

**Kertész Attila**  
**Komplex, elosztott rendszerek viselkedésének elemzése**  
(Behaviour analysis of complex, distributed systems)  
**című MTA doktori értekezésének bírálata**

Bíráló: Buttyán Levente

## **Bevezető**

Kertész Attila MTA doktori disszertációjában bemutatott eredményei különböző felhő-alapú rendszerek megvalósításával, működtetésével, illetve modellezésével, szimulációjával, és elemzésével kapcsolatosak. A felhő alapú rendszerek általában komplex, elosztott rendszerek (erre utal a disszertáció címe is), melyek viselkedésének megértése, teljesítményének mérése nem triviális feladat, és adott esetben új elemzési módszerek és szimulációs eszközök kifejlesztését igényli. A Jelölt ennek megfelelően számos új elemzési módszert és szimulációs eszközt mutat be disszertációjában, melyek létrehozásában kulcsszerepet játszott.

A disszertáció 4 téziscsoportot tartalmaz. Az első téziscsoportban federált felhő rendszerek kialakítására és működtetésére használható új módszerek kaptak helyet. Ezek a Jelölt önálló tudományos munkásságának legkorábbi szakaszában született eredmények. A további téziscsoportokba IoT-felhő, IoT-köd-felhő, illetve blokklánc technológiát alkalmazó köd-felhő rendszerek modellezésével és elemzésével kapcsolatos új eredmények kerültek. Ezek a Jelölt önálló munkásságának későbbi szakaszaiban születtek, amikor már doktorandusz hallgatók témavezetésével és nemzetközi projektek munkacsoportjainak irányításával is foglalkozott, ezért természetes -- és ezt a Jelölt is korrektül megjegyzi -- hogy ezek az eredmények a doktoranduszaival és más kutatótársaival együtt végzett kollaboráció során születtek. Ez teljes mértékben megfelel a mai kutatási gyakorlatnak.

A disszertáció nagy mennyiségű publikációra épül: a Jelölt mintegy 22 tudományos folyóiratcikkét, 6 könyvfejezetét, és 7 tudományos konferenciatickét sorolja fel a disszertációhoz kapcsolódó közleményként, melyek a PhD fokozat megszerzése óta születtek. Ebből kifolyólag, a disszertáció csupán a Jelölt utóbbi 12 évben végzett munkásságának magas szintű összefoglalását, eredményeinek összegzését tartalmazza, a javasolt modellek, elemzési módszerek, szimulációs eszközök, és az azokkal végzett mérések részletei csak magukban a publikációkban található meg. Fontosnak tartom kiemelni, hogy publikációk többsége mértékadó, a szakmai közösség által elfogadott minőségű és presztízses folyóiratban illetve konferenciakiadványban jelent meg. Megjegyzem továbbá, hogy a publikációk egy töredék részéhez nem tudtam hozzáférni, tekintve, hogy azok nem nyílt elérésűek, és az őket tartalmazó digitális könyvtárakhoz sem nekem, sem munkahelyemnek (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem) nincs jelenleg előfizetése vagy hozzáférése. Ez azonban nem korlátozott abban, hogy a Jelölt eredményeinek lényegét megértsem, és azok jelentőségét megítéljem.

A továbbiakban az egyes tézisekkel kapcsolatos megjegyzéseimet és kérdéseimet ismertetem.

### **1. téziscsoport: Felhő föderációk vizsgálata**

Az 1.1 tézisben a Jelölt egy bróker architektúrát javasol, mely lehetővé teszi optimális felhő föderációk magasabb szinten történő kialakítását az egyes felhőkben éppen rendelkezésre álló erőforrások alapján. Az erőforrás terheltség megállapítására, a Jelölt egy virtuális gépekbe integrált monitorozó megoldást dolgozott ki, és a monitorozott információkat egy SALMon nevű, mások által korábban fejlesztett keretrendszerrel dolgozta fel.

**1. kérdés:** Nekem úgy tűnik, hogy az 1.1 tézisben javasolt bróker architektúra megtervezése, valamint a kapcsolódó erőforrás monitorozás, jobbára mérnöki feladatok. Milyen tudományos jellegű kihívással szembesült ebben a munkában?

