

ZÁRÓJELENTÉS

**Üzleti és közgazdasági döntések támogatása: modellek és számítógépes megoldások
2009-2014, OTKA K77420**
Témavezető : Temesi József

A 2009-ben indult, négy éves futamidejű kutatás engedélyezett időtartama 5 évre változott. A záró beszámoló így a 2009. április 1 és 2014. március 31 közötti időszak eredményeit foglalja össze. A résztvevők köre az induláshoz képest a PhD-hallgatók számában változott. A 3 BCE és 3 MTA-SZTAKI kutatóhoz a BCE Közgazdaságtani és Gazdaságinformatikai Doktori Iskoláiból összesen 3 PhD-hallgató csatlakozott, így 9 fellel zártuk a projektet.

Az öt év során a kutatás résztvevői az OTKA támogatás igénybevételével jelentős hazai és nemzetközi konferenciákon is eladták eredményeiket. Ezeket egyenként nem soroljuk fel, megtalálhatók az éves jelentésekben. A hazai konferenciákra jellemző példaként megemlíthetők a kétévenként rendezett magyar operációkutatási konferenciák, a veszprémi VOCAL konferenciák, a Gazdaságmodellezési Társaság és a Magyar Közgazdaságtudományi Egyesület konferenciái, illetve az országos doktorandusz konferenciák. A nemzetközi konferenciák közül kutatóink rendszeresen részt vettek az Európai Operációkutatási Társaság (EURO) és az operációkutatási szervezetek nemzetközi föderációja (IFORS) éves konferenciáin, s ezen kívül például az Analytic Hierarchy Process (AHP) nemzetközi szimpóziумain, a többtényezős döntésekkel foglalkozó tudományos szervezetek (MCDM Society és Decision Sciences Institute) éves konferenciáin, valamint kockázatelemzéssel és matematikai pénzügyekkel foglalkozó nemzetközi szemináriumokon és konferenciákon.

A költségvetéshez képest jelentős eltérés nem volt. A menet közben jelentkező technikai jellegű átcsoportosítási kérelmeinket engedélyezték. A költségvetés kiadásainak zömét a külföldi és belföldi konferencia-részvételek jelentették – az eredeti terveknek megfelelően.

A közlemények jegyzéke 55 tételt tartalmaz. A jegyzékben nem szerepelnek azok az absztraktok, konferenciacikkek vagy más helytanulmányok, amelyek a később megjelent vagy megjelenés alatt álló, referált folyóiratokban publikált cikkek elzmenyei, ezeket az éves beszámolók tartalmazzák. Nyolc könyvfejezetet és 30 folyóiratcikket publikáltunk, a cikkek közül 21 jelent meg referált, impakt faktorra rendelkez angol nyelvű tudományos folyóiratokban, az impakt faktorok összege 15,5. A három A kategóriás magyar gazdaságtudományi folyóiratban (Közgazdasági Szemle, Szigma, Statisztikai Szemle) 7 cikket közöltünk.

A munkatervhez képest tematikai eltérés nem történt. A beszámoló felépítése a munkatervi témaköröket követi, megjelölve az abban a témakörben együtt kutató és publikáló résztvevőket. A legfontosabb eredményeket rövid leírásokkal mutatjuk be. A beszámoló a közleményjegyzékben szereplő publikációkra a terjedelem csökkentése érdekében a szerzők neve nélkül, zárójeles számozással hivatkozik.

Kiemelend nek látjuk a PhD-hallgatók hozzájárulását a kutatásokhoz, fejlődésüket jól jelzik saját konferencia megjelenéseik, publikációik. Megjegyezzük még, hogy a hat témakörben az első kettőben (többtényezős döntési problémák modellezése és a modellek alkalmazási kérdései) folytak gyakorlatilag minden résztvevő kutatót bekapcsoló, széles hatókörű, nagyobb hatású, a publikációk zömét eredményező kutatások. Ezek némelyike nemzetközi együttműködésben, külső társszerzők bevonásával született. A másik négy témakör speciális területeket fed le – ezek esetében (ismét csak összhangban a munkatervvel) egy vagy két kutató munkásságának eredményeit mutatjuk be.

