

O abordare descentralizată multi-parametru pentru formarea automată a lanțului de aprovizionare

Rezumat Teză Doctorat

Doctorand: Florina Livia Gheție (Covaci)

Conducător: Prof. Dr. Nicolae Tomai

Universitatea Babeș-Bolyai
Facultatea de Științe Economice și Gestiunea Afacerilor

Cluj-Napoca, 2018

Cuprins

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Introducere | 7 |
| 2 | Definirea problemei | 10 |
| 3 | Stadiul cunoașterii privind formarea automată a lanțului de aprovizionare | 14 |
| 4 | Modele probabilistice bazate pe grafuri | 18 |
| 5 | Formarea lanțului de aprovizionare cu contracte multi-parametru (MCP-BP) | 24 |
| 6 | Studii de caz | 32 |
| 7 | Concluzii și direcții viitoare de cercetare | 36 |
| | Referințe | 38 |

Cuprinsul Tezei de Doctorat

1. Introducere

- 1.1 Contribuții
- 1.2 Structura lucrării
- 1.3 Publicații

2. Defnirea problemei

- 2.1 Problema formării lanțului de aprovizionare
- 2.2 Contracte în lanțul de aprovizionare

3. Stadiul cunoșterii privind formarea automată a lanțului de aprovizionare

- 3.1 Abordări care utilizează o autoritate centrală
 - 3.1.1 Abordări centralizate
 - 3.1.2 Abordări descentralizate
 - 3.1.2.1 Entitate-la-entitate
 - 3.1.2.2 Abordări mediate
- 3.2 Mecanisme utilizate pentru schimbul de informații între participanți
 - 3.2.1 Negociere
 - 3.2.2 Licitații
 - 3.2.2.1 Licitații duble
 - 3.2.2.2 Licitații combinate
 - 3.2.3 Modele bazate pe grafuri
- 3.3 Abordări care utilizează una/mai multe unități
 - 3.3.1 Abordări cu o singura unitate
 - 3.3.2 Abordări cu multiple unități
- 3.4 Aspecte identificate in literatura referitoare la formarea lanțului de aprovizionare
 - 3.4.1 Numărul de paramterii ai contractelor
 - 3.4.2 Optimalitatea lanțului de aprovizionare rezultat
 - 3.4.3 Riscul
- 3.5 Protocolul SAMP-SB
- 3.6 Algoritmul LBP
- 3.7 Algoritmul RB-LBP

4. Modele probabilistice bazate pe grafuri

- 4.1 Modele bazate pe grafuri

- 4.1.1 Modele bazate pe grafuri orientate
- 4.1.2 Modele bazate pe grafuri neorientate
- 4.1.3 Grafuri factor
- 4.2 Factori
- 4.3 Eliminarea Variabilelor
- 4.4 Graf cluster
 - 4.4.1 Arbore cluster
 - 4.4.2 Eliminarea variabilelor in arbori cluster
 - 4.4.2.1 Transmiterea mesajelor in arbori cluster
 - 4.4.2.2 Calibrarea arborilor cluster
- 4.5 Algoritmul Max-sum
- 4.6 Luarea deciziilor în contextul modelelor bazate pe grafuri
 - 4.6.1 Teoria utilității
 - 4.6.2 Utilitatea maximă așteptată
 - 4.6.3 Diagrama de influență

5. Formarea descentralizată a lanțului de aprovizionare cu contracte multi-parametru (MCP-BP)

- 5.1 Algoritmul MCP-BP
- 5.2 Implementare
- 5.3 Evaluare și rezultate empirice
 - 5.3.1 Soluțiile MCP-PB pentru topologiile de referință
 - 5.3.2 Performanța MCP-BP
 - 5.3.3 MCP-BP versus abordările anterioare

6. Studii de caz

- 6.1 Proiecte complexe IT
- 6.2 Industria petrolieră

7. Concluzii și direcții viitoare de cercetare

Anexa A. Exemplu schimbare mesaje

Anexa B. Cod sursa pentru MCP-BP

Referințe

Cuvinte cheie: Formarea Lanțului de Aprovizionare, Contracte, Agenți Inteligenți, Funții de Utilitate, Automatizare, Graf Cluster, Eliminarea Variabilelor, Propagarea Convingerilor, Max-Sum, Utilitatea Maximă Așteptată

Publicații

Materialul conținut în această teză a fost diseminat și contribuie la următoarele publicații:

1. COVACI Florina Livia, *Optimizing Service Level Agreements in Peer-to-Peer Supply Chain Model for Complex Projects Management*, Editors: Silaghi G., Buchmann R., Boja C., Informatics in Economy. Lecture Notes in Business Information Processing, vol 273. pages: 23-37, Springer, 2017, ISBN/ISSN: 978-3-319-73458-3.

2. COVACI Florina Livia, *Agent-Based Simulation for Peer to Peer Supply Chain Formation*, 30th European Simulation and Modelling Conference, Editors: Jose Evora-Gomez and Jose Juan Hernandez-Cabrera, EUROSIS, pages: 429-434, 2016, ISBN/ISSN: 978-90-77381-95-3.

3. COVACI Florina Livia, Bologa Cristian-Sorin, Silaghi Gheorghe-Cosmin, *Expected Utility and Risk Management in Complex Projects*, Information Systems Development: Advances in Methods Tools and Management (ISD2017 Proceedings), 26th International Conference on Information Systems Development (ISD2017 Cyprus), AIS, Editor: N. Raspopoulos M. Barry M. Lang H. Linger and C. Schneider, Pages: 1 - 9, 2017, ISBN/ISSN: 978-9963-2288-3-6.

4. COVACI Florina Livia, *A Multi-Agent Negotiation Support System for Supply Chain Formation*, Hohenheim Discussion Papers In Business Economics and Social Sciences, 17th International Conference on Group Decision and Negotiation, Hohenheim University, Editor: Mareike Schoop and D. Marc Kilgour, Pages: 229 - 238, 2017, ISBN/ISSN: 2364-2084.

5. COVACI Florina Livia, *Industry 4.0-Towards Automated Supply Chain Formation*, Hohenheim Discussion Papers In Business Economics and Social Sciences, Doctoral Consortium of 17th International Conference on Group Decision and Negotiation, Hohenheim

University, Editor: Mareike Schoop and D. Marc Kilgour, Pages: 27-36, 2017, ISBN/ISSN: 2364-2084.

6. COVACI Florina Livia, *Modelling and Simulation for Decentralized Supply Chain Formation*, Proceedings of the 31st European Simulation and Modelling Conference, 31st European Simulation and Modelling Conference, Editor: Paulo J.S.Goncalves, EUROSIS, Pages: 185-192, 2017, ISBN/ISSN: 978-9492859-00-6.

Capitolul 1

Introducere

În viziunea revoluției industriale 4.0, cele mai multe procese din cadrul întreprinderilor vor deveni digitizate. Algoritmii vor permite mașinilor să ia decizii autonome în lanțul de aprovizionare digitizat al viitorului.

Membrii unui lanț de aprovizionare (LA) sunt dependenți unul de altul în ceea ce privește informațiile și resursele, această dependență crescândă fiind datorată globalizării, externalizării și progreselor rapide a tehnologiei informațiilor. Dependența crescută aduce, împreună atât beneficii, cât și o anumită cantitate de risc și incertitudine. Pentru a răspunde acestor provocări, participanții la LA trebuie să colaboreze între ei. Este necesar a fi identificate mecanismele adecvate de coordonare pentru a aborda incertitudinile din lanțul de aprovizionare (Arshinder et al. 2008).

Întreprinderile din lanțul de aprovizionare se coordonează prin utilizarea contractelor, ceea ce oferă o mai bună gestionare a riscurilor și o gestionare îmbunătățită a relației dintre furnizori și consumatori. În cadrul contractelor, parametrii care trebuie îndepliniți într-un parteneriat furnizor-consumator sunt specificați (Arshinder et al. 2008). Beneficiile utilizării contractelor pentru lanțul de aprovizionare sunt: creșterea performanței lanțului de aprovizionare general, reducerea costurilor pentru gestionarea stocurilor și împărțirea riscului între participanții la lanțul de aprovizionare (Tsay 1999).

