

Záró beszámoló

Többszintű projektek irányításának ágens alapú modellezése

OTKA PD 123915

Hegedűs Csaba

Bevezetés

A projektek eredményességét döntően befolyásolja az alkalmazott projekt menedzsment módszer. A kutatás célja egy olyan keretrendszer kialakítása volt, amely modellezni tudja a hagyományos (változatlan célok, változtatható erőforrás- és/vagy időfelhasználás) és az agilis (változtatható tevékenységek és logikai struktúra, rögzített erőforrás- és időkorlát) megközelítések működését, hatását a projektek eredményességére, a projektek tervezési és működtetési kereteinek kihasználására mind egyedi projekt, mind multi-projekt szinten. Az így kapott eredmények rámutathatnak a fenti megközelítések lehetőségeire és kockázataira, lehetőséget adhatnak felügyeleti és irányítási, illetve korai előrejelzési rendszerek kidolgozására.

Az elvégzett munka

A projekt menedzsment ágensek létrehozása

A kutatás a projektek tervezését és azok végrehajtásakor az esetleges módosítások – felhasznált erőforrások, lefutási idő, költségek, elvégzendő tevékenységek, a projekt strukturális átalakítása – elvégzését megvalósító ágensek létrehozásával kezdődött Matlabban. Három különböző ágenszt hoztunk létre: (1) a tradicionális (TPMa – traditional project management agent) képes költség-idő átváltásokkal rövidíteni a projektet a projektstruktúra megtartásával; (2) az agilis (APMa) képes újrastrukturálni a projekttervet, ha vannak a tevékenységek között olyan korábban betervezett rákövetkezési relációk, amelyek feloldhatók és/vagy tevékenységek, amik elhagyhatók; (3) a hibrid (HPMa) az előző két akció mindegyikére képes. Agilis és hibrid esetben a tevékenységek elhagyása a projekt eredményét, így (pont)értékét is csökkenti, ezért erre a pontértékre egy alsó korlátot határoztunk meg a szokásos felső költség- és időkorlátok mellett. Hibrid megközelítés esetében az ágens először átstrukturálással keres a korlátoknak megfelelő, lehető legnagyobb pontértékkel rendelkező megoldást, majd projekt-tömörítéssel rövidíti tovább az átfutási időt, ha erre lehetőség van.

Általánosan egy ágens három lépésben határozza meg az optimális ütemtervet. Első lépésben kiválasztjuk azokat a tevékenységeket, amelyek végrehajthatók a költségkereten belül és az elérhető minimális projekt átfutási idő is megfelel az időkorlátnak. Ennek eredményeképpen megkapjuk az elvégzendő tevékenységek halmazát, amit *projektváltozat*nak nevezünk. Második lépésben meghatározzuk, hogy milyen sorrendben hajtjuk végre a tevékenységeket, azaz kapunk egy logikai tervet, *projekt struktúrát*. Harmadik lépésben az egyes tevékenység-végrehajtási módokat határozzuk meg. Így megkapjuk a végső *projektütemtervet* a költség- és időszükségletekkel. A három lépés azonban nem érhető el egyetemlegesen mindhárom projekt menedzsment megközelítés, így -ágens számára. Az agilis megközelítés csak az első két lépéssel, a hagyományos csak a harmadikkal, a hibrid mindhárom lépéssel dolgozhat (1. táblázat).

1. táblázat A projekt menedzsment ágensek számára elérhető műveletek

	Tevékenységek elhagyása	Flexibilis rákövetkezések feloldása	Projekt tömörítése
TPMa (tradicionális)			X
APMa (agilis)	X	X	
HPMa (hibrid)	X	X	X

Ezek az ágensek a korlátozás és szétválasztás módszerén alapuló egzakt algoritmus (Kosztyán, 2015) alkalmazása révén képesek egyedi projektekre polinomiális időben megadni az optimális megoldást különböző célfüggvények esetében.

