

A bírálóbizottság értékelése

Az értekezés meggyőzően bizonyítja, hogy a szerző kiemelkedő szakértője a nagyméretű peremfelhő és IoT rendszereknek. Igen sok szempontból vizsgálja ezeket az új típusú elosztott rendszereket és sok területen jelentősen hozzájárult jobb megértésükhöz és mind elméleti, mind gyakorlati továbbfejlesztésükhöz.

Toka László disszertációja a felhő infrastruktúrákban fellépő menedzsment feladatok (skalázás, erőforrás elosztás) vizsgálatával foglalkozik és ennek számos területén mutat be értékes kontribúciókat, algoritmusokat és elméleti eredményeket egyaránt. A felhő és a hozzá kapcsolódó perem rendszerek, technológiák (IoT, köd, mobil hálózatok) kiemelt szerepet játszanak a jelenkori informatikai infrastruktúrában, amelyeknek az optimalizálása rendkívül fontos. Az elmúlt két évtizedben a felhőrendszerek –azon belül is a hatékony erőforráskezelés– már számos tudományos kutatás tárgyát képezte világszerte. Ennek ellenére újabb és újabb kihívásokra kell választ találni tekintettel az olyan új technológiák és megközelítések folyamatos megjelenésére, mint például a perem- és ködszámítások (edge/fog computing) vagy a mikroszolgáltatás és 5G architektúrák. A jelölt által kitűzött célok is ezen témakörökbe tartoznak, időszerűek, sok esetben pedig már a jövőbeli, hosszabb távú, nagyszabású fejlesztéseket is megalapozhatják.

Az értekezésben alkalmazott kutatási módszertan megfelel a választott téma sajátosságainak. A nagyméretű elosztott rendszerek sok esetben olyan komplexek, hogy vagy egyszerűsítő modellek alkalmazása mellett lehetséges matematikai apparátussal kezelni őket, vagy még az egyszerűsítő modellek mellett sem kezelhetők matematikai apparátussal. Ahol a matematikai megközelítés lehetséges volt, ott a jelölt igen helyesen ezt az utat választotta. Ahol lehetséges volt, ott a matematikai modellel kapott előrejelzést a jelölt összevetette a szimulációs eredményekkel és ezek meggyőzően verifikálták az alkalmazott szimulációs eszközt és módszert. Mindez kellő hitellességet kölcsönözött azoknak a vizsgálatoknak, amelyeket már csak a szimulátoron tudott elvégezni a jelölt.

A jelölt elméleti modelleket állít fel a felhő szolgáltatások komplex piaci mechanizmusaira, amiből egyfelől a felhő szolgáltatások által indukált hálózati struktúrákat, másfelől a szolgáltatások árazását lehet elemezni. Komplex modellt állít fel, amely a felhasználói igényeket, pénzügyi keretet és a szolgáltatói kapacitásokat (topológiával együtt) együtt kezeli. A fejezetben leírt kutatás jelentősége, hogy kimutatta, hogy a felhő-központú szolgáltatásnyújtás hogyan befolyásolhatja az Internet szerkezetét, és mely tényezők befolyásolhatják a szolgáltatókat a szolgáltatások közvetítésének árazásában.

Továbbá olyan algoritmusokat javasol, amelyek peremfelhőkben tesznek lehetővé hatékony erőforráskiosztást, különösen tekintettel arra a problémára, hogy a helyőrzők (placeholders) kijelölése optimálisan történjen. Az első problémakör a késleltetékritikus alkalmazások ütemezését kívánja úgy megoldani, hogy a rendszer megbízhatósági követelményeket is kielégítsen. Egy ilyen megbízhatósági követelmény előírja, hogy bármelyik csomópont meghibásodásából a rendszer hibamentes működését vissza lehessen állítani. Ennek érdekében a jelölt kidolgozott két perem-ütemező algoritmust, melyek lényege, hogy minden podhoz biztonsági mentési erőforrásokat (helyőrzőket) biztosít a peremfelhő csomópontjain.