În cele ce urmează, prezentăm contribuțiile acestei teze care vin în întâmpinarea unor limitări ale literaturii existente referitoare la LA. Pe baza analizei literaturii referitoare la formarea automatizată a lanțului de aprovizionare (FALA) pe care am efectuat-o în capitolul 3, am dezvoltat un cadru teoretic fundamentat pe abordările existente pentru FLA. Cadru teoretic pe care îl dezvoltăm are trei dimensiuni: tipul de abordare privind existența unei autorități centrale, tehnicile utilizate pentru modelarea comunicării și abordările privind

una/mai multe unități tranzacționate. Analizând rezultatele obținute în procesul de revizuire a literaturii din capitolul 3, apreciem că sunt relevante a fi investigate următoarele:

1. Întrucât problema formării lanțului de aprovizionare (FLA) în scenarii reale este una complexă și care implică mai multe aspecte legate de contract, este posibil să se găsească un mecanism pentru FLA care încorporeze mai mulți parametri?
2. Legat de prima întrebare, apare o a doua întrebare: Dacă mecanismul FLA ar implica mai mulți parametri, cum poate fi evaluat lanțul optim de aprovizionare?
3. Cum pot fi tratate situațiile în care există produse complementare sau deficit de resurse în procesul FLA?
4. Există modalități de a încorpora riscul în mecanismul FLA?

Prin urmare, teza de față aduce următoarele contribuții în ceea ce privește tematica formării automate a lanțului de aprovizionare :

1. Oferă mijloace pentru încorporarea unor parametri contractuali cum ar fi: costul, calitatea, constrângerile de livrare etc. în negocierea termenilor contractului. Mai mult decât atât, mecanismul propus poate include în funcțiile de utilitate chiar și parametrii subiectivi specifici fiecărei entități. Acești parametri subiectivi (de exemplu, culoarea) nu se regăsesc în parametrii contractuali. Întrucât nu fac parte dintr-un contract într-o relație comercială, ele pot fi eliminate din contractul convenit utilizând mecanismul de eliminare a variabilelor descris în algoritmul MCP-BP propus din capitolul 5.
2. Folosește funcții de utilitate ca modalitate de a exprima preferințele asupra stărilor variabilelor și de a evalua lanțul optim de aprovizionare. Prin urmare, problema FLA se apropie de scenariile reale de utilizare.
3. Oferă mijloace pentru a gestiona produsele complementare deoarece există situații frecvente când furnizorii intermediari au nevoie de produse complementare pentru a furniza un produs sau un subansamblu mai complex la nivelurile superioare din lanțul de aprovizionare.
4. Oferă un mecanism de integrare a riscului în evaluarea lanțului optim de aprovizionare, iar în capitolul 6, detaliem acest aspect prin prezentarea a două studii de caz, pentru două domenii economice diferite: dezvoltare de sisteme IT și industria petrolieră.

Continuarea prezentei teze este organizată după cum urmează:

Capitolul 2, descrie problematica formării automate a lanțului de aprovizionare, furnizând un context general pentru teza actuală și discută despre utilizarea contractelor din lanțurile de aprovizionare.

Capitolul 3, face o revizuire a literaturii științifice, revizuire care a stat la baza elaborării unui cadru teoretic care încorporează trei perspective privind FLA. Revizuirea literaturii a fost necesară pentru înțelegerea conceptelor și identificarea limitărilor existente în literatura.

Capitolul 4, descrie conceptele matematice utilizate în abordarea propusă cu privire la FLA. În acest capitol se descrie noțiunea de factor și rolurile acestuia în modelele bazate pe grafuri. Apoi, este detaliat algoritmul de eliminare a variabilelor, fiind ulterior descrise grafurile cluster și algoritmul max-sum. În cele din urmă, este descrisă diagrama de influență și utilitatea maximă așteptată.

Capitolul 5, descrie formalizarea abordării propuse pentru problema SCF în care fiecare participant corespunde unui cluster într-un graf cluster. Fiecare participant deține o funcție de utilitate și schimbă mesaje referitoare la preferințele proprii în cadrul unui graf cluster folosind algoritmul max-sum. De asemenea, abordarea propusă permite încorporarea riscului în mecanismul de luare a deciziilor prin intermediul diagramei de utilitate și a utilității maxime așteptate. În cele din urmă, abordarea propusă este evaluată utilizând rezultatele empirice obținute asupra tipurilor de rețele utilizate în literatura existentă pentru FLA.

Mai mult, capitolul 6, prezintă două studii de caz aparținând unor industrii complet diferite (Dezvoltarea sistemelor informatice și Industria petrolieră), pentru a valida abordarea noastră într-un context apropiat de scenariile reale de utilizare.

În cele din urmă, în capitolul 7, prezentăm câteva concluzii și sunt descrise direcțiile de cercetare viitoare.

Capitolul 2

Definirea problemei

Teza actuală analizează problema formării lanțului de aprovizionare ca o formă de interacțiune comercială coordonată. Scenariul lanțului de aprovizionare considerat reprezintă o rețea de relații de producție și de schimb care acoperă mai multe nivele de producție sau nivele de descompunere a activităților. Acest model al lanțului de aprovizionare este utilizat de obicei în industria bunurilor complexe (avioane, mașini, industria petrochimică etc.), dar orice relație de comercială de furnizare de servicii sau contractare care cuprinde mai multe nivele de activități poate fi mapată în acest scenariu al lanțului de aprovizionare.

Agenții sunt caracterizați în funcție de capacitatea lor de a îndeplini activitățile și de interesele lor în îndeplinirea activităților. O caracteristică centrală a scenariului considerat este descompunerea ierarhică a activităților: pentru a îndeplini o anumită activitate, un agent ar putea fi nevoit să realizeze anumite sub-activități, care pot fi delegate altor agenți. Aceste activități sunt alcătuite, de asemenea, din sub-activități, care sunt delegate în continuare altor agenți. În consecință, se formează un lanț de aprovizionare prin descompunerea activităților la fiecare nivel față de agenții responsabili de fiecare sub-activitate. Constrângerile legate de atribuirea activităților provin de la nivelurile inferioare ale rețelei de aprovizionare după cum este prezentat în Figura 2.

Consumatorul final al produsului X_1 de la rădăcina lanțului de aprovizionare poate alege între furnizorii de subansambluri X_2 , X_3 , X_4 și X_8 . Lungimea celor patru lanțuri de aprovizionare posibile este diferită, deoarece pot exista furnizori de nivel unu care sunt capabili să producă subansamblul fără alte descompuneri de activități. La niveluri inferioare, un anumit furnizor de subansambluri sau un anumit furnizor de componente are posibilitatea de a alege între mai mulți furnizori descendenți posibili. De exemplu, X_3 poate alege X_6 sau X_{11} ca furnizor de componente fabricate și X_5 poate alege între X_7 și X_{12} ca și

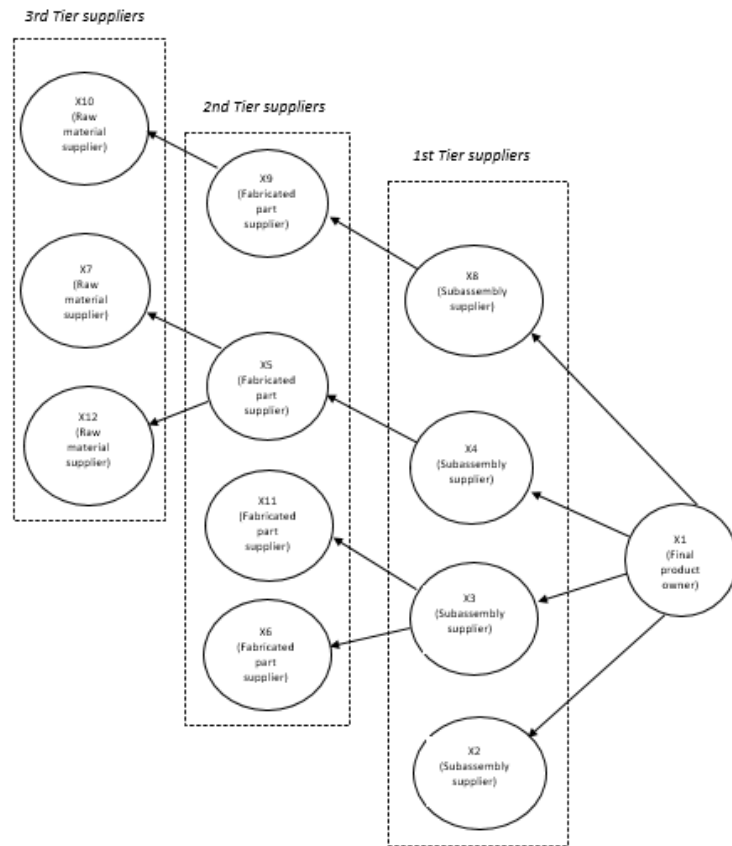


Figure 2.1: Exemplu de rețea de aprovizionare cu descompunere ierarhică a activităților (Covaci 2017)

furnizori de materie primă.