Projekt benchmark adatbázis létrehozása

Az ágensek teszteléséhez és az eredmények összehasonlíthatóságának biztosításához Novák Gergely PhD-hallgató segítségével összegyűjtöttünk 79 875 egyedi és 469 089 multi-projekt hálót 11 szabadon elérhető benchmark adatbázisból. Az adatbázisok közül a legjelentősebbek:

- PSPLIB (Kolisch & Sprecher, 1997),
- MPSPLIB (Homburger, 2007)
- RG30 és RG300 (Vanhoucke et al., 2008)
- BY (Browning & Yassine, 2010)
- MMLIB (Peteghem & Vanhoucke, 2014)
- Jordy Batselier és Mario Vanhoucke (2015) valós projekteket tartalmazó adatbázisa
- MPLIB1 és MPLIB2 (Van Eynde & Vanhoucke, 2020)

Az adatbázisokhoz elkészült egy-egy parser, ami az általunk használt formába, egységesített mátrix-alapú projekttervbe (UMP – unified matrix-based project planning, bővebben lásd: Kosztyán et al., 2023 és Kosztyán, 2013) és a Matlab alkalmazás számára kezelhető fájlformátumba alakítja az adatokat.

Az összegyűjtött adatbázisok egyike sem tartalmazott flexibilis struktúrákat, elhagyható tevékenységeket vagy feloldható rákövetkezési relációkat, ezért egy rugalmassági paraméter ($f\beta$ – flexibility parameter) bevezetésével a tevékenységek és rákövetkezési relációk (megközelítőleg) 0, 10, 20, 30 és 40 százalékát flexibilissé alakítottuk az egységesített mátrix-alapú projekt adatbázisban (CMPD – compound matrix-based project database). Az adatbázis így az eredeti rögzített struktúrák mellett azok különböző szintű rugalmas megfelelőit is tartalmazza.

Az így keletkezett egységesített adatbázis (CMPD) tartalmának rendszerezéséhez összegyűjtöttünk projekt indikátorokat, amik a soros/párhuzamos felépítésen túl egyéb strukturális jellemzőket, háló topológiákat, az erőforrások és költségek megoszlását a tevékenységek között, és a korlátozottságuk mértékét tudja számszerűen bemutatni. Az indikátorok többsége nem tudta kezelni, hogy az egyes tevékenységek többféle módon is végrehajthatók, így változhat a költség, idő és erőforrás szükségletük. Ezeket át kellett alakítanunk, hogy flexibilis és multimodális projekttervekre is kaphassunk releváns mutatószámokat.

Az adatbázist és a parser kódokat a (Kosztyán et al., 2023) cikk megjelenésével egyidőben szabadon hozzáférhetővé tesszük a <https://github.com/novakge/parsers> címen.

Projektkockázatok vizsgálata ágensek szerint

A benchmark adatbázisokat és a projekt menedzsment ágenseket felhasználva többlépcsős túlélés alapú vizsgálatot (SABRE – survival analysis-based risk evaluation) hajtottunk végre azt keresve, hogy az egyes projekt menedzsment megközelítések milyen kockázatokkal járnak a szerződés-kötési, ajánlattételi fázisban az idő-, erőforrás- és költség keretek szűkülésekor, majd az ütemezési és végrehajtási fázisban a bizonytalanság – a projekt paraméterek kismértékű, de széles körben, minden tevékenységre vonatkozóan megjelenő véletlenszerű ingadozása –, valamint csak néhány tevékenységet érintő sokkhatásszerű zavarok megjelenésekor (Kosztyán & Hegedűs, 2020; Kosztyán et al., 2020). Ehhez létrehoztunk egy szimulációs keretrendszert (Kosztyán & Hegedűs, 2020), valamint az egyes érdekeltek célrendszerét is tartalmazó metaháló struktúrát (Kosztyán et al., 2020).