Az 1.2 tézisben a Jelölt felhő federációkban és IoT-köd-felhő rendszerekben jelentkező adatvédelmi problémák csoportosítására ad módszert és azt alkalmazza különböző használati esetekre, majd általános következtetéseket próbál megállapítani a fent említett rendszerek adatvédelmi problémáival kapcsolatban. Nekem a munka eredményeként született következtetések elég kézenfekvőnek tűnnek, akár az elvégzett elemzés nélkül is megállapíthatók. Pl. az egyik következtetés szerint, "amint a rendszerek komplexitása növekszik, azaz egyre több technológiát alkalmaznak, úgy gyengül a felhasználók ráhatása az adatkezelési folyamatokra, melynek következtében nagyobb felelősség hárul a szolgáltatókra".

**2. kérdés:** Volt-e az 1.2 tézisben végzett elemzésnek olyan eredménye, mely a Jelölt számára meglepetést okozott, vagy olyan új következtetéshez vezetett, ami a szisztematikus elemzés nélkül nem lett volna könnyen megállapítható?

**3. kérdés:** A fenti konkrét következtetés esetében, hogyan mérhető egy rendszer komplexitása, illetve a felhasználók ráhatása az adatkezelési folyamatokra, és milyen függvénnyel írható le a komplexitás függése az alkalmazott technológiák számától?

Az 1.3 tézisben a Jelölt új optimalizációs algoritmusokat javasol felhő federációk adatközpontjainak energiahatékony működtetésére és azokat szimulációs módszerekkel elemzi. A javasolt módszer fő újdonsága, hogy a feladatok VM-ekhez történő allokációja során az energiafelhasználás és a futási idő együttesen kerül optimalizálásra, illetve a módszer lehetőséget ad az energiafelhasználás és a futási idő közötti trade-off-ok keresésére. Megjegyzem, hogy a disszertációban ezt a közös optimalizációt és trade-off keresést nem igazán szemlélteti a Jelölt.

**4. kérdés:** Összehasonlította-e a Jelölt a javasolt optimalizációs módszert más optimalizációs módszerekkel? Mit tart a javasolt optimalizációs módszer hátrányának?

## **2. téziscsoport: IoT-felhő rendszerek vizsgálata**

A 2.1 tézis eredménye az MQTT protokollt alkalmazó üzenetbróker implementációk kiértékelése és osztályozása különböző tervezési, megvalósítási, valamint biztonsági és teljesítmény jellemzőik alapján. Nekem úgy tűnik, hogy az ehhez szükséges munka alapvetően mérnöki jellegű volt, ismert módszerek kézenfekvő alkalmazásából állt, új tudományos eredményt nem igényelt.

A 2.2 tézisben a Jelölt új módszert javasol IoT-felhő rendszerek részleges szimulációs vizsgálatára, valamint egy új, MobloTSim nevű szimulációs eszköz kifejlesztéséről is beszámol, melyben a javasolt új szimulációs módszer implementálásra került. A továbbiakban a tézis magának a MobloTSim szimulátornak a vizsgálatáról, képességeinek értékeléséről ad számot. Számomra nem világos, hogy mit tekint a Jelölt a 2.2 tézis fő eredményének: az új szimulációs módszert vagy a szimulátort, ami azt implementálja? Nekem úgy tűnik, hogy a disszertációból hiányzik magának az új szimulációs módszernek az elemzése, más szimulációs módszerekkel történő összehasonlítása, míg a szimulátor képességei részletesen elemzésre kerülnek. Ugyanakkor, a szimulátor kifejlesztése nyilvánvalóan mérnöki munka, és nem tekinthető új tudományos eredménynek.

**5. kérdés:** Mit tekint a Jelölt a 2.2 tézis fő eredményének: az új, részleges szimulációs módszert vagy a MobloTSim szimulátort? Ha a módszert, akkor miben látja annak fő tudományos értékét? Azaz milyen

kihívások motiválták az új módszer kifejlesztését, melyeket nem lehetett megoldani más ismert szimulációs módszerekkel, illetve milyen elméleti problémákat kellett megoldani a módszer kifejlesztése során?