Având în vedere mediul descris mai sus, cercetările noastre vizează găsirea unui mecanism de conectare a cerințelor consumatorilor finali cu posibilitățile furnizorilor care stau la baza acestora pentru a garanta îndeplinirea parametrilor contractuali de la un capăt la altul al lanțului de aprovizionare. Au fost identificate următoarele obiective specifice de cercetare relevante ca urmare a obiectivului general de cercetare expus mai sus:

1. Modelarea atribuirii activităților între un consumator și un furnizor printr-un contract, poate implica multe aspecte cum ar fi: prețul sau costul, cantitatea livrată, constrângerile specifice pentru diferite probleme de calitate, riscul de încălcare a contractului etc. Entitățile din cadrul lanțului de aprovizionare vor trebui să convină asupra acestor parametri contractuali, deoarece aceștia le vor aduce o utilitate variabilă, în funcție de preferințele specifice ale acestora față de valorile parametrilor. Astfel, un

prim obiectiv de cercetare îl reprezintă modelarea interacțiunilor din cadrul lanțului de aprovizionare prin contracte cu mai mulți parametri, dat fiind că agenții acționează independent și sunt preocupați de îndeplinirea propriilor obiective. Funcțiile lor de utilitate sunt independente una de cealaltă și toți doresc să-și maximizeze utilitatea percepută după realizarea contractului.

2. Un participant în cadrul lanțului de aprovizionare poate fi în același timp atât consumator, cât și producător. Astfel, el va avea un rol dublu în interacțiunile locale din care face parte, complicând FLA. În cadrul acestor interacțiuni, agenții vor trebui să obțină confirmarea furnizorilor lor că activitățile atribuite acestora vor putea fi îndeplinite și respectiv să confirme consumatorilor că livrarea va fi efectuată conform parametrilor contractuali. Astfel, o provocare a cercetării noastre va fi aceea de a modela fluxul de informații în cadrul lanțului de aprovizionare, astfel încât să se obțină o soluție și această soluție să aibă anumite proprietăți benefice generale.

Esența abordării noastre va fi faptul că vom vedea interacțiunea dintre agenții adiacenți ca un acord asupra contractelor cu mai mulți parametri. Prin urmare, în cele ce urmează vom discuta în cele ce urmează impactul contractelor asupra performanței lanțului de distribuție descentralizat.

Datorită procesului de globalizare și a practicilor de externalizare, scenariile descentralizate, în care mai mulți factori de decizie dețin informații parțiale și au diverse preferințe, sunt larg răspândite în zilele noastre. Măsurarea performanțelor lanțurilor de aprovizionare descentralizate poate fi realizată prin utilizarea coordonării ca criteriu de evaluare. Coordonarea poate fi realizată prin intermediul contractelor convenite între entități din lanțul de aprovizionare.

Într-un sistem descentralizat, datorită incompatibilității obiectivelor agenților, deciziile care sunt optime pentru agenți pot fi suboptimale pentru întregul lanț de aprovizionare. Incompatibilitatea obiectivelor în lanțurile de aprovizionare descentralizate rezidă în caracteristica fundamentală a agenților: raționalitatea. Această raționalitate a indivizilor implică faptul că fiecare agent încearcă să-și maximizeze propria utilitate și fiecare agent este capabil să-și estimeze deciziile optime având în vedere informațiile disponibile, ceea ce duce la maximizarea utilității. În consecință, agenții vor prelua deciziile optime ale lanțului de aprovizionare numai dacă înțeleg că aceste decizii sunt, de asemenea, optime pentru ei înșiși. Pentru a obține o alocare în cadrul unui lanț de aprovizionare cu agenți participanți care

sunt mulțumiți și acceptă alocarea, în cadrul contractelor de coordonare, deciziile optime ale unui agent trebuie să fie aceleași cu deciziile optime pentru LA global. Acest lucru poate fi realizat fie prin satisfacerea utilităților minime acceptabile pentru toți agenții, fie prin împărțirea echitabilă a câștigurilor (Behzad & Wiesaw 2010)

Unele dintre cele mai importante clauze contractuale, așa cum sunt descrise de către literatura de specialitate, după enumerarea (Hohn 2010) sunt: specificarea drepturilor de decizie, de stabilire a prețului minim de achiziție, cantitatea, politicile de răscumpărare sau returnare, reguli de alocare, orizontul de timp, calitate, periodicitatea comenzii, schimbul de informații.

Premisa acestei teze este că interacțiunile dintre cumpărători și furnizori la toate nivelurile din lanțul de aprovizionare sunt guvernate de contracte formale. În mod obișnuit, aceste contracte trebuie să surprindă cele trei tipuri de fluxuri care sunt implicate în interacțiunile dintre participanții din lanțul de aprovizionare: fluxuri financiare, fluxuri de informații și materiale.

În cadrul procesului de stabilire a parametrilor contractuali, fiecare agent va lua decizii care sunt influențate de istoricul informațiilor care ajung la agentul respectiv. Astfel, vom aborda situația decizională, bazată pe principii din economie (adică teoria utilităților) și vom folosi modelele probabilistice bazate pe grafuri prezentate în capitolul 4 pentru a analiza procesul local de luare a deciziilor.

Capitolul 3

Stadiul cunoașterii privind formarea automată a lanțului de aprovizionare

Pe baza unei revizuirii structurate a literaturii, în acest capitol dezvoltăm un cadru teoretic util în înțelegerea din mai multe perspective a complexității problemei formării lanțului de aprovizionare. Această analiză va constitui fundamentul pentru identificarea a problemelor și limitărilor din literatura științifică actuală. Prezenta revizuire sistematică include conferințe și jurnale științifice de mare impact. Articolele luate în considerare au fost identificate prin căutarea cuvintelor cheie, după care a fost confirmată relevanța acestora pentru includerea în studiul nostru pe baza titlului, a abstractului și a conținutului. Mai mult, selecția lucrărilor a fost făcută pe baza problemei abordate și în funcție de conținutul acestora, cu accent pe: (i) tipul de abordare privind o autoritate centrală existentă; (ii) mecanismele utilizate pentru modelarea schimburilor de informații între participanți (iii) adresarea problemei FLA cu una/mai multe unități din același produs.