Multiprojektek ütemezése

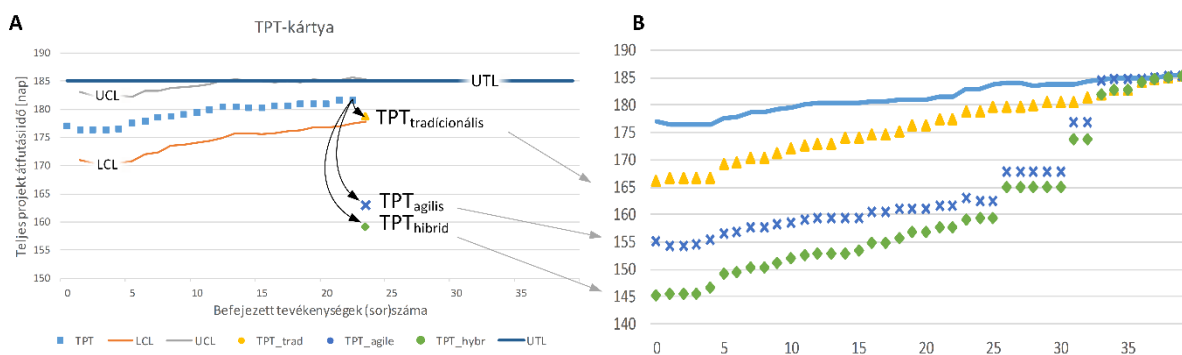
Multiprojektek esetében a legnagyobb kihívást a közösen használt, szűkös erőforrások megosztása jelenti. A többszintű, erőforráskorlátos tervezésben heurisztikákat, genetikus algoritmust, is igénybe kellett vennünk, hogy a megengedett megoldás megtalálásához szükséges számítási időt lecsökkentsük. Így egy félig felügyelt algoritmus határozza meg, hogy milyen sorrendben férhetnek hozzá a szükséges erőforrásokhoz, így mi a legkorábbi kezdési időpontjuk. A megoldás keresése a korábban ismertetett három lépésen keresztül megy itt is végbe, azzal a módosítással, hogy a projektváltozatok majd projekt struktúrák meghatározása

után a genetikus algoritmus határozza meg a tevékenységek végrehajtási sorrendjét, figyelembe véve az egyes projektek közötti prioritási sorrendet és a projekteken belüli logikai rákövetkezéseket. A költség-erőforrás-idő átváltásoknak csak az ezután fennmaradó a játéktérben van lehetősége érvényesülni, ami attól függ mennyire van kifeszítve a projekt ezen korlátok között.

Projektek irányítása – Projekt szabályozó kártya

Az egyes ágensek (TPMa, APMA és HPMA) egy-egy projekttervet hoznak létre a célfüggvényeiknek és a korlátoknak megfelelően. Amennyiben a projektterv végrehajtása közben valamilyen eltérés vagy zavar jelentkezik a tervet módosítani, frissíteni kell.

Hogy ütemezni tudjuk azt, hogy az egyes ágensek mikor tervezzék újra a projektet, esetleg mikor célszerű egy másik ágensre bízni a projekt további menedzselését, projekt szabályozó kártyát (Hegedűs et al., 2018) dolgoztunk ki a teljes projekt átfutási időre (TPT). A kártya az eddig elvégzett tevékenységek által felhasznált idő és költség adatok alapján, valamint a hátralévő hasonló adatainak becslése segítségével előrejelzi a projekt várható teljes átfutási idejét (és ezzel a befejezés időpontját). Az előrejelzések mellett azok bizonytalanságát is feltüntetjük a kártyán egy (a projektmenedzser által) választott megbízhatósági szint mellett. Ha adott megbízhatóság mellett elérjük vagy meghaladjuk a költség, vagy idő korlátunkat, akkor be kell avatkozni, újra kell tervezni a hátralévő tevékenységek végrehajtásának módját. Az egyes ágensek beavatkozási lehetőségeinek figyelembevételével minden egyes döntési pontban megadható, hogy milyen átfutási idő érhető el tradicionális, agilis vagy hibrid megközelítéssel (1. ábra).



1. ábra: A szabályozó kártya-lehetséges projekt túlszűszást jelez (A), ekkor meghatározható, hogy a beavatkozási lehetőségek szerint milyen új átfutási idők érhetőek el. (B) Minél később avatkozunk be, annál kisebb lesz a korrekciós lehetőség az eredeti (folytonos vonal) lefutásához képest

Eredmények

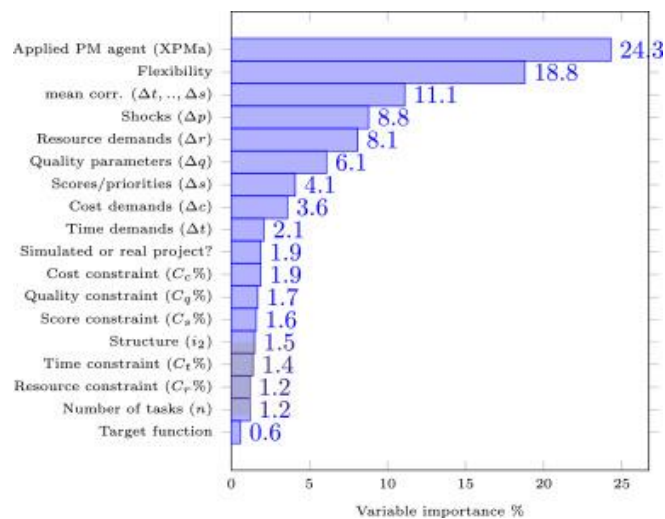
A létrehozott összevont mátrix-alapú projekt adatbázisban (CMPD) vizsgálata (Kosztyán et al., 2023) rámutatott arra, hogy a különböző, az ütemező algoritmusok tesztelésére használt benchmark adatbázisok többsége a strukturális és a komplexitásra vonatkozó indikátorok esetében csak egy szűk szegmensét fedik le a valós adatbázis (Batselier & Vanhoucke, 2015) projektjeit leíró indikátor értékek tartományának. Azaz azok csak specifikusan, egy-egy problémára irányítottan képezik le a valós projektütemezési feladatokat, az is előfordulhat, hogy egy-egy indikátor értékkészlete átfedésben sincs a valós projekteknél tapasztalt indikátor értékekkel.

Azt is megfigyeltük, hogy a generált benchmark adatbázisokban a klaszterezett korrelációs gráfok alapján strukturális, időorientált és erőforrás orientált indikátorok típusai alkotnak (Leiden-féle) modulokat, míg a valós adatbázisban az egyes projektstruktúra indikátorok szorosabb összefüggést mutattak az idő- vagy az erőforrás indikátorokkal. Az általunk bevezetett két rugalmassági indikátor, az elhagyható tevékenységek aránya (s%) és a felbontható rákövetkezések aránya (f%) mindkét esetben alacsony korrelációt mutat a többi indikátorral, így azok új információt adnak a projektekről.

A szimulált és a valós adatok közötti eltérés javítható, azaz az indikátorértékek tartománya szélesíthető és nagyobb átfedés érhető el a valós projekteket leíró értékek tartományával, ha a projekttervekbe rugalmasságot viszünk be az általunk javasolt és alkalmazott flexibilis struktúra generátorral (FSG). Ez akkor

is igaz, ha végül hagyományos projektütemezési technikákat alkalmazunk például a minimális strukturákra és nem használjuk ki a tervek rugalmasságát. Emellett az így kapott új projekttervek valóban bővítették az ütemezési feladatok sokféleségét, olyan indikátor értékpárokat eredményeztek, amelyekkel rendelkező feladatok korábban nem voltak az adatbázisokban.

Az idő-költség-erőforrás átváltással operáló tradicionális projekt menedzsment, a projekt átstrukturálását használó agilis megközelítés és a kettőt ötvöző hibrid projekt menedzsment módszer ágensekkel történő modellezése és vizsgálata alapján igazolódott az a feltételezésünk, hogy a hibrid megközelítés lesz a legrobustusabb. A megengedett megoldás megtalálására a választott projekt menedzsment megközelítés/ágens lesz a legnagyobb hatással (2. ábra). Feltételeztük, hogy a projektek felépítése (mérete, párhuzamosság mértéke) szintén erős hatással lesz a projektek végrehajthatóságára. Az eredmények alapján a strukturális jellemzők közül a flexibilitás került a megvalósíthatóságra ható tényezők erősrendjében a második helyre, a többi strukturális tényezőnek ugyan van szignifikáns hatása, az jóval kisebb, a sorrendben az utolsó harmadba kerültek. Megelőzi ezeket a strukturális jellemzőket fontosságban a projekttervtől való eltérés, véletlen ingadozás - mint kockázati tényező - mértéke, illetve az, hogy ezen ingadozások egymással korrelálnak-e vagy sem. Ha a kockázati tényezők egymással korrelálnak - a költség-, idő- és erőforrás szükségletek változása együtt mozog, akkor jelentősen romlik a túlélés (a megengedett megoldás találásának) esélye. A projektstruktúra flexibilitása olyannyira fontos jellemző, hogy a megengedett megoldások aránya alapján felállított rangsorban tradicionális megközelítés megelőzi az agilist, ha a rákövetkezési relációknak kevesebb mint egyötöde kezelhető csak flexibilisen (bővebben lásd Kosztyán et al., 2020).



2. ábra A projektparaméterek és kockázati tényezők hatásának fontossági sorrendje

Az egyes projekteknel kockázati tényezők - véletlen ingadozások, sokszerű események - hatását az átfutási idő tervtől való eltérés mértékére a létrehozott projekt szabályozó kártya tudja előre jelezni. Ebben a felesleges beavatkozás, túlszabályozás és az elmaradt korrekciók miatti túlsúszások kockázatait is figyelembe véve, az általunk javasolt módszerrel egy kockázat minimalizáló beavatkozási határ hozható létre. Az ingadozásokat vizsgáló projekt szabályozó kártyán a korábbi projektek tapasztalatai alapján hozott becslések torzítására (alul- vagy túlbecslésre) is riasztást kapunk, ami alapján javítható a tervezés.

Az eredmények hasznosítása

Tudományos hasznosítás

Mivel az UMP segítségével egységes módon adjuk meg CMPD-ben a korábban különböző adatbázisokban szereplő projekteket, így azok kombinálása, egyedi tesztkészletek összeállítására is lehetőség van, akár az

egyres strukturális, időorientált vagy erőforrásorientált indikátorok értékei alapján is. Ez a projektek ütemezésével foglalkozó kutatóknak egy olyan vizsgálati környezetet biztosít, amely a valós projektekkel jobb átfedésbe vihető, változatosabb ütemezési vagy erőforrásallokációs problémákat, azaz szélesebb alkalmazási területet fed le, de akár specifikus igényekhez tartozó adatkészletek összeállítására is lehetőséget ad az összehasonlíthatóság, reprodukálhatóság fenntartása mellett.

A SABRE alapú kockázatértékelő módszer további kutatásokban is használható, ahol valamilyen sorrendiséget feltételezhetünk a hatások megjelenésében. A meta-háló alapú kockázat modell szabadon bővíthető és képes különböző érdekeltek és célfüggvények figyelembe vételére az eredmények értékelésekor.

Gyakorlati hasznosítás

Az eredmények rámutattak, hogy a projekteknel mely tényezőkre kell a menedzsereknek koncentrálni, az egyes célfüggvényekhez, és projekt tulajdonságokhoz (rugalmasság, erőforrás-szükségletek bizonytalansága) mely menedzsment megközelítések lesznek a legalkalmasabbak, illetve egy adott menedzsment megközelítés esetén mely kockázati tényezők lesznek a nagyobb hatással.