4A

A jelölt a fenti feltételeknek megfelelően kidolgozta mind az online perem-ütemező, mind az offline újraütemező algoritmusát. Egy ehhez kapcsolódó másik nagy témakör a podok

automatikus skálázása felhő rendszerekben. A kutatás kiindulópontja a gyakorlatban széles körben használt Kubernetes felhőkezelő platform, amely a Horizontal Pod Autoscaler (HPA) nevű beépített eljárással valósítja meg podok igény szerinti dinamikus skálázását. A kutatás alapkérdése itt az volt, hogy lehet-e a HPA algoritmusnál hatékonyabb algoritmust kidolgozni a podok skálázására. Ennek érdekében első lépésként a jelölt kidolgozta a HPA algoritmus matematikai modelljét melyben a kérések érkezési folyamatát Markov-modulált Poisson folyamatként (MMPP) írja le. Mivel ennek a modellnek hátránya, hogy nem tudja figyelembe venni az elveszett jobok számát, ezért a jelölt második lépésként egy olyan diszkrét modellt vezetett be, ami már kiküszöböli ezt a problémát. A modellek kísérleti validálása érdekében a jelölt egy egyetemi hálózatról gyűjtött forgalmi adatokból összeállított valós működési mintákat felhasználva végzett összehasonlító szimulációs elemzéseket, melyek kimutatták, hogy a bevezetett matematikai modellek valóban jól írják le a HPA algoritmusát, azaz jó kiindulási alapot jelentenek a további vizsgálatokhoz.

A jelölt a sávszélesség megosztásának a problémájával is foglalkozik, ehhez játékelméleti megközelítést javasol. A jelölt két szolgáltatásminőség-biztosítási keretrendszert mutat be IoT rendszerekben a feltöltési sávszélesség optimális kiosztására. Az elsőben egy Vickrey típusú árverésen alapuló, koordinálatlan erőforrásallokációs modellt javasol a szerző felhőalkalmazások elérése során a hálózati QoS fenntartása érdekében. Itt a kliensek rövid időszakokra többlet sávszélességért licitálhatnak a hálózat üzemeltetőjénél történő ajánlattétellel. A disszertáció ezen részében a jelölt numerikus elemzéssel olyan heurisztikus stratégiákat mutat be, amelyek bizonyos forgalmi terhelési esetekben sikerre vezetnek. A második keretrendszerben egy központosított erőforrás-allokációs sémát javasolt a jelölt, ahol a felhőbe feldolgozásra küldött adatfolyamok sebességét egy, a felhőben futó optimalizáló szoftver képes előre jelezni és szabályozni. Ebben a modellben a megosztott feltöltési sávszélesség az alkalmazás szempontjából fontos forgalmi adatok szerint van kiosztva. Az erőforrás allokációs problémát dinamikus programozással oldja meg a jelölt, és megadja a kidolgozott algoritmus számítási komplexitását. Ennek a megoldásnak egy konkrét gyakorlati feladat megoldásában is jelentős szerepe volt, és így komoly gyakorlati jelentőséggel bír.

Jelasity Márk bíráló a disszertációban megfogalmazott tézisek mindegyikét új tudományos eredménynek fogadta el, amely a jelölt saját munkája. Kacsuk Péter bíráló a 2.1 és 2.5 téziseket nem fogadja el, a 3.1 és 3.2 téziseket pedig egybe olvasztva, egy tézisként fogadja el. A további 8 tézist viszont fontos tudományos eredménynek tekinti és elfogadja. Lovas Róbert bíráló a bemutatott téziseket új tudományos eredményként fogadja el, de az 1.3 és 2.4 tézisek kapcsán megjegyzi, hogy az 1.3-as tézis ugyan fontos állítása a téziscsoportnak, bár bizonyítása kézenfekvőbb, mint a többi esetén, a 2.4-es tézis esetén pedig a tanító adathalmaz mérete, minősége és reprezentativitása ronthat az értekezésben bemutatott tudományos eredmények egyenszilárdságán és jelentőségén.

A tézisek alátámasztására szolgáló tudományos közlemények részben magas IF értékkel rendelkező folyóiratokban (pl. IEEE Transactions on Network and Service Management), részben pedig rangos nemzetközi IEEE vagy ACM konferencia kiadványokban jelentek meg 2017 és 2022 között (jóval a PhD megszerzését követően), ahol a jelölt első- vagy utolsó szerzőként került feltüntetésre. Az értekezés erőssége, hogy a tudományos publikációk mellett a 2. téziscsoporthoz 1 db USA-ban benyújtott (függőben lévő) szabadalmat, a 3. téziscsoporthoz pedig 2 db már az USA-ban bejegyzett szabadalmat tüntet fel a jelölt a

művében. Az eredmények hasznosíthatósága a bemutatott projektek, szabadalmak és egyéb munkák alapján példaértékűnek mondható.

A bírálók valamint a bírálóbizottság a doktori műben lefektetett új tudományos eredményeket, az MTA doktora cím elnyeréséhez elegendőnek tartják.