Scopul acestui capitol este de a oferi o înțelegere a legăturii multiplelor abordări și concepte existente cu privire la formarea lanțului de aprovizionare și de a identifica limitările din literatura de științifică existentă. În acest scop, a fost realizată o abordare în două etape. La prima etapă, a fost realizată o revizuire a literaturii pentru crearea cadrului teoretic din figura 3.1. Acest cadru oferă o privire de ansamblu asupra celor mai discutate modele și tehnologii din cadrul lucrărilor și studiilor relevante din literatura de specialitate și le clasifică în conformitate cu abordările și conceptele cheie identificate legate de formarea lanțului de aprovizionare. După cum se arată în cadru, abordările și conceptele pot fi clasificate în raport cu trei perspective în funcție de trăsăturile caracteristice:

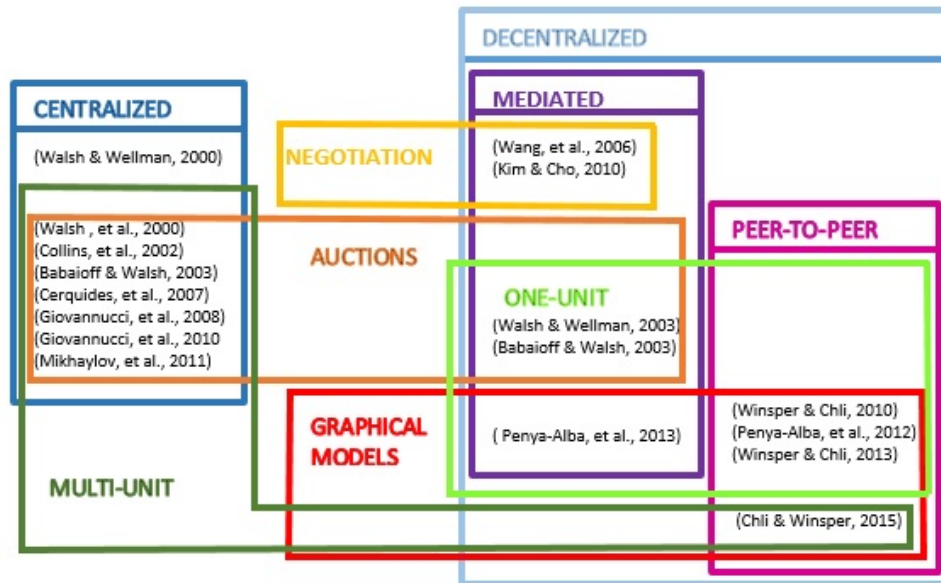


Figure 3.1: Cadru teoretic privind formarea lanțului de aprovizionare

1. Abordări utilizate în ceea ce privește existența unei autorități centrale
2. Mecanismele concepute pentru schimbul de informații între participanții din lanțul de aprovizionare
3. Utilizarea mai multor unități sau pachete pentru mărfurile tranzacționate.

În al doilea rând, toate abordările au fost evaluate pentru a înțelege și identifica limitările din literatura de specialitate și pentru a găsi direcții viitoare de cercetare în vederea digitalizării formării lanțului de aprovizionare.

În cele ce urmează vom evidenția unele limitări identificate în literatura studiată mai sus. Contribuția științifică principală a tezei noastre va fi aceea de a aborda aceste limitări și de a găsi o soluție alternativă.

- Numărul parametrilor contractului

Abordările existente analizate în studiul efectuat iau în considerare numai prețul ca principal parametru contractual, și uneori numărul de unități care urmează a fi convenite între potențialii furnizori și consumatori. În contextul revoluției industriale 4.0, problema FLA este una complexă și se ocupă de mai multe aspecte ale contractelor. Entitățile implicate în lanțul de aprovizionare negociază diverși parametrii

precum: parametrii de calitate, timpul de livrare, penalitățile de întârziere, etc. Vom presupune că fiecare participant va evalua valoarea unui contract folosind utilități.

- **Optimalitatea lanțului de aprovizionare rezultat**

Evaluarea LA obținută prin utilizarea abordărilor prezentate mai sus se realizează numai prin utilizarea unei funcții de maximizare a profitului a entității consumatorului final în lanțul de aprovizionare. Cu toate acestea, în contextul revoluției industriale 4.0, performanța lanțurilor de aprovizionare este măsurată folosind ca și criteriu coordonarea. Termenul de coordonare ia în considerare situațiile în care există un singur factor de decizie care primește întreaga informație de la diverși factori de decizie și este capabil să optimizeze rețeaua. Cu toate acestea, în situații în care există mulți factori de decizie, care pot avea diferite obiective și informații, coordonarea poate fi dificil de realizat. Factorii de decizie au o aversitate pentru schimbul de informații privind costul și cererea, care pot duce la o performanță sub-optimală a lanțului de aprovizionare. Fiecare factor de decizie este interesat de un set de parametri, prin urmare are scopul de a optimiza o funcție obiectiv individuală. Cu toate acestea, valorile locale optime s-ar putea să nu fie aceleași cu cele optime globale pentru întregul lanț de aprovizionare.

- **Riscul**

O problemă care apare în contextul complexității revoluției industriale 4.0 este creșterea riscului. De exemplu, ar putea exista o penalizare pentru fiecare zi de întârziere în livrarea produsului pentru contractantul principal în contractul său cu principalul client. El va trebui să decidă ce furnizor să aleagă pentru o materie primă/ansamblu critic. Este adesea o decizie dificilă a decide între a utiliza furnizorul cu prețuri mai mari, chiar dacă se știe că este un furnizor de încredere sau a utiliza un furnizor cu prețuri mai scăzute, care promite, de asemenea, că va livra cu succes, deși există o îndoială că acest lucru se va întâmpla. Este necesar să se ia în considerare dacă există avantaje pentru utilizarea furnizorului la prețuri mai ridicate, având în vedere riscul asociat furnizorilor. De asemenea, riscul provine din incertitudinile privind condițiile pieței. Există piețe cu volatilitate ridicată în ceea ce privește evoluția prețurilor chiar și pentru perioade scurte de timp. Volatilitatea prețurilor are o influență asupra cererii

unui anumit produs, prin urmare, atunci când se decide asupra contractării furnizorilor în lanțul de aprovizionare trebuie luată în considerare evoluția imprevizibilă a pieței în care acești furnizori acționează.

Capitolul 4

Modele probabilistice bazate pe grafuri

Acest capitol prezintă fundamentele teoretice privind modelele probabilistice bazate pe grafuri. Conceptele definite în cele ce urmează împreună cu algoritmi principali care permit transformarea modelelor bazate pe grafuri și urmărirea inferenței, vor fi utilizate în capitolul 5.

Modelele probabilistice bazate pe grafuri permit codificarea problemei FLA în cadrul abordării MPC-BP și ajută la rezolvarea problemelor principale pe care le-am identificat în capitolul 2: tratarea parametrilor multipli ai contractelor și a bunurilor complementare.

1. Modele bazate pe grafuri

Nodurile dintr-un model probabilistic bazat pe grafuri reprezintă variabile aleatoare sau grupuri de variabile aleatoare, în timp ce legăturile indică relații probabilistice între aceste variabile. Rezultatul este un grafic care exprimă modul în care distribuția probabilistică poate fi descompusă într-un produs de factori, peste toate variabilele aleatorii, fiecare factor depinzând doar de un subset al variabilelor. Există două tipuri de modele probabilistice bazate pe grafuri:

- (i) rețele Bayesiene, care reprezintă modele probabilistice bazate pe grafuri orientate, arcele între noduri având o semnificație de cauzalitate
- (ii) rețele Markov, care reprezintă modele probabilistice bazate pe grafuri neorientate, în care arcele nu au o semnificație direcțională.

Modelele bazate pe grafuri sunt centrate în jurul ideii de factorizare. Așa cum este indicat de (Wainwright & Jordan 2008), un astfel de model codifică o serie de funcții de

distribuție a probabilităților care se factorizează în funcție de o anumită configurație a grafului. Chiar dacă multe lucrări pun accentul pe probabilitățile condiționate codificate în modelele grafice, (Shafer & Shenoy 1990) arată că fundamentarea calculului local - utilizat și în abordarea noastră, este o factorizare și nu ar trebui să vedem această factorizare ca fiind obligatoriu legată de probabilitățile condiționale. Calculul local poate fi aplicat la matrici de valori în general, nu doar la distribuțiile de probabilități ale variabilelor aleatoare. Astfel, ea oferă o generalizare mai mare pentru modelele bazate pe grafuri, având o importanță practică și, de asemenea, permite interpretarea rezultatelor în termeni diferiți de noțiunea probabilistică, deoarece permite cercetătorului să se concentreze exclusiv asupra aspectelor computaționale ale problemei.

Graful factor include două tipuri de noduri: nodurile de variabile - de obicei reprezentate ca cercuri și noduri de funcții - de obicei reprezentate ca pătrate. Fiecare funcție este conectată la variabilele de care depinde prin arce neorientate. Grafurile factor sunt utilizate pe scară largă pentru reprezentarea grafică a funcțiilor factorizate, care pot fi scrise ca o sumă a componentelor lor. Acestea descriu relațiile dintre variabile prin nodurile de funcții.

2. Eliminarea variabilelor

Prezentăm în cele ce urmează algoritmul de eliminare a variabilelor, ca modalitate de abordare a factorilor prezenți într-un model bazat pe grafuri. Folosind perspectiva bazată pe factori, algoritmul de eliminare a variabilelor poate fi definit în general astfel încât să poată fi aplicat atât rețelelor Bayesiene cât și rețelelor Markov.

Atunci când se efectuează calculul probabilității unui subset de variabile, operația cheie care se efectuează este marginalizarea variabilelor unei distribuții. Calculul distribuției marginale pe un subset de variabile ar putea fi privit ca o operație pe un factor.

Ideea principală a algoritmului de eliminare a variabilelor este că variabilele sunt însumate câte una la fiecare pas. Când orice variabilă este însumată, toți factorii care menționează această variabilă se înmulțesc, generând un produs factor. Apoi, variabila din acest factor combinat este însumată, generând un nou factor care reprezintă intrarea pentru setul de factori care vor fi gestionați la pasul următor.

3. Graf cluster

Graful cluster, reprezintă o structură de date adecvată pentru procesul de manipulare a factorilor într-un mod grafic. Pentru fiecare subset de variabile din graf vom asocia un nod în graful cluster. Nodurile din graful cluster vor fi conectate prin arce neorientate reprezentând o intersecție non-vidă a variabilelor aferente domeniilor nodurilor. (Koller & Friedman 2009).

4. Arbore cluster

Dacă graful cluster este rezultatul unei execuții a algoritmului de eliminare a variabilelor, este garantat faptul că acesta nu va conține cicluri și, astfel, va fi cu siguranță un arbore.

Algoritmul de eliminare a variabilelor implică un flux de mesaje între participanți (adică clustererele). Astfel, graful cluster rezultat este unul direcționat, indiferent dacă modelul de intrare bazat pe grafuri este orientat sau nu. În cadrul algoritmului de eliminare a variabilelor este indus un arbore direcționat, deoarece toate mesajele sunt trimise către un cluster unic, ceea ce reprezintă distribuția probabilității finale calculate. Acest cluster este numit rădăcina arborelui orientat. Folosind convenții standard în tehnologia informațiilor, se presupune că rădăcina arborelui este "în sus", frunzele sunt "în jos", prin urmare, mesajele se transmit în sus până la rădăcina copacului și invers.

Arborele cluster indus de algoritmul de eliminare a variabilelor satisface o constrângere fundamentală: proprietatea de intersecție la execuție, ceea ce înseamnă că toți factorii implicați în execuția algoritmului de eliminare a variabilelor, conțin aceeași submulțime de variabile, de la momentul creării factorilor, până când sunt acestia sunt însumați.

5. Algoritmul max-sum

Pentru a aplica modelele bazate pe grafuri la problemele de decizie, un algoritm frecvent utilizat este max-sum. Problemele de decizie sunt deseori considerate ca fiind cele de optimizare, deoarece factorul decizional ar trebui să aleagă o alternativă din multiple posibilități, optimizând anumite criterii de decizie și păstrând limitele unor restricții impuse în mod extern. Vom prezenta în cele ce urmează algoritmul max-sum, precum și modul în care acesta este folosit în literatura FLA pentru luarea deciziilor.

Așa cum este indicat de (Bishop 2006), algoritmul max-sum ar putea fi aplicat problemelor de optimizare. Problema este transpusă într-un graf factor și se utilizează un mecanism de transmitere a mesajelor pentru a găsi soluții aproximative. Pentru a aplica algoritmul max-sum la o problemă de optimizare, cerința este că funcția de optimizare să poată fi descompusă aditiv. Astfel, algoritmul evoluează în trei etape:

- (a) Termenii sunt construiți pentru fiecare componentă individuală a funcției de optimizare. Acești termeni sunt conectați într-un graf.
- (b) Arcele din graf conțin mesaje care actualizează variabilele termenilor într-o manieră iterativă
- (c) Se determină stările finale ale variabilelor

Cheia algoritmului sum-max este modul în care se calculează valorile care vor fi schimbate la fiecare iterație. Acest lucru precum și modul în care max-sum poate fi combinat cu inferența în modelele probabilistice bazate pe grafuri este specific fiecărui mod de aplicare a algoritmului max-sum pentru o anumită problemă.

6. Luarea deciziilor în contextul modelelor probabilistice bazate pe grafuri

Vom prezenta în primul rând, teoria utilităților, aceasta fiind fundamentul pentru luarea deciziilor bazate pe utilitatea maximă. Apoi, vom descrie utilitatea maximă așteptată a unui agent și vom mapa aceasta utilizată pe modele bazate pe grafuri, în conformitate cu (Koller & Friedman 2009).

(i) Teoria utilităților

O ipoteză esențială este faptul că agenții sunt raționali și folosesc teoria utilităților ca o bază pentru acțiunile pe care le întreprind. În situațiile de luare a deciziilor, agenții trebuie să aleagă între un set de acțiuni posibile. Fiecare acțiune conduce la unul din mai multe rezultate, pentru fiecare dintre aceste rezultate posibile, agentul având preferințe diferite. În cel mai simplu caz, rezultatul fiecărei acțiuni este cunoscut cu exactitate. În acest caz, agentul va selecta cea acțiune care va duce la rezultatul preferat. În situații similare de luare a deciziilor, diferiți agenți au preferințe diferite asupra rezultatului, pe baza structurii lor interne. Astfel, valorile numerice, denumite utilități, ar trebui alocate pentru posibilele rezultate, permițând agentului să efectueze un proces riguros de luare a deciziilor.

După cum se precizează în (Fishburn 1968), teoria utilității descrie preferințele individuale, permițând ca aceste preferințe să fie exprimate numeric - vom folosi aceeași abordare în procesul nostru de luare a deciziilor. Pentru a ajunge la codificarea numerică a preferințelor, se definesc relațiile de preferință asupra problemelor de interes.

ii) Utilitate maximă așteptată

Utilitatea maximă așteptată oferă un cadru general care permite agenților să ia decizii atribuind o utilitate numerică pentru rezultate diferite. Funcția de utilitate a unui agent descrie preferințele sale generale, care pot fi dependente nu doar de măsurile monetare, ci și de alte aspecte relevante.

Pentru un agent care ia parte la lanțul de aprovizionare, fiecare rezultat al interacțiunii în cadrul lanțului de aprovizionare va fi evaluat cu o valoare numerică $U(o)$, exprimând satisfacția agentului în raport cu rezultatul obținut o . Este important de reținut că utilitățile nu sunt doar valori ordinale care denotă preferințele agentului asupra unor rezultate diferite, ele fiind valori numerice, care permit astfel agentului să rafineze exprimarea preferințelor asupra alternativelor existente.

Din punct de vedere probabilistic, folosirea valorilor numerice ca valori de ieșire a funcțiilor de utilitate permite agregarea preferințelor agenților pentru mai mulți parametri și realizarea evaluării numerice pentru posibilele rezultate, anând un set extins de parametri sau criterii. Agenții raționali vor maximiza utilitatea lor așteptată în fiecare situație de luare a deciziilor D , adică vor selecta acțiunea care le oferă rezultatul cu utilitatea maximă percepută.

O funcție de utilitate mapează rezultate posibile la valori numerice. Aceste rezultate pot varia de-a lungul mai multor dimensiuni. De cele mai multe ori, câștigul monetar înlocuiește funcția de utilitate. Dar economiștii (Kreps 1990) recomandă includerea în funcția de utilitate a tuturor atributelor de interes pentru situațiile de luare a deciziilor. Funcțiile mai largi ale utilitatilor permit justificarea rațională a deciziilor luate de agenți în cazul în care câștigul monetar nu este maximizat.