A 2.3 tézis is a fenti MobloTSim szimulátorral foglalkozik, képességeinek további vizsgálatát tartalmazza, illetve ennek kapcsán említi egy, a vizsgálatokhoz szükséges privát átjáró szolgáltatás kifejlesztését, valamint annak egy konkrét alkalmazásra specializált megvalósítását (IoT átjáró alkalmazás). A Jelölt azt írja a disszertációban, hogy a szakirodalomban található IoT átjárókhoz képest, az általa javasolt privát IoT átjárónak nem célja, hogy egy IoT rendszer minden igényét kielégítő általános megoldást nyújtson, hanem csupán egy olyan átjáró megoldás kifejlesztése volt a cél, ami a MobloTSim szimulátorral együtt használható. Nekem ez erős limitációnak tűnik.

**6. kérdés:** Mik a főbb, tudományos jellegű kihívások, problémák egy privát átjáró szolgáltatás kifejlesztésében, melyekhez a state-of-the-art mérnöki módszereken túlmutató új módszerek szükségesek?

### **3. téziscsoport: IoT-köd-felhő rendszerek vizsgálata**

Ebben a téziscsoportban hasonló jellegű tézisek találhatóak, mint a 2. téziscsoportban, azzal a különbséggel, hogy az alkalmazási terület a köd számítással (fog computing) is bővült, azaz a javasolt új módszerek és eszközök nem IoT-felhő rendszerek, hanem IoT-köd-felhő rendszerek vizsgálatára alkalmasak.

A 3.1 tézisben a munkát megalapozó alapos irodalomkutatásról számol be a Jelölt, mely során megvizsgálta a létező IoT-köd-felhő rendszerek vizsgálatára alkalmas szimulátorokat, illetve ehhez kapcsolódóan javaslatot tesz egy új taxonómiára, melynek segítségével a szimulációs eszközök osztályozását elvégezte. A javasolt taxonómia újdonsága, hogy a szimulátorok használhatóságát és megbízhatóságát is figyelembe veszi, és ezen jellemzők megállapításához szoftvermetrikai módszereket használ.

A 3.2 tézisben a Jelölt új árazási modellt javasol IoT-köd-felhő alkalmazások számára, és bevezet egy új leíró nyelvet is, mellyel tetszőleges árazási modell leírható.

A téziscsoport egyik fő eredménye egy új szimulátor eszköz, a DISSECT-CF-Fog kifejlesztése és kiértékelése. A DISSECT-CF-Fog szimulátor a már korábban létező DISSECT-CF, federált felhő infrastruktúrák vizsgálatát lehetővé tevő szimulátorra épül, azt egészíti ki IoT eszközök modellezésével, felhő és IoT szolgáltatói árazási sémákkal, köd és halmaz infrastruktúra modellezéssel, valamint mobilitás, aktuáció és energiafogyasztás modellezésével. A Jelölt részletesen vizsgálta az új szimulációs eszközt, összehasonlította azt más létező szimulátorokkal, és megmutatta, hogy a DISSECT-CF-Fog szimulátor hatékonyabban alkalmazható nagyobb léptékű vizsgálatokhoz, mint más szimulátorok.

**7. kérdés:** Minek köszönheti a DISSECT-CF-Fog szimulátor a jobb skálázhatóságát? Milyen árat kell ezért a skálázhatóságért fizetni? Mik a DISSECT-CF-Fog szimulátor skálázhatóságának határai?

Végül a 3.3 tézisben a Jelölt új erőforrás allokációs stratégiákat javasol IoT-köd-felhő alkalmazások számára, melyek képesek csökkenteni az alkalmazások futási idejét és erőforrás költségét, egyúttal maximalizálva az IoT-köd-felhő infrastruktúra kihasználtságát, és a DISSECT-CF-Fog szimulátor segítségével részletesen vizsgálja a javasolt stratégiák hatékonyságát.

#### **4. téziscsoport: IoT-blokklánc-köd-felhő rendszerek vizsgálata**

A 4. téziscsoportban az alkalmazási környezet tovább bővül a blokklánc technológia alkalmazásával, mely segíthet az IoT-köd-felhő rendszerekben felmerülő számos bizalmi és biztonsági kihívás megoldásában.

