolgozatban bemutatom az algoritmus általam továbbfejlesztett, Alter-Re²-nek elnevezett változatát, melyben az eredeti eljárást az úgynevezett öregítés módszerével, illetve az adatok egy csúszóablakban való feldolgozásával egészítettem ki.

Egy, a bevezetett módszerek hiperparamétereit automatikusan beállító algoritmust is kidolgoztam. Az így elért teljesítményjavulás ígéretes, az Alter-Re² algoritmus átlagosan háromszor jobban, de legalább úgy teljesített, mint a ReRe, tíz különböző adatsoron végzett vizsgálat eredményei alapján.

Továbbá a dolgozatban kitérek arra, hogyan függ a ReRe és az Alter-Re² algoritmusok megbízhatósága és pontossága az elemzett adatsor típusától. Kategóriákba sorolom a feldolgozott adatsorokat az adatok minitázatai alapján, majd elemzem az algoritmus működését kategóriánként.

Meggyőződésem, hogy az Alter-Re² előnyösen használható számos területen, ahol gyors és pontos anomáliadetekcióra van szükség, mint például a hálózati telemetria, IoT-szenzorfolyamok, valamint behatólók, hibák és csalások észlelése esetén.



A szerzőről



VAJDA DÁNIEL LÁSZLÓ BSc-diplomáját a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerezte meg 2021-ben, villamosmérnök szakon. Jelenleg ezen tanulmányait folytatja mesterszakos hallgatóként. Kutatásait többek között a NETvisor Zrt. gyakornokaként végzi.

Hálózati topológia bővítése regionális hibák védelmére

HAJDÚ ZSOMBOR LÁSZLÓ

BME, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
hajdu@tmit.bme.hu

Konzulensek: Dr. Tapolcai János, Dr. Pašić Alija (BME, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék)

Kulcsszavak: regionális hibák, hálózatvédelem, hálózattervezés, algoritmusok

Manapság az életünk egyre inkább internet-alapúvá válik, így a telekommunikációs hálózatok védelmének fontossága egyre relevánsabb lesz. A hálózatban történő kimaradások gyakran regionális szintű katasztrófák következményei, mint például egy földrengés, áradás, hurrikán vagy akár bombatámadás. A hálózatok kiterjedése miatt sokszor rengeteg olyan felhasználót is érint egy-egy hiba hatása, akik egyébként fizikailag messze vannak a katasztrófától.

A dolgozatomban a következő kérdésre kerestem a választ: Milyen módszerrel lehet olyan hálózatokat tervezni, amelyek ellenállóak regionális hibáknak, vagyis miként garantálható, hogy egy katasztrófa ne tudjon részekre szakítani egy hálózatot?

Esetünkben a problémát új összeköttetések kiépítésével oldjuk meg. Ekkor felmerül a kérdés, hogy az új optikai kábeleknél mely csomópontok közt, milyen útvonalon kell haladniuk, hogy optimális legyen a bővítés, persze amellel, hogy a hálózat „bombabiztosságát” – azaz azt, hogy a közvetlenül nem érintett felhasználók ne maradjanak szolgáltatás nélkül – is garantálni lehessen.

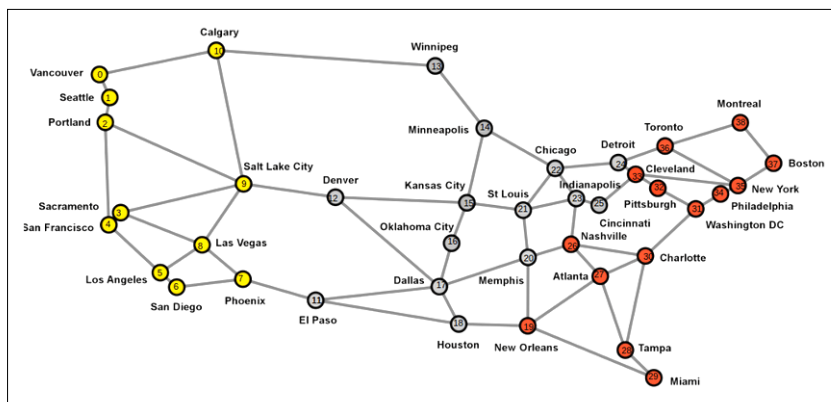
részekre bontásával és geometriai algoritmusok segítségével keressük az így keletkező komponensek közötti új élek legolcsóbb útvonalait.

Több lehetséges algoritmust dolgoztam ki a leginkább költséghatékony hálózatbővítés kiválasztására. Az új élekkel kiegészített, bővített hálózat már adott méretű regionális katasztrófától védett lesz, akárhol is történjenek azok. A különböző módszereket implementáltam, majd a hatékonyságukat összevetve elemeztem őket. A gördülékeny munkához és teszteléshez egy elosztottan működni képes rendszert is felépítettem.

A szerzőről



HAJDÚ ZSOMBOR LÁSZLÓ tanulmányait a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán folytatta, ahol 2021 januárjában szerezte meg mérnökinformatikus végzettségét. 2018 óta a HSNLab kutatási segédje.



A szakdolgozatomban kitérek a problémát eddig (részben) tárgyaló szakirodalomra és az alkalmazott módszerekre, majd felépíttem a matematikai modellt, amelynek segítségével a probléma formalizálható lesz: a hálózatot egy irányítatlan geometrikus gráfként *ábrázoljuk*, majd számítógépes geometriai módszerekkel meghatározunk bizonyos „veszélyzónákat”, amiket, ha katasztrófa (például egy bizonyos zónába eső epicentrumú földrengés) érne, a hálózat több részre esne szét. Ezután a feladat

Objektumok felismerése és követése felhőből vezérelt drónokkal

CZURKÓ DÁNIEL

BME, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
czurko.dani@edu.bme.hu

Konzulens: Dr. Fehér Gábor (BME, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék)

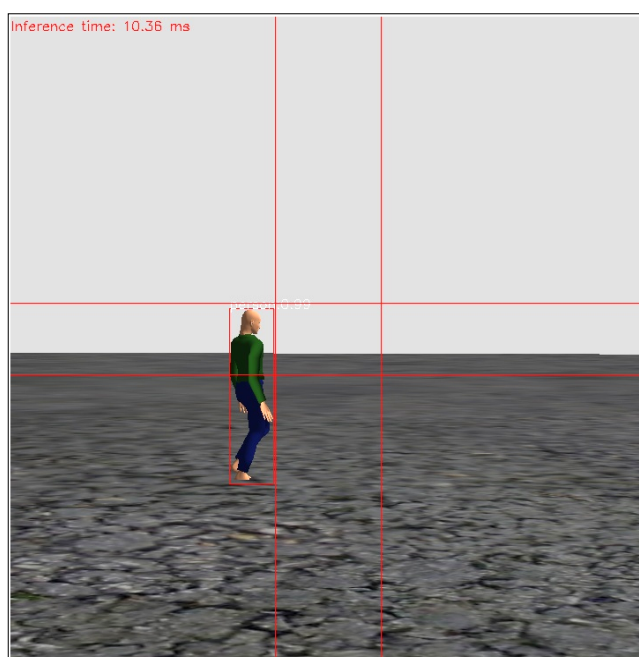
Kulcsszavak: Docker, felhőalapú robotika, objektumfelismerés, ROS, szimuláció

A drónok alkalmazásánál egy gyakran előkerülő megoldandó probléma, hogy a drónoknak követniük kell valamit vagy valakit. Így légi felvételek esetében gyakran egy mozgó embert, például egy biciklist vagy gördeszkást, vízi sportoknál szörfőst vagy vitorlást, télen pedig egy sielőt. A csomagszállításnál is számos olyan szituáció adódhat, amikor valamilyen objektumot kell követnie a drónnak, mint például egy előre meghatározott objektumra való leszállásnál.

Robotok és drónok építése során az egyik fontos kérdés, hogy mekkora számítási kapacitást tervezzünk a robotunkra. Természetesen azt szeretnénk, ha minél több mindenre képes lenne, ehhez azonban nagy számítási kapacitást kellene a robotnak magával cipelnie, ami sokszor nem megoldható. Ugyanakkor, ha rendelkezésünkre áll egy nagyon kis késleltetésű hálózat – például egy 5G-s mobilhálózat –, és a hálózat szélén egy nagy számítási kapacitású számítógép – tipikusan valamilyen felhő-infrastruktúra formájában –, akkor meg lehet oldani, hogy szinte végtelen számítási kapacitás álljon a robotunk rendelkezésére. Ilyenkor az irányításához szükséges komplex és nagy számítási kapacitású vezérlési logikát kiszervezzük a hálózat szélén elhelyezkedő nagy számítási kapacitású számítógépbe.

A szakdolgozat során a feladatom egy felhőben futó objektumkövető rendszer elkészítése volt, mely képes egy szimulált drón kamerakép alapján történő irányítására oly módon, hogy a drón kövessen egy előre meghatározott mozgó objektumot. Erről látható egy pillanatszerű felvétel a mellékelt ábrán. A kép a drón kamerájának feldolgozott képét mutatja a felismert emberrel, valamint a függőleges és vízszintes segédvonalakkal. A drónnak a célja, hogy mozgásával a felismert embert a függőleges és vízszintes vonalak találkozásánál kialakult téglalapba irányítsa. Az ábra bal felső sarkában látható szöveg pedig az objektum-felismerés sebességét mutatja meg.

A feladat megoldása során mozgó objektumnak egy járkáló embert választottam. A rendszer tervezése és megvalósítása oly módon történt, hogy a szimulált drónt egyszerűen ki lehet cserélni egy valóságos drónra, valamint nem csak mozgó ember felismerésére és követésére alkalmas, hanem több mint ötven másik mozgó objektumot is képes követni.



A szerzőről



CZURKÓ DÁNIEL a Szent István Gimnáziumban szerezte érettségi bizonyítványát, majd tanulmányait a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karának IMSC programjában folytatta. Jelenleg az egyetem MSc-hallgatója. Az egyetemen főként hálózatokkal és virtualizációval foglalkozik, szeret robotokat építeni és programozni.

Adataalapú döntéshozatal gépi tanulás eszközökkel tőzsdei adatokon

CSANAKI RICHÁRD

Soproni Egyetem, Informatikai és Gazdasági Intézet
csanakir@gain.uni-sopron.hu

Konzulens: Dr. Pödör Zoltán (Soproni Egyetem, Informatikai és Gazdasági Intézet)

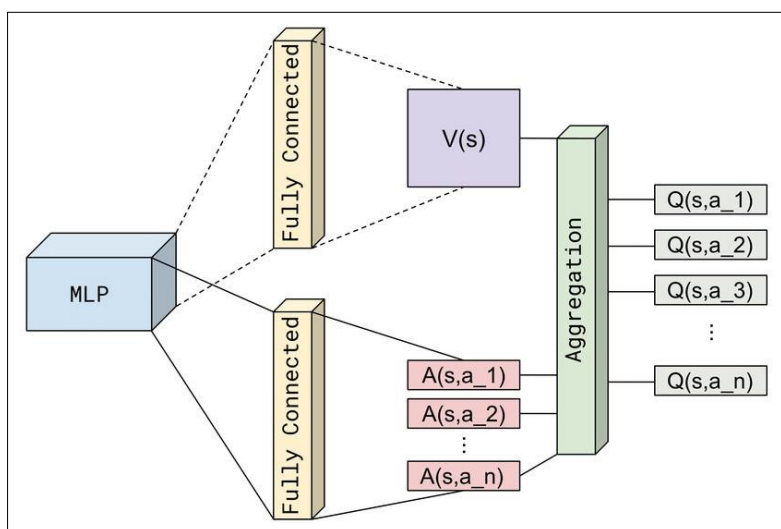
Kulcsszavak: mesterséges intelligencia, visszacsatolós mélytanulás, Q-learning, tőzsde

A szakdolgozatban bemutatom a gépi tanulás rövid elméleti háttérét és részletesen foglalkozom a tudományág egy részterületével, a visszacsatolós tanulással. Ennek során a használt ágens feladata, hogy egy Markov-láncként formalizált környezetben hozzon döntéseket, miközben egy előre definiált, doménspecifikus jutalom-függvényt hosszú távon maximalizál.

A jutalomfüggvény kimeneteivel lehet értékelni az úgynevezett Q-függvényt, amely a visszacsatolós tanulásban használatos policy (π) függvény egy fajtája. Paraméterei a vizsgált környezet aktuális állapota, valamint az aktuálisan végrehajtandó lépés, így definiálva az ágens számára, hogy adott szituációban, állapotban milyen lépést tegyen.

mory” architektúrájú neurális hálózat tanul egymástól azért, hogy meghatározzanak egy optimális értékpapírbefektetési stratégiát a bemeneti, két attribútumból (zárási árfolyam, napi kereskedett volumen) álló adathalmaz alapján.

A gyakorlati feladatban több megközelítés is kipróbálásra került, így az egyéni részvényekkel való kereskedés, „index fund”-részvényekkel való kereskedés, valamint azonos szektorba tartozó részvényekkel történő kereskedés azért, hogy egy modellt lehessen alkalmazni több részvénnel lefolytatott ügylethez is. Az egyéni részvények esetén stabil profitráta érhető el, míg az adathalmazokon, amelyek több részvényt tartalmaztak, volatilis hozamok mutatkoztak.



A szerzőről



CSANAKI RICHÁRD tanulmányait a Soproni Egyetem Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar gazdaságinformatikus BSc szakán végezte, ahol 2021-ben kiváló minősítésű oklevelet szerzett. Tanulmányi, gazdaságinformatikus szakmai, Új Nemzeti Kiválóság Program és Nemzeti Felsőoktatási ösztöndíjas hallgató, az Országos Gazdaságinformatikus Konferencia kitérített előadója, az Informatikai és Gazdasági Intézet volt kutatási asszisztense. Az egyetemi tanulmányok mellett a budapesti IT startup világban tevékenykedett, mint az Abylon Consulting Kft. gyakornoka, jelenleg a Magna International üzleti intelligencia fejlesztője Grazban, a Microsoft által tanúsított adatelemző. Kutatási területe a visszacsatolós mélytanulás alapú mesterséges intelligencia rendszerek.

A Q-függvényeket használó Q-learning módszer alapvetően egy modell nélküli tanulási megközelítés, azonban a dolgozatban ennek egy továbbfejlesztett verziójával dolgoztam, amelyben kettő neurális hálózat párhuzamosan tanul egymástól, a kettő modell közötti kommunikációt biztosító ágens segítségével.

$$Q_{t+1}^A(s_t, a_t) = Q_t^A(s_t, a_t) + \alpha_t(s_t, a_t) \left(r_t + \gamma Q_t^B \left(s_{t+1}, \arg \max_a Q_t^A(s_{t+1}, a) \right) - Q_t^A(s_t, a_t) \right)$$

$$Q_{t+1}^B(s_t, a_t) = Q_t^B(s_t, a_t) + \alpha_t(s_t, a_t) \left(r_t + \gamma Q_t^A \left(s_{t+1}, \arg \max_a Q_t^B(s_{t+1}, a) \right) - Q_t^B(s_t, a_t) \right).$$

A módszer egy gyakorlati feladatban került implementálásra, ahol két hat rétegű „Long Short-Term Me-

A „cloud native” alkalmazásfejlesztés hatékony praktikái

KERTÉSZ DÁVID RICHÁRD

BME, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
david.r.kertesz@outlook.com

Konzulensek: Szabó Gergely (Origoss Megoldások Kft.)
Dr. Farkas Károly (NETvisor Zrt. / BME, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék)

Kulcsszavak: Cloud Native, DevOps, felhőalapú fejlesztés, Kubernetes, rendszer monitorozás

Napjainkat a technológiai fejlődés exponenciális gyorsulása jellemezi. Nem ritka, hogy amire egy nagyobb sztenderd megveti a lábát a szakmában, máris versenyeznie kell akár több, gyorsabb működést, nagyobb költséghatékonyságot, vagy egyszerűbb használhatóságot ígérő, fejlődő technológiával.

A felhőalapú számítástechnika fejlődése felgyorsította a felhőalapú megoldások integrálását a szoftverfejlesztési és üzemeltetési folyamatokba. Azon vállalatok, amelyeknek nincsenek meg a megfelelő erőforrásaik arra, hogy a világ bármely pontján biztosítsák szolgáltatásaikat, felhasználhatják a felhőplatformok által nyújtott igény szerinti számítási erőforrások lehetőségét. Ezáltal a kisebb vállalatok is versenyképesek lehetnek a nagyobbakkal szemben és nyereségesek is maradhatnak az üzemeltetési költségeik óvatos menedzselésével.

Ez a folyamat – amiben a vállalatok elmozdulnak a saját maguk által fenntartott szerverektől a felhőalapú rendszerek irányába – helyet adott több olyan technológiának és metodikának, amelyek jelenleg a szoftverfejlesztést és üzemeltetést alapjaikban meghatározzák. A DevOps egy ilyenfajta kulturális folyamat, magába foglalva több agilis gyakorlatot, metodikát és automatizmust, amelyek a modern szoftverfejlesztés részei. Ezek összességükben napi szintről órákra csökkentik a szoftver-beüzemelés idejét, míg a minőségellenőrzés szempontjai ugyanúgy teljesülnek.