În practică, posibilele rezultate a fi obținute implică deseori atribute multiple. O funcție de utilitate trebuie să furnizeze valori numerice pentru rezultatele obținute din diferite combinații între diferitele atribute și preferințele agentului deasupra acestora. În astfel de scenarii, funcția de utilitate ar trebui să mapeze toate combinațiile

posibile ale valorilor parametrilor de interes către valori numerice unice. Prin urmare, funcția de utilitate poate fi vizualizată în termeni de model bazat pe grafuri (Koller & Friedman 2009).

7. Diagrama de influență

Având în vedere modul de luare a deciziilor prezentat anterior, în care agenții întreprind acțiuni bazate pe principiul utilității maxime așteptate, (Koller & Friedman 2009) arată modul în care acest scenariu poate fi modelat utilizând modelele bazate pe grafuri, mai exact rețele Bayesiene. Deoarece FLA reprezintă o situație complexă de luare a deciziilor și vom folosi modele bazate pe grafuri grafice pentru a descrie contribuția noastră științifică în capitolul 5, descriem în cele ce urmează diagramele de influență.

Conceptul diagramei de influență lărgeste cadrul rețelelor Bayesiene. Conform definiției sale, situația de luare a deciziilor conține variabile probabilistice și funcții de utilitate astfel încât utilizarea diagramei de influență este adecvată pentru reprezentarea situației decizionale. Unele dintre variabile sunt variabile probabilistice care iau valori conform unui model probabilistic. Alte variabile sunt sub controlul agenților, reflectând alegerile lor. De asemenea, există și variabile numerice care codifică utilitatea agentului. Prin urmare, este posibilă utilizarea unui graf orientat pentru a descrie grafic situațiile de luare a deciziilor. Acest grafic va conține trei tipuri de noduri, legate de tipurile de variabile enumerate mai sus. Variabilele probabilistice vor fi reprezentate prin ovale, variabilele de decizie prin dreptunghiuri și romburi pentru utilități (Koller & Friedman 2009).

Capitolul 5

Formarea lanțului de aprovizionare cu contracte multi-parametru (MCP-BP)

1. Algoritm MCP-BP

În cele ce urmează, descriem în mod formal problema formării lanțului de aprovizionare în termenii unui grafic orientat, aciclic (X, E) unde $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ reprezintă un set de participanți în lanțul de aprovizionare și E un set de arce care conectează agenți care au în vedere stabilirea unei relații comerciale. Fie $I = \{I_1, I_2, \dots, I_n\}$ setul de parametri pe care participanții la procesul de formare a lanțului de aprovizionare trebuie să îl agreeze. Participanții partajează un set de parametrii contractuali, iar FLA se încheie cu un contract care este compus din valorile reale ale parametrilor pe care aceștia le-au convenit.

Vom nota cu $U(v)$ utilitatea pe care o obține un participant prin valorile efective ale paramterilor $v = (v_{I_1}, v_{I_2}, \dots, v_{I_k})$ din contract. Agenții nu cunosc funcțiile de utilitate ale altor agenți, ei cunoscând doar valorile variabilelor pe care le partajează și valorile proprii de utilitate obținute pentru fiecare combinație a valorilor variabilelor comune.

În timpul procesului de formare a lanțului de aprovizionare, fiecare agent dorește să-și maximizeze funcția de utilitate sub constrângerile furnizorilor care stau la baza lanțului de aprovizionare, astfel încât utilitatea obținută de un agent individual, $U(v)$ va depinde de funcția de utilitate proprie și de stările agenților din nivelele inferioare ale lanțului de aprovizionare. Numărul de variabile din cadrul funcției de utilitate

poate fi diferit de la un agent la altul, dar doi agenți care doresc să stabilească o relație comercială împărtășesc cel puțin o variabilă comună în funcțiile lor de utilitate.

Scopul algoritmului MCP-BP este de a găsi o alocare în graficul original reprezentând lanțul optim de aprovizionare. O alocare este un subgraf $(X', E') \subseteq (X, E)$. Pentru X_i, X_j în V' , un arc între X_i și X_j reprezintă un schimb comercial de bunuri între agentul X_j care oferă bunuri agentului X_i .

Evaluăm lanțul optim de aprovizionare, ca fiind cel care oferă consumatorului final cea mai mare utilitate, în limitele constrângerilor furnizorilor care stau la baza acestuia. Pentru a rezolva problema de mai sus, considerăm că funcțiile de utilitate sunt factori și propunem transformarea grafului original într-un model bazat pe grafuri - un graf cluster. Pentru această transformare vom înlocui arcele orientate cu unele neorientate în graful inițial și vom considera clusterelor având sub jurisdicție variabilele funcției de utilitate a fiecărui agent. Vom folosi fundamentele teoretice referitoare la modelele bazate pe grafuri prezentate în capitolul 4.

Pentru a menține mecanismul descentralizat de formare a lanțului de aprovizionare și pentru a păstra topologia grafurilor inițiale, creăm un cluster pentru fiecare agent și atribuim factorii corespunzători funcției sale de utilitate clusterului său asociat. Graful rezultat va fi un graf cluster în care nodurile sunt clusterelor $C_i \subseteq \{I_1, I_2, \dots, I_n\}$ și un arc între un cluster C_i și un cluster C_j este asociat cu o submulțime $S_{i,j} \subseteq C_i \cap C_j$. Submulțimea $S_{i,j}$ conține parametrii comuni în legătură cu care agenții sunt interesați să schimbe informații și să ajungă la un acord, pentru a forma lanțul de aprovizionare. Numărul de variabile din funcțiile utilitate poate fi diferit pentru două clusterelor adiacente și poate include variabile subiective asupra cărora participanții nu schimbă informații. Pentru a elimina variabilele despre care clusterelor nu schimbă informații, realizăm un proces cu mai multe etape, în care la fiecare pas:

- (a) Variabilele despre care cele două clusterelor adiacente nu schimbă informații sunt eliminate prin maximizarea factorilor, pentru a genera un nou factor λ_i cu un domeniu mai mic. λ_i este folosit pentru calculul altor factori.
- (b) Un factor nou τ_i este creat prin însumarea dintre factorul clusterului inițial adiacent și noul factor generat mai mic λ_i .

Având în vedere procesul de mai sus în ceea ce privește transmiterea mesajelor, factorii λ_i reprezintă mesaje generate de clusterul τ_i și trimise către un alt cluster τ_j . Acești factori mai mici λ_i care sunt produși de τ_i și consumați de τ_j dau mesajele care sunt transmise între cei doi agenți.

Conectând toate componentele descrise mai sus, în continuare vom descrie algoritmul Multiple Contract Parameters Belief Propagation (MCP-BP) pentru formarea lanțului de aprovizionare:

- (a) Crearea unui cluster C_i pentru fiecare posibil participant din lanțul de aprovizionare X_i
- (b) Construirea factorilor inițiali $\Theta_k = U_k(v)$, considerând funcțiile de utilitate ca factori
- (c) Atribuirea fiecărui factor Θ_k unui cluster C_k astfel încât $Scope[\Theta_k] \subseteq C_k$
- (d) Pentru fiecare posibil subgraf reprezentând o alocare (începând de la furnizori se la nivelurile inferioare către consumatorul final și invers)
 - i. Trimite mesajul dintr-un cluster C_x la un cluster C_y corespunzător ecuației:

$$\lambda(J)_{C_x \rightarrow C_y} = \max_{I \setminus J} \Theta_x(\bar{I}) \quad (5.1)$$

unde I este setul de variabile care sunt legate de factorul Θ_x , \bar{I} sunt stările comune pentru toate variabilele din I , J este setul de variabile care sunt partajate de clusterelor C_x și C_y

- ii. Evaluarea mesajelor primite de către clusterul C_y corespunzător ecuației

$$\tau = \Theta_y(\bar{I}') + \sum_{k \in N_y} \lambda_{C_k \rightarrow C_y}(J) \quad (5.2)$$

unde I' este setul de variabile care sunt legate de factorul Θ_y , \bar{I}' sunt stările comune pentru toate variabilele din I' , N_y sunt clusterelor vecine ale lui C_y

- (e) Evaluarea utilităților obținute de consumatorul final și găsirea alocării optime în lanțul de aprovizionare ca fiind cea care maximizează utilitatea consumatorului final

În capitolul următor, ne vom concentra pe formarea lanțului de aprovizionare și pe managementul riscului prezentând două studii de caz. Pentru a gestiona riscul în cadrul FLA, vom folosi principiul utilității maxime așteptate - descris în capitolul 4, acesta fiind fundamentul pentru mecanismul de luare a deciziilor în caz de incertitudine.