1. Többtényezős döntési problémák modellezése (Bozóki Sándor, Csató László, Fülöp János, Poesz Attila, Temesi József)

A szerzők előző kutatásainak folytatásaként a [12] cikkben a páros összehasonlítási mátrixok esetében a legkisebb négyzetes közelítésre egy lokális kereső algoritmust javasoltunk. Optimalizálási módszert mutattunk be annak meghatározására, hogy adott inkonzisztencia index és elfogadási szint esetén mi a döntéshozó által megadott mátrixban azon elemek minimális száma, amelyek (és reciprokaik) megváltoztatásával a mátrix konzisztenssé [14], illetve elfogadható inkonzisztenciájúvá [21] tehető. Külön kitértünk a Saaty-féle consistency ratio (CR), a Koczkodaj által javasolt consistency measure (CM), és a Peláez és Lamata által bevezetett consistency index (CI) inkonzisztencia indexek speciális konvexitási tulajdonságaira is [52]. Ezekben a kutatásokban Poesz Attila doktori hallgató is aktívan részt vett. Külföldön töltött doktori félévének az ottani témavezetssel elért önálló eredménye a [28] konferencia előadásában jelent meg.

Kiterjesztettük a sajátvektor módszert és a logaritmikus legkisebb négyzetek módszerét a nem teljesen kitöltött páros összehasonlítás mátrixok esetére. Megmutattuk, hogy a mindkét modellben a felírt optimalizálási feladatnak pontosan akkor van egyértelmű megoldása, ha a nem teljesen kitöltött páros összehasonlítás mátrixnak megfelelő gráf összefügg [1], [5]. A kiterjesztésből természetesen módon felírható a különböző inkonzisztencia mérőszámok általánosítása a következők szerint: egy adott kitöltöttségi állapotból kiindulva tekintsük az összes lehetséges teljes kitöltést, és az ezek közötti minimális inkonzisztenciájú határozza meg a nem teljesen kitöltött mátrix inkonzisztenciáját. [17], [39].

Új eredményeket értünk el a reciprocitási tulajdonság nélküli páros összehasonlítás mátrixok konzisztens mátrixokkal legkisebb négyzetes normában való közelítésének konvexitási kérdéseit illetően, és elégséges feltételeket adtunk arra vonatkozóan, hogy mikor lehet az ilyen feladatok globális optimumát lokális kereső algoritmussal megkapni [25]. Ide tartozik a [8] dolgozat is, amelyben a reciprocitási tulajdonság megléte esetén a páros összehasonlítás értékelések skálájára vonatkozó kérdéseket vizsgáltunk. A javasolt módszer lehetőséget kínál arra is, hogy a döntéshozó a kitöltési folyamat során automatikus visszajelzést kapjon egy esetleges elírást követően, míg a korábbi modellekben csak a mátrix teljes kitöltése után derülhetett ki, hogy az inkonzisztencia szintje túl magas.

Új módszert mutattunk be döntéshozó egységek sorrendezésére. A módszer a reciprocitási tulajdonságot nem teljesítő páros összehasonlításokon alapul, amelyek a Data Envelopment Analysis speciális feladatainak megoldásával állíthatók el [26].

A kínai társszerzők által korábban bevezetett indukált eltérésmátrix (induced bias matrix) segítségével új jellemzést adtunk inkonzisztens páros összehasonlítás mátrixokra [54]. A bemutatott tulajdonságok bizonyos esetekben megkönnyíthetik az inkonzisztencia forrásának felderítését.

A páros összehasonlítás mátrixok egy olyan osztályát adtuk meg [51], amely egyrészt tetszőlegesen alacsony CR inkonzisztenciájú mátrixokat is tartalmaz, másrészt az osztályon belül minden mátrixra teljesül, hogy a sajátvektor módszerrel számított súlyvektor nem Pareto-hatékony, tehát a súlyvektorból képzett konzisztens páros összehasonlítás mátrix nem rendelkezik azzal a tulajdonsággal, hogy nem lehet egy másik konzisztens mátrixot találni, amely elemenként legalább olyan jól közelít és legalább egy pozícióban szigorúan jobban. A logaritmikus legkisebb négyzetek módszere a definícióból következően mindig Pareto-hatékony súlyvektort eredményez. Megmutattuk, hogy a sajátvektor módszer viszont a páros összehasonlítás mátrixok egy osztályán, amely tetszőlegesen alacsony CR inkonzisztenciájú mátrixokat is tartalmaz, olyan súlyvektort ad eredményül, amely nem Pareto-hatékony.

A döntéseméleti és szavazási szituációkban gyakran fellép intranszitivitás egy valószínűségi modelljét tárgyaltuk [50]. E modell segítségével reprodukálható Condorcet szavazási paradoxona is [38].

A [41] cikkben a nemzetközi szakirodalom alapján részletesen áttekintettük a páros összehasonlítási mátrixok gyakorlati alkalmazásai során fellépő kérdések kezelését, a valószínű adatoknak megfelelő matematikai környezet felépítésének módjait. Kiemelten tárgyaltuk a páros összehasonlítási mátrix megadását, az egyes pontozási eljárásokat és azok kapcsolatát. A tanulmány elméleti szempontból vizsgálja a Perron-Frobenius tételre alapuló invariáns, fair bets, PageRank, valamint az irányított gráfok csúcsainak rangsorolásra javasolt internal slackening és pozíciós erő módszereket. A közülük történő választáshoz az axiomatikus megközelítést ajánlottuk.

2. Többtényezős döntéstámogató rendszerek alkalmazási kérdései (Bozóki Sándor, Csató László, Fülöp János, Poesz Attila, Temesi József)

2009 végén egy nagyszabású empirikus kutatás indult be Dezső Linda pszichológust is bevonva a munkába. A kutatás a páros összehasonlítási mátrixok különböző tulajdonságait tesztelte. A kísérletekben 2010 első félévében mintegy 250 egyetemi hallgató vett részt. A [39] publikációval záruló empirikus kutatásban mind az inkonzisztencia, mind a különböző kitöltöttségi szintekhez tartozó eredményeknek a teljes kitöltésből számolt súlyoktól való eltéréseinek tekintetében lényeges különbséget találtunk az objektív és szubjektív döntési feladatok között. Nem találtunk viszont érdemi különbséget a vizsgált kitöltési sorrendek között. Az eredményekre alapozva lehetővé válik olyan modul beépítése a döntéstámogató szoftverekbe, amelyek a kitöltés folyamata közben egy-egy feltételezhető elírást detektálnak és felajánlják a döntéshozónak a javítás lehetőségét.

A páros összehasonlítások konzisztenciájára vonatkozó vizsgálatok új aspektusát vizsgálta a [20] cikk, az error-free mátrixok és a döntéshozó error-free tulajdonságának bevezetésével. A cikkben megjelenő tipológia alapján a páros összehasonlítási módszerek alkalmazásának és az eredmények verifikálásának új módszerei javasoltak.

A nem teljesen kitöltött páros összehasonlítás mátrixok rangsorolási feladatokra történő alkalmazását mutatta be a [37] tanulmány teniszezők éljátékosok örökrangsorát konstruálva. Az elmúlt 40 év éljátékosai közül nem mindenki játszott mindenkivel, ezért a rangsort a nem teljesen kitöltött páros összehasonlítási mátrixokra vonatkozó eredmények révén lehetett megalkotni és elemezni. A cikkben a mátrixok bizonyos tulajdonságainak a rangsorokra vonatkozó hatásait is megvizsgáltuk.

A nem teljesen kitöltött mátrixok egy másik sportbeli alkalmazása található a [23] cikkben. A rangsorok összehasonlítása egy új távolságfüggvény definiálásával történik, amely figyelembe veszi az emberi érzékelés szubjektivitását. A súlyvektorok vizsgálata a páros összehasonlítás alkalmazására alkalmazott módszerek (sajátérték módszer és logaritmikusan legkisebb négyzetek módszere) közös gyökereit mutatja. A bevezetett távolságfüggvény a sokdimenziós skálázás módszertanának segítségével lehetővé teszi az eredmények vizuális megjelenítését.

A többszörös és hiányzó, tetszőleges intenzitású páros összehasonlításokat egyaránt megengedő általánosított bajnokságok résztvevőinek rangsorolására használt egyik klasszikus eljárás a legkisebb négyzetek módszere, amit számos különböző területen (statisztika, pszichológia, sport, döntésemélet) alkalmaznak. Egyik előnye a lineáris egyenletrendszer megoldásaként történő egyszerű kiszámíthatóság. Az [53] cikk mátrixalgebrai eszközökkel mutatja meg, hogy néhány speciális eset kivételével az eredményül kapott értékelési vektor

el állítható egy olyan vektorsorozat határértékeként, melynek első tagja a játékosok pontszáma. A dekompozíció alapjául az összehasonlítási gráf Laplace-mátrixa, illetve a mátrixinverz Neumann-soros felírása szolgál. A felbontásban szereplő tagok jelentése a bajnokság mérkőzés mátrixa által meghatározott gráfon keresztül értelmezhető. A [41] és [53] publikációk Csató László PhD-hallgató doktori értekezésének az alapját képezik.

A Közgazdasági Szemleiben megjelent egyik cikkben Telcs és szerző társai a felvételizők preferenciái alapján új megközelítést javasoltak a felső oktatási intézmények rangsorolására. A [40] cikk új szempontokat biztosít ezen alapötlet gyakorlati megvalósításához. Megmutatja azt is, hogy az alkalmazott modell ekvivalens az alternatívák egy aggregált páros összehasonlítási mátrix révén végzett rangsorolásával. A felső oktatási rangsorokat egyéb szempontok alapján elemzi az [5] előadás.

A többszemponútú döntési modellezés egy villamos energetikai vonatkozású alkalmazását a [13] cikk foglalja össze.

A [49] előadásban az általunk eddig optimalizálási feladatokra használt homotópiás algoritmus egy új alkalmazási lehetőségét találtuk a diszkrét geometria területén.

4. Nemlineáris optimalizálás (Fülöp János, Mészáros Csaba)

A kutatások fő vonulata a nagyméretű folytonos optimalizálás módszertanilag legjelentősebb eszközeihez, a belső pontos algoritmusokhoz kötődött. A belső pontos algoritmusok hatékonyságának növelése témában egyrészt a feladatok struktúrájának azonosítását és kihasználását vizsgáltuk [47], másrészt olyan adatstruktúrákat és erre épülő algoritmusokat fejlesztettünk ki, melyek hatékonyak a modern számítástechnikai eszközökön [11, 45, 47].

A belső pontos módszerek algoritmikus tulajdonságainak vizsgálata során eszközöket fejlesztettünk ki a belső pontos algoritmusok számára konvex kvadratikus feladatok megoldásához [19], és vizsgáltuk a reziduális beágyazás viselkedését [46]. Ez a megközelítés az infízibilis feladatok kezelésében különösen hatékony, és az induló pont megválasztására is robusztus, ezért gyakran használják a gyakorlatban.

A harmadik vizsgált kérdéskör a belső pontos módszerek numerikus vizsgálata volt. Ebben a témában a fő eredményünk a lineáris programozáshoz kidolgozott regularizációs módszerek általánosítása volt nemlineáris optimalizálási feladatokra [31], ami hatékony eszköz numerikusan nehéz, vagy degenerált feladatok esetében.

Ebbe a témakörbe tartozó eredményként rögzítjük, hogy a [2] könyvfejezetben az ortonormalitási feltételek melletti optimalizálási feladatot d.c. (difference of convex) programozási feladat alakjára írtuk át, kihasználva a szereplő függvények két konvex függvény különbségeként való kezelhetőségét. A d.c. programozási feladat megoldására egy korlátozás és szétválasztás alapú módszert alkalmaztunk.

4. Pénzügyi alkalmazások (Komáromi Éva)

Az 1. témakörben láttuk, hogy a prioritásvektor meghatározására alkalmazott módszerek között a leggyakrabban alkalmazott két módszer a Saaty-féle sajátérték módszer és a logaritmusos legkisebb négyzetek módszere. Ezekhez a vizsgálatokhoz kapcsolódó önálló kutatási eredmény a [43] cikk, amely a prioritásvektor meghatározására entrópiászerű eltérésfüggvényt alkalmazott, ezen belül is a Kullback-Leibler relatív entrópia eltérést. A cikk megvizsgálta az így kapott matematikai programozási feladat konvexitását, az optimális megoldás létezését és numerikus elemzéseket végzett.

