

**Szabó Géza „Intelligens hálózati megoldások az Ipar 4.0 számára: programozható 5G hálózatok és adaptív ipari alkalmazások” című
MTA doktori értekezésének bírálata**

Az értekezés témája az 5G mobilhálózatok kutatása és fejlesztése, ami kiemelten fontos szakmai terület, mert lehetővé teszi a hagyományos mobil szélessávon túlmutató, ipari szempontból kritikus alkalmazások megvalósítását. Az olyan felhasználási esetek, mint a rendkívül alacsony késleltetést és magas megbízhatóságot igénylő kritikus gépi kommunikáció, illetve a nagyszámú, energiatakarékos szenzort használó tömeges gépi kommunikáció, alapvetőek az ipari automatizálás, az okosgyárak és más vertikális piacok számára. Az 5G azon képessége, hogy egyetlen hálózaton belül eltérő szolgáltatásminőségi igényeket is képes kiszolgálni, jelentős technológiai és gazdasági előnyt jelent.

A 3GPP (Third Generation Partnership Project) által kidolgozott szolgáltatásalapú architektúra, valamint az olyan megoldások, mint a NEF (Network Exposure Function), a CAPIF (Common API Framework) és a SEAL (Service Enabler Architecture Layer), azért bírnak nagy jelentőséggel, mert megnyitják a mobilhálózatokat az ipari és alkalmazásfejlesztők előtt. Ezek az egységes, szabványosított és fejlesztőbarát API-k csökkentik a hálózatkonfiguráció bonyolultságát, támogatják az automatizálást, és lehetővé teszik külső szereplők bevonását is. Ennek eredményeként ez a kutatási terület jó alapját képezi új, skálázható ipari alkalmazásoknak, és fontos szerepet játszik a jövő digitális ipari rendszereinek kialakításában.

A kutató munka célja az 5G hálózati expozíció ipari IoT alkalmazások számára történő egyszerűsítése és automatizálása azért, hogy az ipari fejlesztők mély hálózati ismeretek nélkül is hatékonyan használhassák a hálózat képességeit. Ennek érdekében a munka széles körben elterjedt ipari és kutatási platformokra, például a ROS 2-re (Robot Operating System) és az OPC UA-ra (Open Platform Communications Unified Architecture) épít, így biztosítva, hogy az eredmények valós ipari környezetben is könnyen alkalmazhatók legyenek. A kutatás ezen túl azt a célt tűzte ki, hogy a hagyományos, egyirányú hálózati vezérlés helyett egy együttműködő, adaptív modellt valósítson meg, ahol nemcsak a hálózat szolgálja ki az alkalmazásokat, hanem az alkalmazások is aktívan visszacsatolást adnak a hálózat számára. Ennek kulcseleme egy zárt vezérlési hurok kialakítása, amely ipari szenzoradatok felhasználásával teszi lehetővé a hálózati erőforrások valós idejű, egységes és hatékony kezelését.

A dolgozat 6 fejezetből áll, a szakmai bevezetést és a végén a tudományos eredmények összefoglalást tartalmazó fejezeteken túl minden fejezet egy-egy téziscsoportot tárgyal.

Az első téziscsoport egy gyártócella rádióterjedési sajátosságait figyelembe vevő, fejlett szimulációs és optimalizációs megközelítést mutat be, amely a hosszú tanulási idő csökkentését célozza pontos fizikai modellezés, gyors sugárkövetés és megerősítéses tanulás alkalmazásával. A javasolt módszer a vezetékes kommunikációt 5G-alapú vezeték nélküli megoldással váltja ki, minimális számú hozzáférési pont mellett, az 5G hálózati erőforrás-kezelés funkciók felhasználásával. Az eredmény hatékonyabb rádióerőforrás-használat és gyorsabban adaptálódó ipari kommunikációs rendszer.

A második téziscsoport egy olyan architektúrát és módszert mutat be, amely lehetővé teszi a vertikális alkalmazásokból származó információk automatikus kinyerését és ezek alapján célzott kérések indítását a 3GPP hálózati expozíciós rétege felé. A javaslat kezeli a pub/sub

protokollok azon korlátját, hogy egyetlen IP-kapcsolaton belül nem különíthető el a hálózati QoS a közzevők és feliratkozók között. Ennek eredményeként a hálózat képes differenciált szolgáltatásminőséget biztosítani az alkalmazás szereplői számára, ipari szempontból kontrolláltabb és hatékonyabb kommunikációt megvalósítva.

A harmadik téziscsoport új architektúrát mutat be, amelyben a hálózat aktív szereplőként, az alkalmazás-expozíció felhasználójaként jelenik meg, lehetővé téve az alkalmazásoktól származó információk közvetlen és automatizált felhasználását a hálózati működés optimalizálására.

A negyedik téziscsoport egy átlagos véleménypontszám jellegű (Mean Opinion Score (MOS)) minőségértékelési módszert javasol ipari folyamatokhoz, amely összekapcsolja a hálózati QoS paramétereket az ipari folyamatok tényleges kimenetével. A megközelítés lehetővé teszi az ipari alkalmazások hálózatvezérelt szabályozását anélkül, hogy a hálózatüzemeltetőnek részletes szakterület-specifikus ismeretekkel kellene rendelkeznie. Az eredmények alapján bizonyos ipari folyamatok a szigorúnak tekintett hálózati követelmények jelentős megsértése mellett is elfogadható minőséget képesek biztosítani, ami új optimalizálási lehetőségeket nyit meg az 5G-alapú Ipar 4.0 rendszerekben.

A téziszűzet bevezeti és bemutatja a kutatott területet összefoglalóan, magát a célkitűzéseket. Ezt jónak látom.

Az értekezés számos eredményt mutat be, melyek közös tulajdonsága, hogy az elméleti eredmények hatással bírnak egyrészt a kutatói közösségre, valamint a publikációk és a szabadalom révén pedig a tágabb kutató, adott esetben ipari közösségre is.

Az értekezés jól szerkesztett, színvonalas munka. Az eredményeket érthetően összefoglalja.

Az értekezés mögött jó a publikációs tevékenység. Az eredményeket a szerző több publikációban adta közre.

Az elmúlt két évtizedben, folyamatosan követve a Tanszék különböző projektjeit, a kutatás-fejlesztésben elért jobbnál jobb eredményeit, ezekhez szépen illeszkedik a szerző munkája.

A védésen kérem, hogy a szerző adjon egy rövid ugyanakkor átfogó képet az eredmények, illetve a kutató munkája révén aktuálisan folyó nemzetközi együttműködésekről, azok témájáról és potenciális hasznosulásáról ebben a három bontásban: társadalmi hasznosulás, intellektuális hasznosulás, gazdasági hasznosulás.

Kíváncsi lennék a szerző véleményére, hogy azon jellegű munkákat, amit Ő is végez, tehát csapatban, nemzetközi csapatban, valamint IKT területen, hogyan a legjobb objektíven mérni a tudományos eredményesség szempontjából? Melyek a kulcs faktorok, amiket érdemesnek lát vizsgálni, melyek azok a közbülső faktorok, amelyek jól előre jelzik a tudományos, társadalmi és gazdasági hasznosulást? Külön kérem, hogy térjen ki arra a faktorra, hogy mit jelent a kutató munkája szempontjából, hogy folyamatosan része nemzetközi projekteket megvalósító konzorciumoknak / közösségeknek!

A pályázó tudományos munkája, annak eredményei meggyőzőek. Az értekezésben tárgyalt téziseket elfogadom. Az értekezést nyilvános védésre bocsáthatónak tartom, az eredmények alapján a fokozat odaítélését támogatom.

Budapest, 2025. december 18.

Lengyel László