A projekt szabályozó kártya egyaránt hasznos az átfutási időre jelentős hatással bíró események felismerésére és annak jelzésére, ha a korábbi várakozásaink

Bevont résztvevők

A posztdoktori finanszírozási séma jellegéből adódóan a projekt-költségvetés terhére nem került sor újabb résztvevő bevonására vagy a személyi feltételek módosítására. A kutatáshoz azonban számos kolléga csatlakozott: *Kosztján Zsolt*, aki a flexibilis projektek mátrixos leképezésének ötlete; *Novák Gergely* és *Jakab Róbert* PhD hallgatók, akik valós példákat tudtak hozni a vállalati kapcsolatainknak és tapasztalatainknak köszönhetően; *Szalkai István*, aki a matematikai formalizációban segítette a munkánkat. A projekt témájában több szak- és diplomadolgozat (Sipőcz Krisztina, Kiss Hunor, Léber Karolina, *Kajtár Patrik*, Geszti Péter), valamint egy TDK kutatás (*Kajtár, 2020*) is készült, ezek mindegyike vállalati példákön alkalmazta a létrehozott algoritmusokat, módszereket.

Hivatkozások

Batselier, J.; Vanhoucke, M. (2015): Construction and evaluation framework for a real-life project database. *International Journal of Project Management* 33(3):697-710

Hegedűs, Cs.; Katona A.I.; Kosztján Zs.T. (2018): Kockázat-alapú projekt szabályozó kártya. In: Temesi, J. (szerk): XV. Gazdaságmodellezési Szakértői Konferencia: Előadások

Kajtár, P (2020): Multiprojekt ütemezés genetikus algoritmus segítségével. In: Hegedűs, Cs.; Sasné Grósz, A. (szerk): Pannon Egyetem Gazdaságtudományi Kar hallgatóinak tudományos közleményei 2020-21. tanév 1. félév, Veszprém: Pannon Egyetem GTK: 298-337.

Kolisch, R.; Sprecher, A. (1997): PSPLIB - A project scheduling problem library: OR Software - ORSEP Operations Research Software Exchange Program. *European Journal of Operational Research* 96(1):205-216,

Kosztján, Zs. T. (2013): Mátrixalapú, stratégiai projekttervezési eljárások. *Sigma* 44(1-2):65-94

Kosztján, Zs.T. (2015): Exact algorithm for matrix-based project planning problems. *Expert Systems with Applications* 42: 4460-4473.

Kosztján, Zs.T.; Hegedűs, Cs (2020): Mátrix-alapú projektkockázat-menedzsment. *Sigma* 51(3):215-239.

Kosztján, Zs.T.; Jakab, R.; Novák, G.; Hegedűs, Cs. (2020): Survive IT! Survival analysis of IT project planning approaches. *Operations Research Perspectives* 7:100170

Kosztván, Zs.T.; Novák, G.; Jakab, R.; Szalkai, I.; Hegedűs, Cs. (2023): A matrix-based flexible project-planning library and indicators. *Expert Systems With Applications*, [Under 3rd revision, [Manuscript number: D-21-06306R2](#)] <http://real.mtak.hu/id/eprint/154920>, <https://www.overleaf.com/read/qxfptzpypgyr>

Peteghem, V. van; Vanhoucke, M. (2014): An experimental investigation of metaheuristics for the multi-mode resource-constrained project scheduling problem on new dataset instances. *European Journal of Operational Research* 235(1):62-72

Vanhoucke, M.; Coelho, J.; Debels, D.; Maenhout, B.; Tavares, L.V. (2008): An evaluation of the adequacy of project network generators with systematically sampled networks. *European Journal of Operational Research* 187: 511-524.