A 4.1 tézisben a Jelölt egy újabb szimulációs eszközt javasol, és különböző, köd és blokklánc rendszerek integrációjára épülő scenárióban szemlélteti a FoBSim szimulátor alkalmazhatóságát. Bár a javasolt szimulációs eszköz gazdagabb elemzést tesz lehetővé, mint a létező hasonló szimulációs eszközök, melyek hiányosságait a Jelölt egy részletes state-of-the-art elemzésben tárta fel, önmagában egy új szimulátor kifejlesztése nekem továbbra is olyan mérnöki munkának tűnik, mely ismert módszerek alkalmazásával megvalósítható, és nem jelent új tudományos eredményt.

A 4.2 tézisben a Jelölt új módszereket javasol blokklánc hálózatok teljesítményének és konzisztenciájának elemzésére, melyeket a fenti FoBSim szimulátor segítségével elemez. Ugyanebben a tézisben, egy új, adattovábbítást optimalizáló protokoll is bemutatásra kerül, mely képes csökkenteni az adatgenerálástól az adat teljes hálózaton történő szétterjedéséig eltelt időt.

**8. kérdés:** Mennyivel jobb a 4.2 tézisben javasolt módszer és protokoll az irodalomban található más konzisztencia elemző módszerekhez és adattovábbító protokollokhoz képest? Történt-e összehasonlító elemzés, s ha igen, mik voltak annak főbb konklúziói?

A 4.3 tézisben egy olyan blokklánc technológiára épülő köd-felhő rendszert javasol a Jelölt, mely lehetővé teszi COVID oltási információk megbízható és magánszféra-védelmet is biztosító nyomon követését. A rendszer teljesítményének vizsgálata a FoBSim szimulátorral történt valós adatokat felhasználva.

A 4.4 tézisben a Jelölt új módszereket javasol köd-alapú blokklánc rendszerek tervezésére. Az egyik javasolt módszer (PF-BTS) feladatütemezés hatékony megvalósítására használható, a másik (PriFoB) köd- és blokklánc-alapú tanúsítványkezelést tesz lehetővé, biztosítva a magánszféra védelmét (GDPR kompatibilitást) és a tanúsítványok visszavonhatóságát.

A 4.2, 4.3, és 4.4 tézisek eredményeit érdekes új eredményeknek tartom.

#### **Összegzés**

Kertész Attila disszertációja 12 év önálló tudományos munkássága alatt született, több, mint 30 tudományos cikkben, a szakmai közösség által elfogadott fórumokon publikált eredményeit foglalja össze. Az eredmények federált felhő, IoT-felhő, és IoT-köd-felhő rendszerek tervezéséhez és hatékony működtetéséhez kapcsolódnak. A téziscsoportokon átívelő közös minta, hogy ezen komplex rendszerek elemzéséhez speciális szimulációs módszerek és eszközök szükségesek, és a Jelölt egyik fő kontribúciójának az tekinthető, hogy számos ilyen módszert és eszközt javasolt és valósított meg. Ugyanakkor több tézis esetében megkérdőjelezhető, hogy a tézisben bemutatott eredmény (pl. egy újabb szimulátor megtervezése és implementációja) valóban új tudományos eredménynek tekinthető-e, vagy inkább olyan -- kétségtől mentesen -- hasznos és értékes -- mérnöki teljesítménynek, mely ismert módszerek kézenfekvő alkalmazásával elérhető. A 4. téziscsoportban az alkalmazási környezet kibővül a blokklánc technológiák használatával köd- és felhő-alapú rendszerekben, és itt a Jelölt számos olyan új módszert javasol, ami új tudományos eredménynek tekinthető.

Össességében, a Jelölt tudományos teljesítménye meggyőző, a disszertáció tudományos eredményeit elegendőnek tartom az MTA doktori cím megszerzéséhez, ezért a disszertáció nyilvános védésre bocsátását javaslom.

Budapest, 2024.04.13.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Buttyán Levente', with a long horizontal stroke extending to the right.

Dr. Buttyán Levente  
egyetemi tanár  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem