

SELECȚIA PRODUSELOR SOFTWARE – O PROBLEMĂ COMPLEXĂ DE DECIZIE MULTI-CRITERIALĂ

Delia Mihaela Rădulescu

delia.mihaela2010@gmail.com

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică - ICI București

Rezumat: În ultimii 20 de ani, selecția produselor software a devenit un domeniu de cercetare activ datorită naturii sale complexe. Cercetătorii s-au concentrat mai mult pe selecția de produse software specifice și mai puțin pe modele și metode generale pentru rezolvarea acestei probleme.

Selecția produselor software este o problemă de decizie multi-criterială care se referă la alegerea unui produs software dintr-o mulțime de produse software pe baza evaluărilor acestora în raport cu o mulțime de criterii. Cele mai potrivite metode ce pot fi aplicate pentru rezolvarea problemei de selecție a produselor software sunt metodele de decizie multi-atribut în care mulțimea de variante este o mulțime finită, nevidă, iar mulțimea criteriilor, eventual și a sub-criteriilor, este clar stabilită, finită și măsurabilă.

În articol se realizează o analiză a cercetărilor privind problema selecției produselor software și se construiește un model general de evaluare și selecție, bazat pe abordarea multi-criterială.

Cuvinte cheie: produse software, selecție, evaluare, decizie multi-criterială, metode multi-atribuit, model

Abstract: In the past 20 years, software selection has become an area of active research due to its complex nature. Researchers have more focused on the selection of specific software and less on general models and methods to solve this problem.

Software selection is a multi-criteria decision problem that relates to the selection of a software product from a variety of software products based on evaluations in software using a set of criteria. The most suitable methods that can be applied to the problem of selection software products are multi-attribute decision methods in which the set of alternatives is a finite, nonempty and the set of criteria and possibly sub-criteria, is clearly established, finite and measurable.

The article provides a review of research on software selection problem and construct a general model of evaluation and selection based on multi-criteria approach.

Key Words: software, selection, evaluation, multi-criteria decision, multi-attribute methods, model.

1. Introducere

Cererea pentru produse software de calitate este în continuă creștere. Ca răspuns la această cerere, dezvoltatorii de produse software au realizat și realizează o mare varietate de produse software care sunt personalizabile și adaptabile nevoilor specifice unei organizații.

Organizațiile sunt de mai multe categorii, dimensiuni și stiluri. Indiferent de formă sau dimensiune, unele procese sunt identice pentru toate companiile, în timp ce altele sunt specifice domeniului de activitate. O organizație are un avantaj atunci când beneficiază de ajutorul unui produs software potrivit pentru a-și îmbunătăți activitatea desfășurată. Pe de altă parte, alegerea greșită a unui produs software poate afecta în mod negativ activitățile și funcționarea unei organizații. De exemplu, există mai multe produse software de tip ERP (Enterprise Resource Planning) și fiecare produs software are caracteristici diferite. Produsele software de tip ERP costă sute de mii și chiar milioane de Euro, iar achiziționarea unei soluții ERP este o cheltuială mare pentru o organizație [28]. Selecția necorespunzătoare a unui produs software de această anvergură poate duce la decizii strategice greșite cu pierderi economice ulterioare pentru organizație.

Sarcina de selecție a unui produs software a devenit dificilă și complexă din cauza disponibilității unui număr mare de produse software pe piață, diversificării producției de software, existenței unor incompatibilități între diferite sisteme hardware și software și, uneori, lipsei de cunoștințe tehnice și experiență pentru factorii de decizie [17]. S-a considerat că selecția unui produs software nu este o procedură tehnică, fiind mai degrabă un proces subiectiv și incert [27]. El depinde de evaluarea obiectivelor, criteriilor măsurabile (de exemplu: costuri de achiziție și costuri de pregătire și formare), precum și de criteriile subiective (de exemplu: compatibilitate, selectare furnizori și factori tehnici).

Selecția unui produs software este, de multe ori, realizată într-un proiect cu o planificare strânsă a activităților, iar evaluatorii nu au timpul necesar pentru a realiza în detaliu procesul de selecție. Din motive de timp, nu se poate utiliza metoda cea mai potrivită pentru selectarea unui produs software. Faptul că selecția unui produs software este un proces de decizie complicat și consumator de timp a condus pe cercetători la investigarea unor modalități mai bune de evaluare și selectare a produselor software.

În prima parte a articolului se prezintă aspecte generale privind domeniul deciziei multi-criteriale și caracteristici ale problemelor de selecție care determină gradul lor de complexitate. Selecția produselor software este o problemă de decizie multi-criterială care se referă la alegerea unui produs software dintr-o mulțime de produse software pe baza evaluărilor produselor în raport cu o mulțime de criterii. Se realizează în continuare o analiză și o sinteză a cercetărilor efectuate în problema selecției produselor software, bazată pe literatura de specialitate. Cele mai potrivite metode ce pot fi aplicate pentru rezolvarea problemei de selecție produse software sunt metodele de decizie multi-atribut în care mulțimea de variante este o mulțime finită, nevidă, iar mulțimea criteriilor, eventual și a sub-criteriilor, este clar stabilită, finită și măsurabilă. Problemele de selecție a unui produs software prezintă uneori un grad mare de incertitudine. Abordările fuzzy, pentru metode multi-atribut, pot să trateze cu succes problema incertitudinii.

În cea de a doua parte a articolului se construiește un model de evaluare și selecție, care să organizeze informația disponibilă într-un asemenea mod în care să fie posibilă obținerea unei soluții.

2. Decizie complexă, multi-criterială

O decizie de succes se caracterizează prin eficacitate (gradul de atingere a scopului propus) și eficiență (raportul dintre ieșiri și intrări cu folosirea corespunzătoare a resurselor).

Majoritatea problemelor complexe de decizie au următoarele caracteristici principale care conduc la dificultatea rezolvării lor:

- numărul posibilelor soluții este atât de mare încât este imposibilă o căutare completă pentru cea mai bună soluție;
- problema de decizie există într-un mediu care se modifică odată cu trecerea timpului. Decizia optimă de ieri, este posibil să nu mai fie optimă astăzi;
- există multe criterii de care trebuie să se țină cont. Multe dintre aceste criterii sunt în conflict unele cu altele;
- problema de decizie are multe restricții. Pentru majoritatea problemelor de decizie, soluția finală ar trebui să satisfacă multe restricții impuse de regulamentele interne, capacități, legi, preferințe. Este dificil de găsit o soluție realizabilă (o soluție care satisface toate restricțiile specifice).

Lista de mai sus se poate extinde cu alte caracteristici, cum ar fi informația incompletă, date cu un anumit nivel de redundanță, incertitudinea etc.

Elaborarea unei decizii bune nu înseamnă neapărat elaborarea unei decizii rapide. Schimbarea rapidă a mediului necesită adesea decizii rapide, care pot fi însă în detrimentul calității deciziei. Pentru a înțelege cum iau decidenții o decizie, trebuie să se înțeleagă mai întâi procesul de decizie și aspectele importante ale luării unei decizii. Apoi putem înțelege metodologiile corespunzătoare de asistare a deciziei și contribuțiile pe care sistemele informatice le pot aduce în luarea deciziei. În final se poate dezvolta un sistem suport de decizie pentru a-i ajuta pe decidenți în luarea deciziei.

Atât alegerea unei structurări adecvate a unei probleme de decizie, cât și alegerea unei metode de decizie adecvate sunt importante în obținerea unei decizii bune [21]. Pentru tipuri diferite de probleme de decizie și chiar pentru aceeași problemă de decizie avem nevoie de abordări și metode de decizie multi-criterială (Multi Criteria Decision Making - MCDM) diferite. De asemenea limitările de natura informațiilor disponibile pot afecta alegerea unei metode pentru a soluționa o problemă de decizie.

Decizia multicriterială este astăzi un important domeniu de cercetare din cadrul Cercetărilor Operaționale.

Problema de luare a deciziei multi-criteriale (Multi Criteria Decision Making - MCDM) se referă la luarea unei decizii de alegere a unei variante dintr-o mulțime de variante disponibile, variante care sunt caracterizate prin multiple criterii, de obicei, în conflict unele cu altele [30]. Scopul MCDM este:

- de a ajuta factorii de decizie în alegerea celei mai bune variante;
- de a alege varianta care pare cea mai bună, dintr-o mulțime de variante disponibile;
- de a ordona variantele în ordine descrescătoare a performanței lor [19].

În cadrul domeniului deciziei multicriteriale au fost aplicate cu succes instrumente moderne pentru modelarea preferințelor. Aspecte științifice și aplicații practice au atras numeroși cercetători și practicieni către decizia multi-criterială, stimulând atât dezvoltări teoretice, metodologice, aplicații în viața reală, cât și implementări software specifice.

Problemele de decizie multicriterială pot fi împărțite în trei grupe principale:

- *probleme de alegere* - în care se caută cea mai bună variantă preferată nedominată;
- *probleme de ordonare* - este stabilită o ordonare a variantelor nedominate începând cu cele mai bune către cele mai slabe;
- *probleme de sortare* - în care mulțimea variantelor este împărțită în categorii.

Problemele de decizie multicriteriale pot fi clasificate în moduri diferite astfel încât să faciliteze alegerea unei metode adecvate pentru o problemă de decizie dată. O distincție importantă se realizează între problemele de decizie multicriteriale discrete și continue depinzând de domeniul în care variază parametrii care caracterizează variantele de decizie. Problemele de decizie multicriteriale *discrete* pot fi clasificate la rândul lor în funcție de următoarele criterii:

1. au un număr mic sau mare de variante și criterii;
2. variantele și valorile criteriilor sunt apriori cunoscute sau necunoscute;
3. criteriile sunt explicit sau implicit specificate.

Multiplicând numărul de opțiuni pentru aceste tipuri de probleme, cu număr de opțiuni pentru variante și criterii, cunoscute / necunoscute, cu număr mare/mic rezultă un număr de 32 ($4 \times 4 \times 2$) de tipuri diferite de probleme de decizie multicriteriale discrete.

Problemele de decizie multicriteriale *continue* pot fi clasificate în funcție de următoarele criterii:

1. modelul este linear sau nonlinear;
2. variabilele sunt continue sau întregi;
3. există un număr mic sau mare de criterii;
4. problema este la scară largă sau mică (ca număr de restricții și variabile).

Relațiile dintre variabile sunt cantitative și calitative: variabilele de decizie sunt cunoscute apriori sau nu sunt cunoscute apriori.

Multiplicând numărul de opțiuni pentru diferitele tipuri de probleme de decizie multicriteriale rezultă un număr de 64 (2^6) de tipuri diferite de probleme [13]. Metodele de rezolvare ale acestor probleme au fost clasificate în metode de decizie multi-atribut (Multiple Attribute Decision Making - MADM) și metode de decizie multi-obiectiv (Multiple Objective Decision Making - MODM). Metodele de decizie multi-atribut (MADM) au ca obiect alegerea variantei optime dintr-o mulțime finită de variante, care se compară între ele în raport cu un număr finit de criterii. Metodele de decizie multi-obiectiv (MODM) urmăresc maximizarea sau minimizarea unor funcții de mai multe variabile. Variabilele sunt supuse unui sistem de restricții, formulate în general sub forma unor

inegalități și/sau egalități. Se urmărește determinarea valorilor variabilelor care verifică sistemul de restricții și optimizează fiecare funcție în parte. Un exemplu tipic este dat de problemele de programare matematică multi-obiectiv.

Câteva dintre aceste metode de decizie multi-atribut sunt:

- metodele elementare: Suma ponderată, Produsul ponderat, metoda lexicografică, metoda conjunctivă, metoda disjunctivă, metoda Maximin, metoda Maximax, metoda dominanței, metoda eliminării prin aspecte, etc.;
- metode cu criteriu unic de sintetizare: Procesul de analiză ierarhică (Analytical Hierarchy Process – AHP), TOPSIS (Technique for Order Preference By Similarity to Ideal Solution), Matter Element, MAVT (Multi-Attribute Value Theory), SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique), MAUT (Multi-Attribute Utility Theory), UTA (Utility Theory Additive), DEA (Data Envelopment Analysis), DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) and ANP (Analytic Network Process), etc.;
- metode de surclasare: ELECTRE (ELimination and Choice Expressing Reality) I, IS, II, III, IV, TRI, PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) I, II, ORESTE, MELCHIOR, etc.;
- metode interactive: Programare Scop, STEM (Step-method), IMG (Interactive Multiple Goal Programming), PRIAM (PRogramme utilisant l'Intelligence Artificielle en Multicritère), etc.

Atunci când apare incertitudinea se pot considera metodele fuzzy, fie independent, fie ca o extensie a metodelor enumerate.

Cercetări privind metode de decizie multi-criterială se găsesc în lucrările: [1], [3], [5-6], [10], [13], [22-23], [29] și [31].

3. Cercetări privind metode de decizie multi-criterială utilizate în problema selecției produselor software

În ultimii 20 de ani, problema de selecție a produselor software a devenit un domeniu de cercetare activ datorită naturii sale complexe și imprecise. Lin, Hsu și Sheen [17] ne furnizează o analiză a aplicațiilor privind selecția produselor software. Cercetătorii s-au concentrat mai mult pe selecția de produse software specifice și mai puțin pe modele și metode generale pentru selecția produselor software [9], [15], [16], [20], [11].

Cele mai des întâlnite produse software specifice, prezente în cercetările privind problema de selecție a unui produs software, sunt:

- instrument software CASE - Computer-aided software engineering;
- software de simulare;
- sisteme suport de decizie (Decision Support Systems - DSS);
- software pentru "Procesul de analiză ierarhică" (Analytic Hierarchy Process - AHP);
- instrument de management a cunoștințelor,
- minerit în date (Data Mining - DM);
- limbaj de programare vizual;
- software de planificare a resurselor întreprinderii (Enterprise Resource Planning - ERP);
- sistem de gestiune a relației cu clienții (Customer Relationship Management - CRM);
- sistem expert;
- software de management.

Subiectele ce apar frecvent în literatura de specialitate privind problema de selecție a unui produs software sunt legate de criteriile de evaluare a produselor software, metode, modele și tehnici de evaluare și selecție pentru produse software, sisteme/instrumente suport de decizie în evaluarea și selectarea produselor software și metodologii de selecție a produselor software.

În literatura de specialitate există numeroase lucrări ce se bazează pe metode de decizie multi-criteriale pentru rezolvarea problemei de selecție a produselor software. Pentru că mulțimea de variante (alcătuită din mulțimea produselor software) este finită, metodele cele mai des utilizate sunt din categoria metodelor multi-atribut. Există însă și preocupări legate de metode multi-obiectiv, decizie de grup, preferințe și abordări ierarhice.

Ngai și Chan [18] prezintă o aplicație a metodei "Proces de analiză ierarhică" (Analytic Hierarchy Process - AHP), pentru a selecta produsul software, de tip "managementul cunoașterii", cel mai adecvat. Această metodă multi-criterială este utilizată pentru a analiza și compara produsele software de managementul cunoașterii existente pe piața de software. Metoda se bazează pe comparații în perechi între mai mulți factori care afectează alegerea unui produs software, de managementul cunoștințelor. Este formulat un model AHP și este aplicat pe un caz real pentru a ajuta factorii de decizie dintr-o companie lider de comunicații din Hong Kong pentru a evalua și selecta un instrument de managementul cunoașterii adecvat.

Cloud computing este un subiect de cercetare foarte atractiv. Multe lucrări și studii au examinat "infrastructura ca un serviciu" și "software ca un serviciu", aspecte privind cloud computing. Câteva studii s-au concentrat pe platforma ca un serviciu (Platform As A Service - PaaS). Diferite sectoare de activitate necesită diferite tipuri de aplicații PaaS și resurse de calcul. Prin urmare, este necesară o evaluare și un clasament cadru pentru soluții PaaS în funcție de nevoile de aplicare. Pentru a răspunde acestei necesități Ataș și Gungor [2] prezintă aspectele cele mai importante ale soluțiilor PaaS și oferă un cadru pentru evaluarea performanței furnizorilor de PaaS. Se propune, de asemenea, un set adecvat de algoritmi de analiză comparativă care pot ajuta în determinarea celui mai adecvat furnizor de PaaS, bazat pe nevoi diferite de resurse și de cerințele aplicației. Au fost efectuate evaluări de performanță a trei bine-cunoscuți furnizorii de PaaS de cloud computing (Cloud Foundry, Heroku și OpenShift) folosind metodele AHP și scorarea preferințelor.

Garg și alții [7] au efectuat o evaluare a performanței și compararea furnizorilor de cloud, în care au fost propuși o serie de indicatori de comparație și un cadru de evaluare. În lucrare s-au folosit indicatori de performanță (criterii) stabiliți de Cloud Services Measurement Initiative Consortium (CSMIC), cum ar fi agilitate, asigurare, responsabilitate, economic, de securitate, performanță și utilizabilitate pentru compararea variantelor. A fost utilizată metoda AHP pentru a evalua aceste criterii de comparație numerice și non-numerice. Cu toate acestea, valorile de performanță nu au fost studiate în detaliu, iar metrica de performanță testată a fost timpul de răspuns. Lucrarea s-a axat pe caracteristicile funcționale, mai degrabă decât pe cele de performanță.

Metoda AHP a fost utilizată pentru a compara soluții software ca servicii (Software as a service - SaaS) [8]. Autorii au definit următorii parametri de selecție: funcționalitate, arhitectura, utilizabilitate, reputație furnizor și cost. Fiecare pondere a fost obținută prin intermediul unor anchete. S-au comparat produse SaaS fără a se specifica nume de furnizori în funcție de aceste ponderi. Nu a fost inclus un test de performanță tehnică.

Multe metode de selecție produse software au scopul de a reduce numărul potențial mare de comparații necesare pentru a evalua mai multe produse după mai multe criterii, printr-un proces de eliminare a unor soluții potențiale. Multe probleme de luare a deciziei sunt prea complexe pentru a fi înțelese cantitativ. Oamenii sunt mult mai familiarizați cu a utiliza cunoștințe imprecise, mai degrabă decât cu o cunoaștere precisă. Astfel, în literatura de specialitate metode MCDM sunt integrate cu teoria fuzzy. O abordare bazată pe mulțimi fuzzy este utilizată atunci când măsurarea concretă și ponderile performanței nu pot fi stabilite cu precizie. În astfel de cazuri, teoria mulțimilor fuzzy este folosită pentru a modela incertitudinea deciziilor umane. Durán [4] a utilizat o metodă AHP fuzzy pentru o evaluare comparativă a unui număr de variante de sisteme de management de mentenanță computerizată.

Creșterea numărului de companii care caută soluții de depozitare a datelor, în scopul de a

obține avantaje semnificative în afaceri, a creat necesitatea unei abordări de ajutor în decizie pentru alegerea sistemelor de depozitare a datelor adecvat (Data Warehouse - DW). Datorită conceptelor vagi frecvent întâlnite în problemele de decizie, Lin și alții [17] propun o procedură de luare a deciziei multi-criteriale, pentru a facilita selecția unui sistem depozit de date, cu atenție acordată atât pentru criteriile tehnice, cât și manageriale. Procedura poate construi sistematic obiectivele de selecție a sistemelor depozit de date pentru a sprijini scopurile de afaceri și cerințele unei organizații și identifică criteriile necesare pentru evaluare. În metoda propusă, bazată pe mulțimi fuzzy, ponderea fiecărui criteriu și rating-ul pentru fiecare variantă sunt descrise folosind termeni lingvistici, care pot fi, de asemenea, exprimate ca numere fuzzy triunghiulare. Algoritmul fuzzy agregă evaluările preferințelor decidenților pe criterii și determină adecvarea variantelor de sisteme depozit de date pe criterii de selecție. Calculează apoi indici fuzzy corespunzători, prin care se determină sistemul de depozit de date cel mai potrivit. A fost realizat un studiu de caz al unui proiect de implementare a codului de bare pentru produsele agricole din Taiwan, pentru a ilustra eficacitatea acestei proceduri și metode propuse.

O abordare interesantă pentru problema de selecție a unui produs software de tip planificare a resurselor întreprinderii (Enterprise resource planning - ERP) este propusă de Karsak și Özogul [12]. O abordare bună de luare a deciziilor pentru selectarea unui software de tip ERP necesită luarea în considerare atât a necesităților companiei și a caracteristicilor unui sistem de tip ERP, cât și interacțiunile acestora. Karsak și Özogul [12] dezvoltă un cadru de decizie pentru selectarea unui software de tip ERP bazat pe implementarea unei funcții de calitate (Quality Function Deployment - QFD), regresie liniară fuzzy și programare scop zero-unu. Cadrul propus permite luarea în considerare atât a cerințelor companiei, cât și a caracteristicilor sistemului ERP și oferă mijloacele, prin adoptarea principiilor QFD, pentru a integra nu numai relațiile dintre cererile companiei și caracteristicile sistemului ERP, dar și interacțiunile dintre caracteristicile sistemului ERP.

Jadhav și Sonar [11] descriu un sistem hibrid bazat pe cunoștințe pentru a ajuta factorii de decizie în evaluarea și selectarea unui produs software. Abordarea propusă utilizează tehnici integrate de raționament bazat pe reguli și pe norme. Raționamentul bazat pe reguli este folosit pentru a capta nevoile utilizatorilor pentru un produs software și pentru a formula un caz problemă. Raționamentul bazat pe norme este folosit pentru a capta și compara produsele software cu necesitățile utilizatorilor. Acest articol, de asemenea, evaluează și compară abordarea propusă bazată pe reguli și norme cu metodele existente utilizate pe scară largă, cum ar fi metoda AHP și metoda de notare ponderată (Weighted Scoring Method - WSM).

Santhanam și Kyparisis [25], [26] au propus un model de tip programare scop zero-unu pentru selecția sistemelor informatice care include mai mulți factori cu impact în selectarea unui sistem informatic. Modelul ia în considerare interdependențele tehnice în proiectele sistemelor informatice. Modelul este transformat într-un model de programare liniară printr-o procedură de liniarizare. Procedura de soluționare a modelului poate deveni complicată atunci când numărul de variante (sisteme informatice) și interacțiunile dintre acestea cresc.

Alte metode din clasa metodelor de decizie multi-criteriale, ce au fost propuse, discutate și aplicate pentru evaluarea și selecția produselor software, în literatura de specialitate, sunt: suma ponderată, TOPSIS (Technique for Order Preference By Similarity to Ideal Solution), ELECTRE (ELimination and Choice Expressing Reality), DEA (Data Envelopment Analysis), ANP (Analytic Network Process), matter element, DEMATEL (DEcision-MAking Trial and Evaluation Laboratory), PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation). Pentru evaluarea și selecția produselor software au fost aplicate și metodele fuzzy, sistemele expert, analiza caracteristică, programarea matematică (zero unu, programarea scop, programarea neliniară) și metode de notare. Consultând literatura de specialitate, s-a realizat o sinteză a cercetărilor efectuate. Cele mai utilizate metode pentru problema de selecție a produselor software și numărul de apariții în articole de specialitate sunt enumerate în tabelul 1.

Tabel 1. Metodele cele mai utilizate pentru problema de selecție a produselor software

Metoda	Număr de utilizări
AHP	22
Abordare bazata pe etape, ierarhizare	10
Abordare Fuzzy	6
ELECTRE	4
Programare matematica	3
Decizie de grup	3
ANP	2

Metoda "Procesul de analiză ierarhică " (Analytic Hierarchy Process - AHP) a fost utilizată pe scară largă pentru evaluarea și selecția produselor software. Metoda AHP a fost dezvoltată de către Saaty [24] fiind o abordare importantă de luare a deciziilor multi-atribut, abordare bazată pe preferințele decidentului evaluate pe o scală specifică, numită scala Saaty. Metoda este utilizată în probleme de alegere și de ordonare. O extensie a acestei metode este "Procesul de analiză în rețea" (Analytic Network Process - ANP).

Metodele de tip AHP oferă un mijloc pentru decident de a vizualiza variantele și criteriile într-o ierarhie. Nivelul superior în ierarhie reprezintă scopul procesului de selecție. Nivelul următor definește criteriile principale care sunt subdivizate în sub-criterii pe nivelele inferioare ale ierarhiei. Nivelul cel mai de jos conține variantele de analizat. Prioritățile sunt stabilite pe un anumit nivel pentru fiecare factor (variantă, sub-criteriu, criteriu), în raport cu fiecare dintre factorii (sub-criteriu, criteriu, scop) de pe nivelul imediat superior acestuia. Acest lucru este realizat prin compararea pe perechi între factorii de pe fiecare nivel. Metodele AHP și ANP folosesc comparațiile în perechi pentru a evalua preferințele decidentului pe o scală semantică și proporțională (scală de măsurare relativă). Dacă N este numărul factorilor comparați, atunci se fac $N(N-1)/2$ - perechi de comparații. Aceste comparații reprezintă baza de calcul a ponderii relative a fiecărui factor pe fiecare nivel. Ultimul pas al analizei constă în calcularea punctajului relativ al fiecărei variante în raport cu scopul procesului de selecție.

Punctele tari ale metodei AHP sunt:

- AHP permite factorilor de decizie să structureze o problemă de luare a deciziilor într-o ierarhie, ajutându-i să înțeleagă și să simplifice problema;
- AHP este un instrument flexibil și puternic pentru gestionarea problemelor cantitative și calitative multi-criteriale;
- procedurile AHP sunt aplicabile la luarea atât a deciziilor individuale, cât și de grup.

Punctele slabe ale metodei AHP sunt:

- AHP este o metodă complexă care implică un număr mare de calcule matematice și mai ales un număr mare de comparații pe perechi. Acest lucru implică un timp mare de calcul atunci când numărul de variante și criterii este mare;
- supra-simplificarea poate conduce la pierderea unor importante interdependențe dintre criterii, iar supra-extinderea ierarhiei crește timpul și complexitatea realizării de matrici de comparație în perechi;
- factorii de decizie trebuie să re-evalueze variantele, atunci când se modifică numărul de criterii sau variante;
- clasificarea variantelor depinde de variantele avute în vedere pentru evaluare, prin urmare, adăugarea sau ștergerea variantelor poate duce la modificări în clasamentul final;

- multe probleme de luare a deciziei sunt prea complexe pentru a fi înțelese cantitativ. Oamenii sunt mult mai familiarizați cu a utiliza cunoștințe imprecise, mai degrabă decât cu o cunoaștere precisă. Astfel, în literatură metode de decizie multi-criteriale sunt integrate cu teoria fuzzy. O abordare bazată pe mulțimi fuzzy este utilizată atunci când măsurarea concretă și ponderile performanței nu pot fi stabilite cu precizie. În astfel de cazuri, teoria mulțimilor fuzzy este folosită pentru a modela incertitudinea deciziilor umane.

Punctele tari ale abordării fuzzy sunt:

- factorii de decizie pot folosi termeni lingvistici pentru a evalua ușor și intuitiv variante;
- se îmbunătățește procedura de luare a deciziilor prin ajustarea lipsei de claritate și a ambiguității apărute în timpul luării deciziilor umane.

Punctul slab al abordării fuzzy este dificultatea de a calcula valorile fuzzy ale indicelui de adecvare și valorile de clasificare pentru toate variantele.

4. Modelarea problemei de selecție produse software ca problemă de decizie multi-atribut

Selecția produselor software este o problemă de decizie multi-criterială care se referă la alegerea unui produs software dintr-o mulțime de variante disponibile (produse software) pe baza evaluărilor variantelor pentru o mulțime de criterii. Pentru această problemă de decizie, se construiește un model de evaluare și selecție, care să organizeze informația disponibilă într-un asemenea mod în care să fie posibilă obținerea unei soluții.

Modelul pentru evaluare și selecție produse software, notat cu R , este [3]:

$$R = ((D,A), V, (C, S, T,P), U, (M, E, O)) \quad (1)$$

Unde:

D - este o mulțime finită de decidenți (decident individual sau o echipă de decidenți/analști/experti) care evaluează și în final selectează produsul software cel mai potrivit în raport cu cerințele stabilite. Mulțimea de decidenți/analști/experti este un vector finit de k elemente pe care o notăm cu $D = (D_1, D_2, \dots, D_k)$. Atunci când sunt mai mulți decidenți, fiecărui decident i se poate asocia un coeficient de autoritate (pondere). Coeficientul de autoritate are o valoare numerică cuprinsă, de obicei, în intervalul $(0,1)$. Atunci când valoarea numerică nu este cuprinsă în intervalul $(0,1)$ se realizează, atunci când este necesar, o normalizare a coeficienților de autoritate. Mulțimea coeficienților de autoritate este un vector finit de k elemente pe care îl notăm cu $A = (a_1, a_2, \dots, a_k)$. Pentru stabilirea coeficienților de importanță se poate utiliza o metodă de ponderare. O condiție pentru mulțimea A este ca $\sum_{i=1}^k a_i = 1$.

V - este o mulțime finită de variante, constituite din mulțimea produselor software ce urmează a fi evaluate și dintre care va fi selectat produsul software potrivit. Variantele pot fi definite fie prin enumerarea elementelor (când mulțimea este finită și suficient de mică pentru ca o enumerare să fie posibilă) fie stabilind proprietățile ce caracterizează elementele mulțimii (când acesta este infinită sau finită dar prea mare pentru ca o enumerare să fie posibilă). Mulțimea variantelor este un vector finit cu m elemente pe care îl notăm cu $V = (V_1, V_2, \dots, V_m)$.

C - este o mulțime finită de criterii pentru care este evaluată fiecare variantă din V luând în considerare preferințele decidentului și o scală de evaluare (cantitativă sau calitativă). Formal preferința decidentului poate fi o relație de preferință, o relație binară în V (adică o submulțime a lui $V \times V$) sau o funcție ce reprezintă relația de preferință. Mulțimea criteriilor de evaluare este un vector cu n elemente pe care îl notăm cu $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$. Fiecărui criteriu i se poate asocia un coeficient de importanță (pondere). Coeficientul de importanță are, de obicei, o valoare numerică cuprinsă în intervalul $(0,1)$. Atunci când valoarea numerică nu este cuprinsă în intervalul $(0,1)$ se realizează, atunci când este necesar, o normalizare a coeficienților. Mulțimea coeficienților de importanță (ponderilor) este un vector cu n elemente pe care îl notăm cu $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$. Pentru

stabilirea ponderilor se poate utiliza o metodă de ponderare. Vectorul P are toate componentele nenegative și $\sum_{i=1}^n p_i = 1$.

S - este o mulțime finită de elemente s_i asociate cu fiecare element din C . Mulțimea scalelor de măsurate este un vector de n elemente pe care îl notăm cu $S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$. Fiecare element s_i poate fi considerat ca o mulțime de niveluri sau grade pentru care este posibilă asocierea unei ordini. Intuitiv putem considera criteriile din C măsurate folosind s_i ca scale de măsură. Uneori se utilizează o scală de măsurare unică stabilită apriori (scalele fuzzy sau Saaty).

T - este mulțimea tipurilor de maxim sau de minim asociate mulțimii C de criterii.

U - este o mulțime de structuri de incertitudine care se aplică lui C .

M - este o metodă/tehnică de decizie multi-criterială care utilizează o mulțime de operatori O pentru ca informația disponibilă din D și V prin C să poată fi sintetizată într-o evaluare mai concisă. Cu ajutorul unei metode de decizie multi-criterială se calculează o valoare unică (agregată) pentru fiecare element (produs software) din mulțimea V , pe baza unei evaluări efectuate. Evaluarea ia în considerare metoda de decizie selectată, preferințele decidenților și o scală de evaluare (cantitativă sau calitativă) din mulțimea S . Evaluarea se realizează pentru:

- fiecare decident din mulțimea D de k elemente;
- fiecare criteriu din mulțimea C de n elemente;
- fiecare produs software din mulțimea V de m elemente.

În multe metode se obține o matrice tridimensională a evaluărilor:

$$E = (e_{ijk}), \text{ unde } i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, m; l = 1, 2, \dots, n.$$

Cele mai potrivite metode de decizie multi-criteriale din mulțimea M pentru rezolvarea problemei de selecție a unui produs software, sunt metodele de decizie multi-criteriale de tip multi-atribut în care mulțimea V a variantelor este o mulțime finită de elemente.

Din cauza complexității unei probleme de decizie, nu este totdeauna posibil să se definească mulțimea V a-priori. Se poate întâmpla adesea ca definirea lui V să se facă progresiv în cursul procesului de decizie. Mulțimea V poate fi stabilă (când este definită a-priori și nu mai poate fi modificată în cursul unei proceduri de decizie) și evolutivă (când poate fi modificată în cursul procedurii de decizie, fie din cauză că apar rezultate intermediare în timpul procesului fie din cauză că problema de decizie provine dintr-un mediu ce se poate schimba). Mulțimea V poate fi de două tipuri: globală (când fiecare element exclude pe orice altul) și fragmentată (când rezultatele procedurii de decizie implică combinări a mai multe elemente din V). Problema de decizie poate fi modelată pentru a suporta mai multe mulțimi diferite V iar natura (stabilă sau evolutivă, globală sau fragmentată) a mulțimii variantelor depinde de alegerea care a fost făcută. De asemenea definirea mulțimii V nu depinde numai de problema care este rezolvată și de actorii implicați în procedura de decizie; ea interacționează puternic cu pașii care urmează, adică definirea criteriilor, modelarea preferințelor, alegerea metodei de decizie care va fi aplicată.

5. Concluzii

În articol s-a abordat problema de selecție a produselor software ca problemă complexă de decizie multi-criterială. S-a realizat o sinteză a cercetărilor realizate având la bază literatura de specialitate. Analiza efectuată privind subiectul "evaluare și selecție produse software" a oferit o imagine de ansamblu asupra subiectelor abordate, a metodelor, metodologiilor și instrumentelor propuse și utilizate. Dintre metodele utilizate, metoda AHP și variantele ei fuzzy au fost utilizate pe scară largă pentru evaluarea și selecția produselor software. Metoda AHP este o metodă de decizie multi-criterială din clasa metodelor de deciziei multi-atribut.

Problema de selecție a unui produs software este o problemă complexă de decizie multi-criterială ce implică un mare grad de incertitudine. Problema evaluării, mai ales pentru criterii ce nu pot fi măsurate cantitativ, are un mare caracter de incertitudine. Atribuirea coeficienților de

importanță (ponderilor) pentru criteriile luate în considerare implică incertitudine și este în sine o problemă de decizie multi-criterială. Aceeași problemă apare atunci când selecția este realizată de un grup de experți/analști pentru care se dorește stabilirea unor coeficienți de autoritate. Abordările fuzzy, pentru metode multi-atribut, ar putea să rezolve incertitudinea implicată în rezolvarea problemei.

Pentru problema de selecție produse software a fost creat un model general de evaluare și selecție ce include factorii importanți ce intervin în rezolvarea problemei de selecție a unui produs software.

Cercetările au fost realizate în cadrul temei de cercetare PN 09 23 02 06 din cadrul Programului Nucleu finanțat de Ministerul Educației Naționale, în calitate de autoritate de stat pentru cercetare științifică, dezvoltare tehnologică și inovare [3].

BIBLIOGRAFIE

1. **ANDRAȘIU, M.; BACIU, A.; PASCU, A.; PUȘCAȘ, E.; TAȘNADI, A.:** Metode de decizii multicriteriale. Editura Tehnică. București, 1986, 198p.
2. **ATAȘ, G.; GUNGOR, V. C.:** Performance evaluation of cloud computing platforms using statistical methods. În: *Computers & Electrical Engineering*, 40(5), 2014, pp. 1636-1649.
3. **BALOG, A.; RĂDULESCU, C. Z.; RESTEANU, C.; TÎRZIU, E.; MITAN, E.; SIPCĂ, A.; PREDA, S.; RĂDULESCU, D.M.:** Tema de cercetare: Metode, modele și instrumente de asistare a decidenților în selectarea produselor software, Faza 1: Studiu privind cercetările și realizările în domeniul proiectului, ICI, decembrie, 2014, 72 p.
4. **DURÁN, O.:** Computer-aided maintenance management systems selection based on a fuzzy AHP approach. În: *Advances in Engineering Software*, 42(10), 2011, pp. 821-829.
5. **FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M.:** Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. Springer, New York, 2005, 1048p.
6. **FILIP, F.G.:** Decizie asistată de calculator: decizii, decidenți, metode de bază și instrumente informatice asociate. București: Ed. Tehnică, 2005, 376 p.
7. **GARG, S.K.; VERSTEEG, S.; BUYYA, R.:** A framework for ranking of cloud computing services. În: *Future Generation Computer Systems*, 29(4), 2013, pp. 1012-1023.
8. **GODSE, M.; MULIK, S.:** An approach for selecting software-as-a-service (SaaS) product. În: *IEEE International conference on cloud computing*, 2009.
9. **GRAU, G.; CARVALLO, J. P.; FRANCH, X.; QUER, C.:** DesCOTS: a software system for selecting COTS components. În: *Proceedings of 30th EUROMICRO Conference*, IEEE, 2004.
10. **HUANG, C. L.; YOON, K.:** Multi attribute decision making: methods and applications. Springer, New York, 1981, 270 p.
11. **JADHAV, A. S.; SONAR, R. M.:** Framework for evaluation and selection of the software packages: A hybrid knowledge based system approach. În: *The Journal of Systems and Software*, 84(8), 2011, pp. 1394-1407.
12. **KARSAK, E.; ÖZOGUL, C. O.:** An integrated decision making approach for ERP system selection. În: *Expert Systems with Applications*, 36(1), 2009, pp. 660-667.
13. **KEENEY, R.; RAIFFA, H.:** Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs. Cambridge University Press. Cambridge, 1993, 569 p.
14. **KORHONEN, P.; LEWANDOWSKI, A.:** Multiple Criteria Decision Support, Amsterdam: Springer, 1991.

15. **KUNDA, D.:** STACE: social technical approach to COTS software evaluation. În: Component Based Software Quality, Springer-Verlag, LNCS 2693, 2003, pp. 64–84.
16. **LEUNG, K.R.P.H.; LEUNG, H. K.N.:** On the efficiency of domain-based COTS product selection method. În: Information and Software Technology 44, 2002, pp. 703–715.
17. **LIN, H. Y.; HSU, P. Y.; SHEEN, G. J.:** A fuzzy-based decision making procedure for data warehouse system selection. În: Expert Systems with Applications, 32(3), 2007, pp. 939–953.
18. **NGAI, E.W.T.; CHAN, E.W.C.:** Evaluation of knowledge management tools using AHP. În: Expert Systems with Applications, 2005, pp. 1–11.
19. **MOLLAGHASEMI, M.; EDWARDS, J.:** Technical briefing: making multiple objective decisions. În: Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1997.
20. **OH, K.; LEE, N.; RHEW, S.:** A selection process of COTS components based on the quality of the software in a special attention to internet. În: HIS 2003, LNCS 2713, 2003, pp. 626-631.
21. **OZERNOY, V. M.:** Choosing the “best” multiple criteria decision-making method. În: INFO, 30, 1992, pp. 159-171.
22. **RĂDULESCU, C. Z.:** Decizii Multicriterială, metode și aplicații în dezvoltare durabilă. În: Editura Printech, 2013, ISBN: 978-606-23-0025-8, 274 p.
23. **RESTEANU, C.; SOMODI, M.; VADUVA, I.:** On the Exams of a Multi-Attribute Decision Making E-Course. În: Analele Universitatii de Vest din Timisoara 46.2, 2011.
24. **SAATY, T.L.:** The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill, 1980.
25. **SANTHABAN, R.; KYPARISIS, J.:** A decision model for interdependent information system project selection. În: European Journal of Operational Research, 89, 1996, pp. 380-399.
26. **SANTHABAN, R.; KYPARISIS, J.:** A multiple criteria decision model for information system project selection. În: Computers and Operations Research, 22(8), 1995, pp. 807-818.
27. **STAMELOS, I.; VLAHAVAS, I.; REFANIDIS, I.; TSOUKIAS, A.:** Knowledge based evaluation of software systems: A case study. În: Information and Software Technology, 42, 2000, pp. 333–345.
28. **VERVILLE, J.; HALLINGTEN, A.:** An investigation of the decision process for selecting an ERP software: the case of ESC. În: Management Decision, 40 (3), 2002, pp. 206–216.
29. **VINCKE, P.:** Multicriteria decision aid. New York: Wiley, 1992, 174 p.
30. **YOON, K.; HWANG, C.:** Multiple Attribute Decision-Making: An Introduction, Sage Publisher, 1995.
31. **ZELNY, M.:** Multiple criteria decision making. McGraw-Hill. New York, 1982, 563 p.