Az ezen gyakorlatok által meghatározott fejlesztési folyamatok is nagy mértékben automatizáltak. A folyamatos folyamatok (continuous practices) meghatározzák az IT-csapatok napi munkavégzését. A csapatok gyors reagálási idejét részben a konténerizációs technológiák használata alapozza meg, melyek segítségével egy absztrakciós réteg kerül a szoftver és az azt futtató környezet közé.

Ezáltal a több konténerből álló rendszerek orkesztációja fölé is lehet vonni egy absztrakciós réteget, ami az egyik bevett technológia a Kubernetes. A Kuberneteset nagy mértékben kezdték el használni, miután a

Google nyíltta tette a forráskódját, és manapság már vezető technológia a felhőalapú üzemeltetésben.

Az előbbieken említett folyamatok a szoftverfejlesztésben és üzemeltetésben, valamint a fejlett felhőalapú technológiák a részeit képezik annak, amit úgy hívunk, hogy „cloud native”. A „cloud native” ökoszisztéma több, egymással kapcsolatban álló technológia szorosan összefüggő halmaza, melyek célja, hogy nyílt forráskódú megoldásokat biztosítsanak a fejlesztési és üzemeltetési folyamatok tisztán felhőalapú rendszerbe való átültetésére.

Ez a szakdolgozat ezen ökoszisztéma leírását célozta meg. A dolgozat első része a Kubernetes alapvető működését ismerteti, kitérve arra, hogy ez milyen mértékben változtatta meg a számítástechnika világát. A második rész egy gyűjtemény a fontosabb fejlesztési és üzemeltetési metodikákból és gyakorlatokból, amelyeket a modern IT-csapatok az egyre inkább online világban való

hatékonyság és produktivitás okán követnek.

A harmadik rész pedig bemutatja azt a Kubernetes alapokon működő, komplex „cloud native” rendszert, amelyben egy egyszerű, a leírt gyakorlatokat követő folyamattal fejlesztett alkalmazás fut, melynek a célja, hogy tesztelhető legyen a működésén keresztül a felhőrendszer hatékonysága. Egy tesztet is leírásra kerül, mely példaként szolgál a teljes „cloud native” rendszer működésére éles környezetben.

A szerzőről



KERTÉSZ DÁVID RICHÁRD tanulmányait a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán végezte üzemmérnök-informatikus szakon. Jelenleg az IBM-nél dolgozik szoftverfejlesztőként.

Energiaszolgáltatások felhasználóinak fogyasztásvizsgálata gépi tanulási módszerekkel

BABÁK BOTOND

BME, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
botond.babak@gmail.com

Konzulensek: Hegedüs Ákos (Sagemcom Magyarország Kft.)
Dr. Toka László (BME, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék)

Kulcsszavak: gépi tanulás, csalásfelderítés, energiaszolgáltató, fogyasztásvizsgálat

A víz-, gáz- és áramszolgáltatók a technológia fejlődésének, az úgynevezett okos mérők megjelenésének köszönhetően egyre hatékonyabban tudják azonosítani azon felhasználóikat, akik szolgáltatásukat jogtalanul, vagy nem a mért mennyiségben használják fel. Ezen csálók sikeres felismerésében a sűrű mintavételezésen és a pontos helymeghatározáson túl a gépi tanulási módszerek is segítségünkre lehetnek.

A dolgozatomban ennek a problémának a megoldására kerestem minél alkalmasabb gépi tanulási módszereket, illetve összehasonlítottam és úgy hangoltam azokat, hogy minél kedvezőbb eredményeket érjek el. Az összehasonlítás szempontjai közé tartozott, hogy az algoritmus esetlegesen a későbbiekben használható legyen ipari környezetben is. Emiatt az algoritmus betaníthatóságát, erőforrásigényét és költséghatékonyságát is figyelembe kellett venni.

A publikusan elérhető adathalmazok felhasználásával történt vizsgálataimban szereplő algoritmusok közül a legjobban teljesítő eljárás által elért eredmények láthatók mellékelt *diagramokon*. Így a csálók 42,66%-át megtalálta az algoritmus (első diagram), amihez a teljes fogyasztóbázisnak csak 7,62%-át kellett megvizsgálni (alsó diagram). Emellett a valóban megvizsgált fo-

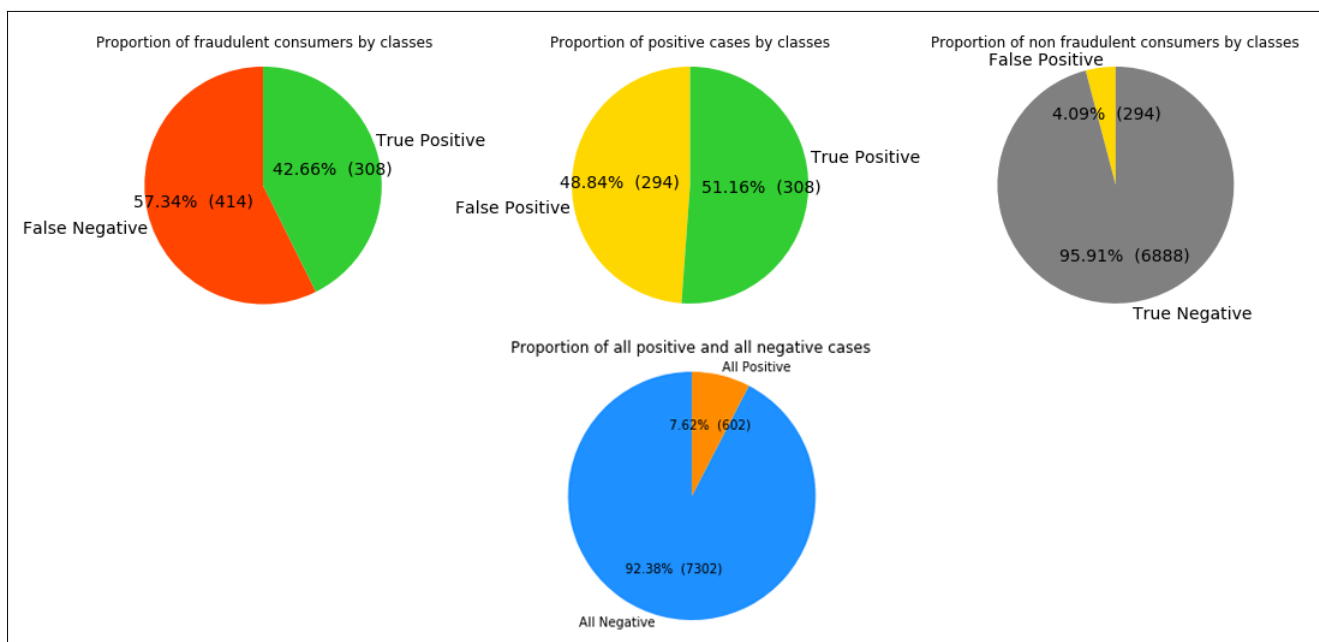
gyasztók közül is minden második ténylegesen csáló is volt (középső diagram), ami azt jelenti, hogy további adathalmazok építéséhez is alkalmazható az algoritmus, ezzel javítva a későbbi eredményeken.

Ennél sokkal radikálisabb megoldások is születtek, amik üzletileg nem feltétlenül érték volna meg, de a későbbiekben egy jobb adathalmaz felépítése után azokban is lehet potenciál.

A szerzőről



BABÁK BOTOND tanulmányait a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán, üzemmérnök-informatikus szakon végezte. Szakmai tapasztalata: 2020–2021: Sagemcom Magyarország Kft. – Szoftvertesztelő/Adatelemző gyakornok. 2021–től: Accenture Magyarország Kft. – Azure Data Engineer.



Szeperált eszközmenedzsment hálózat fejlesztése a Richter Gedeon informatikai hálózaton

OLÁH MÁRK

BME, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
mark.olah.om@gmail.com

Konzulensek: Boór András (Richter Gedeon Nyrt.)
Dr. Holczer Tamás (BME, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék)

Kulcsszavak: hálózatmenedzsment, „Out Of Band”, útválasztás, hálózattervezés

A modern informatikai rendszerek komplexitása folyamatosan nő. Ez azt is jelenti, hogy az azokat üzemeltető és fejlesztő szakembereknek egyre nagyobb kihívást jelent, hogy emellett a folyamatos bővülés mellett megőrizzék azt a kontrollt, olyan mértékű áttekinthetőséget, ami a kisebb rendszerek esetén természetesen jelen van.

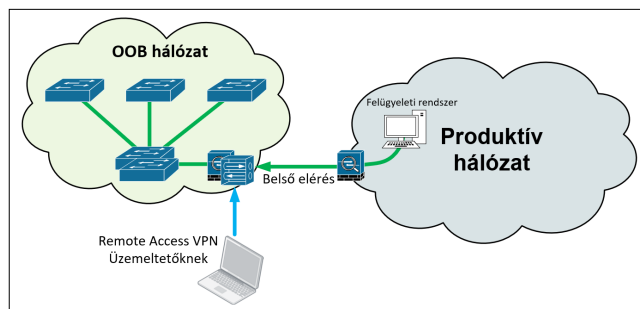
A kontroll megtartásának egyik talán legszemléletesebb példája a hálózatban található eszközök menedzselhetőségének kérdése. Ezt támasztja alá, hogy a nagyméretű, akár több ezer eszközt magába foglaló hálózatok felügyeletével, menedzselhetőségével és annak megbízható működésével szemben épp olyan, vagy talán még magasabb elvárásaink vannak, mint a kisebb hálózatokkal szemben.

A nagyobb vállalatok – mint amilyen a Richter Gedeon Nyrt. is – sok esetben több telephellyel rendelkeznek, azokon belül pedig több különálló szerverhelyiséggel. Ez az elosztott struktúra megbízhatóbbá teszi az üzemeltetést, azonban kihívást jelent a hálózati eszközök kezelésének szempontjából. A legkönnyebben kialakítható és a leginkább költséghatékony, ugyanakkor a legkevésbé robosztus megoldás, amikor a hálózat már használatban lévő kapcsolatait használjuk erre a célra, és az üzleti forgalom csatornáin keresztül valósítjuk meg a menedzsment funkcióit. A vállalat továbbfejlesztette ezt a kialakítási sémát oly módon, hogy a kulcsfontosságú eszközei mellé külön hálózati kapcsolókat telepített a menedzsment-forgalom továbbítására.

A szakdolgozat-feladatomban a meglévő menedzsment-hálózat továbbfejlesztése volt egy olyan megoldással, ahol az eszközök elérésével és megfigyelésével kapcsolatos forgalom teljes mértékben elkülönül az üzleti forgalomtól. Ennek létrehozásához felmértem és meghatároztam a már meglévő menedzsment-hálózat azon központi eszközeit, amelyeket felhasználva a lehető legkevesebb topológiai változással elérhetem a kívánt eredményt. A szükséges információk birtokában készítettem el azt a hálózati tervrajzot, amely a vállalat teljes eszközmenedzsment hálózatát szemlélteti, és amely az új OOB- (Out Of Band) menedzsment-hálózat terveinek alapjául szolgált. A tervezési fázis további szakaszaiban azonban egyetlen átfogó tervrajz helyett inkább több különböző szintű leképezését készítettem el a kialakítandó konstrukciónak. Az egyes nézetek az OSI-modell szerinti rétegeknek felelnek meg, kezdve a fizikai rétegtől

egészen a harmadik, azaz a hálózati rétegig. Ez a tervezési módszer nagyon hasznosnak bizonyult, mivel így könnyedén átláthattam az egyes rétegekkel kapcsolatos követelményeket és kihívásokat. A fizikai réteget leíró tervrajz segített az összeköttetések és az azokhoz szükséges szerelési anyagok felmérésében, míg a második réteg nézete alapján könnyedén meghatározhatam a VLAN-ok hatóköréit. Végül pedig a harmadik réteget leíró tervrajz segített az új OSPF-area megtervezésében. Így jobban átláthattam, mit jelent az útválasztásra vonatkozóan leválasztani egy kisebb menedzsment-szigetet a produktív hálózatról, és hozzácsatolni az új OOB-menedzsment-hálózathoz. A tervezési eljárás nyomán eszközölt változtatások eredménye az ábrán látható.

Az új topológia megbízható menedzsment célú elérést biztosít a produktív hálózaton fellépő hibák esetén is. Másik előnye, hogy a hálózathoz való hozzáférés könnyebben felügyelhető és szabályozható.



Záró gondolatként szeretném megjegyezni, hogy ez a projekt számomra sokkal többet jelentett, mint a szakdolgozatomban témáját adó feladat. Amikor ezen dolgoztam, rengeteg tapasztalatot szereztem nem csak a tervezés, de az eszközök konfigurálásának, a feladatok ütemezésének és a lehetőségek számbavételének kapcsán is.

A szerzőről



OLÁH MÁRK tanulmányait a BME Villamosmérnöki és Informatikai Karán végezte. Szakmai gyakorlatát a Richter Gedeonnál töltötte a Network and Security csoport tagjaként, ahol routing and switching, VoIP, tűzfalak és DWDM-kapcsolatok témakörökkel foglalkozott. Oklevelének megszerzése után a Unisys Magyarország Kft.-nél Network Design Engineer pozícióban helyezkedett el, ahol leginkább magasszintű hálózati tervek készítésével és hálózati projektek támogatásával foglalkozik.

TDoA-Based Indoor Positioning Over Cellular 5G Network

TDoA alapú beltéri helymeghatározás cellás 5G mobilhálózaton

PAPP ZSÓFIA

BME, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
zsofi.bme@gmail.com

Konzulensek: Dr. Pašić Alija (BME, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék)
Andrási Dániel (Ericsson Magyarország Kft.)

Kulcsszavak: 5G mobilhálózat, beltéri helymeghatározás, beltéri jelterjedési modell, csatornamodell, NLOS kiküszöbölés

Az 5G-hálózatok fejlődése és elterjedése várhatóan jelentős átalakulást fog eredményezni életünk számos területén. Az iparban, a közlekedésben, az egészségügyben, az energiagazdálkodásban is lényeges fejlődésre számíthatunk a mobilhálózatok új generációjának köszönhetően. Az új alkalmazási területeken számos esetben elengedhetetlen a mobilhálózathoz kapcsolódó eszközök pontos és megbízható helymeghatározása, gondoljunk csak az önvezető járművekre vagy az intelligens robotokra. Nyílt területeken jól bevált megoldást kínál a GPS, beltéri pozicionáláshoz azonban új módszerekre van szükség.

Egy ilyen megoldás kidolgozása során a legnagyobb kihívást a beltéri jelterjedési sajátosságok jelentik: a rádiójelek terjedését gyakran nehezítik falak és egyéb akadályok, melyek a jelek csillapítását, visszaverődését és szóródását okozzák. Ezen hátrányos hatások miatt nehéz olyan beltéri helymeghatározó rendszert alkotni, amely elfogadható telepítési és üzemeltetési költségek mellett képes az elvárt pontosságot is biztosítani. Egy ígéretes megoldási alternatíva az 5G-mobilhálózaton keresztül történő pozicionálás, mivel megbízható, eszközfüggetlen helymeghatározást tesz lehetővé járólékos telepítési költségek nélkül.

Diplomamunkámban egy beltéri, 5G-alapú mobilpozicionálást megvalósító rendszer tervezésének első lépéseim haladtam végig. Az elméleti háttér részletes felderítését követően egy szimulátorprogramot készítettem a jövőbeli rendszer várható teljesítményének előrejelzésére. A szimulátorban valószínűségi változókkal modelleztem a különböző hibaforrásokat, melyek közül a legérdekesebb az NLOS- (Non-Line of Sight) terjedésből adódó időmérési hiba. Ennek szimulációjához többféle beltéri jelterjedési modellt implementáltam. A szimulált mérési értékeket felhasználtam a helymeghatározást végző algoritmusok optimalizálásához, melynek során sikerült a helymeghatározás hibájának átlagát 3,6 méterről 2,7 méterre csökkentenem.

A mellékelt *ábra* a szimulátor egyik kimenetét mutatja, amely két különböző algoritmus által becsült pozíciókat (tónusos pontok) hasonlít össze adott rendszerjellemzők mellett. Fekete csillagok jelölik az 5G referencia-antennák helyzetét, a hozzájuk tartozó TDoA (Time Difference of Arrival) méréseket hiperbolák szemléltetik. A szimuláció során a mobil tényleges pozíciója egy 1m*1m nagyságú (nyíllal jelölt) négyzeten belül helyezkedik el.

A mellékelt *ábra* a szimulátor egyik kimenetét mutatja, amely két különböző algoritmus által becsült pozíciókat (tónusos pontok) hasonlít össze adott rendszerjellemzők mellett. Fekete csillagok jelölik az 5G referencia-antennák helyzetét, a hozzájuk tartozó TDoA (Time Difference of Arrival) méréseket hiperbolák szemléltetik. A szimuláció során a mobil tényleges pozíciója egy 1m*1m nagyságú (nyíllal jelölt) négyzeten belül helyezkedik el.

A szerzőről



PAPP ZSÓFIA tanulmányait a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen végezte, ahol villamosmérnök alapképzésben vett részt és a mobilhálózatok irányába specializálódott. Szakmai tudását a mesterképzés alatt tovább mélyítette, miközben az Ericsson Network Location-nél végzett munkája során gyakorlati tapasztalatot is szerzett az 5G-hálózatok fejlesztésében. Főbb érdeklődési területei a pozicionálási módszerek és algoritmusok, illetve a beltéri jelterjedési szimulációk és modellek.