A [27] dolgozat összekapcsolta e módszertant az IBNR kártartalék becslésére kidolgozott entrópia-programozási megközelítéssel és a vagyonszolgáltatásban kiemelkedően fontos függő kár-tartalék (jövőbeli kárkifizetések) becslésében alkalmazta a Kullback-Leibler relatív entrópia eltérést oly módon, hogy a módszerrel becsült múltbeli adatoknak a ténylegesen bekövetkezett káradatoktól való eltérése a lehető legkisebb legyen. Az alkalmazott megközelítés egy érdekes eredményre is vezetett: megerősítette az eddig használt legismertebb intuitív módszerek, mindenképpen a lánclétra módszer megalapozottságát, ezek mintegy tudományos megalapozására is szolgál.

5. Elrejelzési piacok (Neszveda Gábor, Temesi József)

Neszveda Gábor doktori hallgató a kutatásvezető irányításával dolgozott a témában, doktori értekezésének előkészítéseként. A [48] cikk a hírpiaacokat, mint az egyik legpontosabb elrejelzési módszertant tárgyalja. A cikk azt mutatja meg, hogy egy kérdés bizonytalansági szintje erősen összefüggésben van azzal, hogy mennyire tud pontos elrejelzést adni a hírpiaac.

Az intertemporális döntések témakörében jelent meg a [33] cikk, amely arra mutat rá, hogy a két legelterjedtebb hiperbolikus diszkontálási modell nem helyettesíthető egymással hosszú távú kérdések kapcsán. Ezért számos ilyen megközelítéssel elért eredményt érdemes újragondolni. Neszveda Gábor ezekkel a témákkal részt vett és előadott a Doktoranduszok Országos Szövetségének 2012. évi konferenciáján is, előadásai [32], [34] a konferencia kiadványban megjelentek.

6. Kockázati csoportok meghatározása és elkülönítése (Kovács Erzsébet)

A [29] és [30] dolgozatok fő mondanivalója, hogy az élettartam kockázat és a várható nyugdíjfizetés tartamának bizonytalansága a nyugdíjrendszer egyik fő problémája. Az anyagi jólét emelkedése maga után vonja a várható élettartam növekedését, a hosszabbodó élettartam azonban fokozott öngondoskodást igényel. A várható élettartam növekedésének a hatása megjelenik számos komplex mutatószámokban, mint például a Human Development Index, World Competitiveness Index. A jóléti mutatók emelkedése azonban nem lineárisan követi a hosszabbodó várható élettartamot. Ezt a mérési problémát járta körül a [30] cikk. Az élettartam kockázatról, mint a nyugdíjrendszerre nehezedő egyik teherrel szól a [18] publikáció.

Maga a nyugdíjas állapot is élettartam növelő hatású, és a nyugdíjban töltött idő is kockázati csoportok, azaz nyugdíjtípusok szerint szignifikánsan eltér. Erről készült tanulmány és konferencia előadás a 2014-es aktuárius világkonferenciára [55].

Az alapnyugdíj bevezetése a töredezett életpályák, alacsony foglalkoztatás mellett jelentős megoldást. Ennek pénzügyi terheit, az egyes foglalkoztatási csoportokra gyakorolt ellenőrző hatását vizsgálja a [44] konferencia előadás.

A munkatervben foglaltak teljesültek: az eltérő kockázatú csoportok szegmentálásának módszereit Kovács Erzsébet eredményesen kipróbálta a nyugdíjbiztosításban, és ez a módszertan alkalmas lesz a banki, biztosítási és azon belül az egészségbiztosítási szektor döntéshozatali folyamataiban. Alkalmazta a diszkriminancia elemzést és a logisztikus regressziót a szegmentálási feladatokban. Bootstrap módszer alkalmazására nem került sor, mert a nyugdíjbiztosítási adatállomány olyan nagyméretű, hogy további adatgenerálás szükségtelen volt.