2. Performanța MCP-BP

În cele ce urmează, prezentăm o analiză referitoare la cerințele maxime de memorie pentru stocarea preferințelor agentului și cerințele maxime de comunicare în ceea ce privește schimbul de mesaje în algoritmul propus MCP-BP.

Cerințe de memorie: Fiecare agent are nevoie să stocheze preferințele asupra stărilor variabilelor care fac parte din funcția sa de utilitate. Fie i numărul maxim de variabile din funcția de utilitate și k numărul maxim de stări pentru fiecare variabilă. Prin urmare, cerințele în ceea ce privește memoria necesară unui agent pentru a stoca preferințele este $\Theta(k^i)$. E necesar a observa că cerințele de memorie depind doar de numărul de parametri și de numărul de stări pentru fiecare parametru. Urmărind literatura de specialitate privind contractele din lanțul de aprovizionare prezentate în capitolul 2, numărul maxim de parametri pentru un contract este de aproximativ opt. Preferințele fiecărui agent asupra stărilor variabilelor sunt modelate folosind funcții de utilitate, iar preferințele lor sunt același indiferent de numărul de agenți care vor participa la lanțul de aprovizionare. Prin urmare, putem spune că abordarea noastră este scalabilă.

Cerințe de comunicare: Doi agenți care sunt interesați de stabilirea unei relații comerciale schimbă mesaje cu privire la variabilele pe care le partajează în funcțiile lor de utilitate. Fie j numărul maxim de variabile partajate între doi agenți, dimensiunea mesajului va fi $\Theta(k^j)$. Fie p numărul de subgrafuri posibile de alocare și fie n numărul maxim de agenți din fiecare subgraf posibil de alocare. Numărul de mesaje trimise de la furnizorii de la nivelurile inferioare către consumatorul final este de $(n - 1)$. Numărul de mesaje trimise de consumator către furnizori este de asemenea $(n - 1)$. Prin urmare, cerințele de comunicare pentru mecanismul de formare a lanțului de aprovizionare este $\Theta(p * 2 * (n - 1) * k^j)$

În cele ce urmează prezentăm evaluarea empirică a cerințelor de memorie și comunicare pentru rețelele topologice: Simple, Two consumers, Greedy Bad, Unbalanced, Many Consumers utilizate ca referință în literatura existentă (Walsh et al. 2000).

Pentru experimentele noastre am folosit două tipuri de seturi de date:

- (a) seturi de date pe care le-am numit "puțini parametrii" care au 2-3 parametri în funcțiile de utilitate cu 1-2 parametri partajați între ei.
- (b) seturi de date pe care le-am numit "mulți parametrii" care au 7-8 parametri în funcțiile de utilitate cu 5-6 parametri partajați între ei.

Pentru fiecare set de date cu "puțini parametrii" și "mulți parametrii" am stabilit parametrii pe care fiecare participant este interesat să îi includă în contractele din lanțul de aprovizionare. Apoi, pentru fiecare tip de rețea, am generat seturi de date cu valori aleatorii pentru funcțiile de utilitate ale fiecărui participant din rețea. Apoi, am creat fișiere conform structurii fișierelor LibDAI (Mooij 2010) pe care le-am încărcat în platforma de tip cloud DataBricks pentru a rula experimentele noastre. Figurile 5.1 și 5.2 descriu cerințele de memorie pentru stocarea preferințelor pentru cele două tipuri de seturi de date. Acestea arată că memoria necesară pentru stocarea preferințelor crește cu numărul de parametri din funcțiile de utilitate. În scenariile de utilizare reale, în majoritatea cazurilor, numărul de parametri utilizați nu depășește opt parametrii, deci putem concluziona că aceasta este limita maximă de memorie pentru topologiile analizate când toți parametrii au două stări.

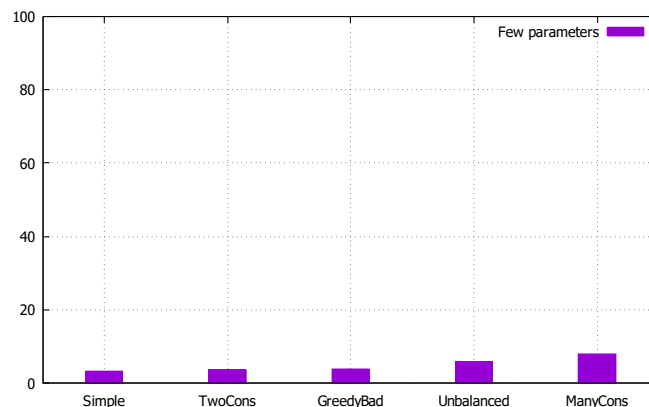


Figure 5.1: Cerințele de memorie (KB) pentru stocarea preferințelor - puțini parametrii

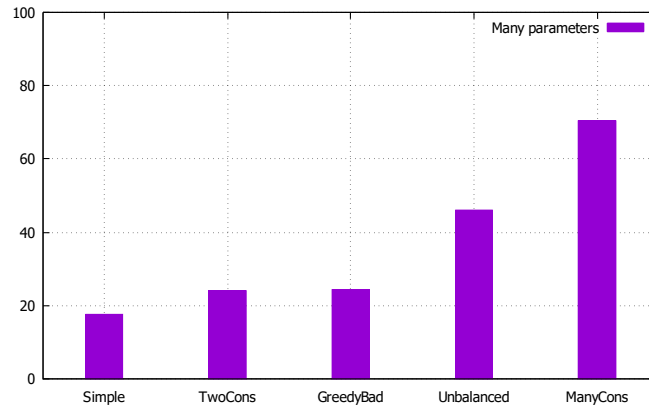


Figure 5.2: Cerințele de memorie (KB) pentru stocarea preferințelor - mulți parametri

Figura 5.3 și 5.4 arată că cerințele de comunicare cresc în funcție de numărul de parametri partajați. În figura 5.4 numărul parametrilor partajați este de 5-6 față de 1-2 în figura 5.3, astfel că cerințele de comunicare sunt mai mari. Cu toate acestea, în scenariile de utilizare reale, cele mai multe contracte au aproximativ maxim opt parametri, în consecință numărul mediu de parametri ar fi aproximativ șase, deci putem spune că cerințele de memorie pentru tipurile de lanț de aprovizionare descrise în figura 5.4 reprezintă limita maximă atunci când numărul parametrilor contractuali ai entităților implicate în lanțul de aprovizionare este de 7-8. Numele rețelelor prezentate pe axa x în 5.1 și 5.4 corespund rețelelor descrise în (Walsh & Wellman 2003), acestea fiind de referință în literatura FLA.

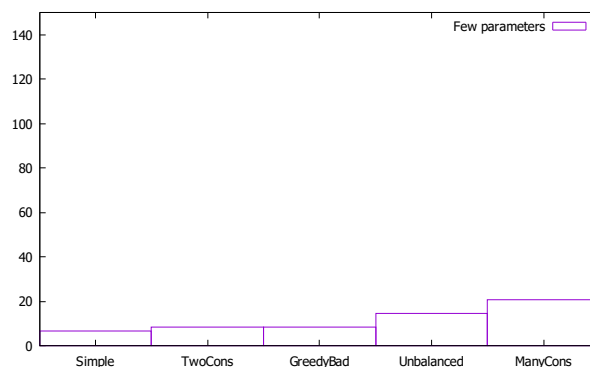


Figure 5.3: Communication requirements(KB) - few parameters

3. Avantajele MCP-BP relativ la literatura existentă

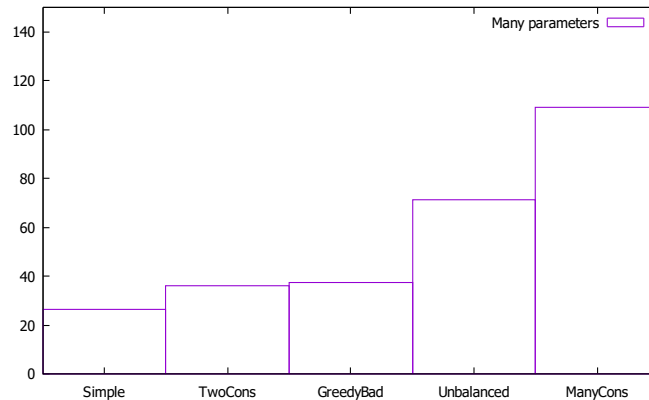


Figure 5.4: Communication requirements(KB) - many parameters

Abordarea propusă este capabilă să furnizeze într-un cadru descentralizat următoarele avantaje față de cele mai recente abordări:

- (a) Oferă posibilitatea de a încorpora mai mulți parametrii contractuali, reprezentând astfel un candidat puternic pentru scenariile de utilizare reale.
- (b) Extinde abordarea miopică pentru evaluarea lanțului optim de aprovizionare. Abordările anterioare evaluează lanțul de aprovizionare optim bazat pe diferența dintre valorile de vânzare și costurile de producție, în timp ce abordarea propusă evaluează lanțul optim de aprovizionare utilizând funcții de utilitate. În scenariile de utilizare reale preferința pentru un lanț de aprovizionare sau altul depinde de multiple aspecte care implică diverși parametrii contractuali care trebuie agreeți între participanții din lanțul de aprovizionare, dar și parametrii subiectivi specifici fiecărui participant.
- (c) Abordarea propusă vine în întâmpinarea limitărilor abordărilor anterioare în scenarii care implică produse complementare. În structurile de rețea în care existau produse complementare, soluțiile furnizate de abordările anterioare erau capabile să satisfacă doar un singur consumator la un moment dat. Mecanismul nostru de codificare și transmitere a mesajelor peste graful cluster înlătură această limitare și este capabilă să ofere soluții care sunt satisfac mai mulți consumatori.
- (d) Codificarea utilizată în abordarea noastră abordează aspectele legate de soluțiile sub-optimale obținute în abordările anterioare în scenariile cu deficit de resurse. Astfel, atâta timp cât cantitățile cerute de producătorii de niveluri superioare

nu depășesc capacitățile de producție, MCP-BP este capabilă să furnizeze soluții optime chiar și în scenarii care prezintă deficit de resurse.

- (e) Oferă posibilitatea de a încorpora riscul în evaluarea lanțului optim de aprovizionare utilizând utilitatea maximă așteptată. În capitolul 6, prezentăm în două studii de caz modul în care riscul poate fi încorporat în mecanismul de luare a deciziilor.
- (f) Prin utilizarea funcțiilor de utilitate pentru a codifica opțiunile participanților, abordarea propusă este capabilă să încorporeze parametrii contractuali multipli, preferințele fiind independente de numărul de participanți din rețea. Cerințele de memorie depind de numărul de parametrii contractuali și de numărul de stări ale acestor parametri, prin urmare abordarea noastră este scalabilă chiar și în piețe caracterizate printr-un grad ridicat de concurență
- (g) Dimensiunea mesajului depinde de numărul de parametri partajați în contractul dintre doi participanți. Dimensiunea mesajului în abordarea propusă ar putea fi mai mare decât în alte abordări, cum ar fi RB-LBP, deoarece încorporează mai mulți parametri, dar numărul de mesaje schimbate între doi participanți este mai mic, ca urmare a codificării problemei SCF într-un graf cluster.

Trebuie să notăm că abordarea noastră oferă mai multe avantaje față de cele mai recente abordări, dar poate avea o performanță scăzută atunci când parametrii contractului iau valori pe domenii continue. Memoria necesară pentru stocarea preferințelor participanților și a cerințelor de comunicare va crește odată cu dimensiunea domeniului parametrilor implicați în funcțiile de utilitate ale participanților din lanțul de furnizare.

Capitolul 6

Studii de caz

În acest capitol prezentăm două studii de caz, pentru a ilustra modul în care poate fi folosit în scenarii reale algoritmul propus în capitolul 5 precum și modul în care poate fi încorporat riscul în mecanismul de luare al deciziilor. Cele două cazuri prezintă scenarii din industrii diferite, având o durată de viață diferită pentru lanțul de aprovizionare. Pentru proiectul de dezvoltare sistem IT, lanțul de aprovizionare are o durată de viață limitată, în timp ce studiul de caz privind industria petrolieră, consideră lanțul de aprovizionare într-un context de operare repetitivă. În plus, poziția în lanțul de aprovizionare a entităților pe care se concentrează cele două studii de caz este diferită. În primul studiu de caz, agentul se află în partea de sus a lanțului de aprovizionare, în timp ce în cel de-al doilea studiu de caz agentul se află în mijlocul lanțului de aprovizionare, deoarece în studiul de caz ne concentrăm asupra unei rafinării.

1. Proiecte pentru dezvoltare sisteme IT complexe

Complexitatea crescută a proiectelor oferă noi provocări în ceea ce privește managementul și dezvoltarea acestora. În scenariile de dezvoltare de proiecte complexe în care rezultatul este compus din mai multe componente, garantarea cerințelor contractuale specifice pentru contractantul principal al proiectului este o adevărată provocare. Studiul de caz propus propune abordarea acestei complexități și a problemelor emergente care decurg din aceasta. Considerăm scenariul unui proiect complex de dezvoltare sistem informatic, acesta fiind văzut ca o "colecție în ansamblu" a diferitelor componente tehnologice de nivel înalt, cum ar fi componentele software, componentele sistemelor de gestionare a bazelor de date, componentele de comunicații, componentele de securitate și conexiunile dintre ele. Aceste componente sunt furnizate de

subcontractanți, deoarece sistemul informatic în ansamblu nu poate fi furnizat de un antreprenor principal. Subcontractanții acționează într-un context global.

O problemă emergentă în scenariul menționat mai sus este luarea deciziilor compuse. Pentru a aborda situația complexă de luare a deciziilor care apare în scenariile de dezvoltare de proiecte complexe, propunem utilizarea funcțiilor de utilitate ca mijloc de încorporare în contractele agreate, atât a costului cât și a unor parametri precum: calitate, constrângeri de livrare etc.

O a doua problemă care rezultă din complexitatea sporită a sistemelor informatice este creșterea riscurilor. De exemplu, contractantul principal ar putea avea o clauză de penalizare în contractul său cu clientul principal pentru fiecare zi de întârziere în livrare. Este adesea dificil a decide pentru contractantul principal care este subcontractorul potrivit pentru a atribui o activitate critică. Este dificil a se anticipa dacă alocarea acestuia unui subcontractant fiabil, cu prețuri mai ridicate, are avantaje față de atribuirea acestuia unui subcontractant cu prețuri mai scăzute, care promite, de asemenea, îndeplinirea sarcinii, deși am putea suspecta că s-ar putea să nu fie capabil să o facă. Astfel, în locul tehnicilor tradiționale de analiză a riscurilor și de modelare, cum ar fi valoarea monetară așteptată, propunem utilizarea utilității așteptate pentru a încorpora riscul în luarea deciziilor.

Figura 6.1 descrie influența asupra utilității așteptate μ a riscului variabil și a acțiunii contractantului principal (opțiunea pe care o face asupra partenerilor potențiali).

Fiecare agent partajează variabilele de stare cu potențialii parteneri din lanțul de aprovizionare (I_1, I_2, \dots, I_k) . Variabila de acțiune care este diferită de variabilele de stare oferă mijloace agentului de a alege între parteneri care maximizează utilitatea așteptată a acestuia. În mecanismul de luare a deciziilor propus, variabila de risc ia forma unei distribuții de probabilitate (notată $P(y|a)$), care încorporează experiența anterioară a agentului în realizarea unor sarcini similare, reputația agentului etc. .

2. Industria petrolieră

Studiul de caz actual analizează problema formării lanțului de aprovizionare și a managementului riscurilor în industria petrolieră. Această industrie are o poziție strategică, deoarece reprezintă baza pentru alte activități economice din orice țară. Industria petrolieră se confruntă cu costuri volatile ale stocurilor de materii prime, prețuri

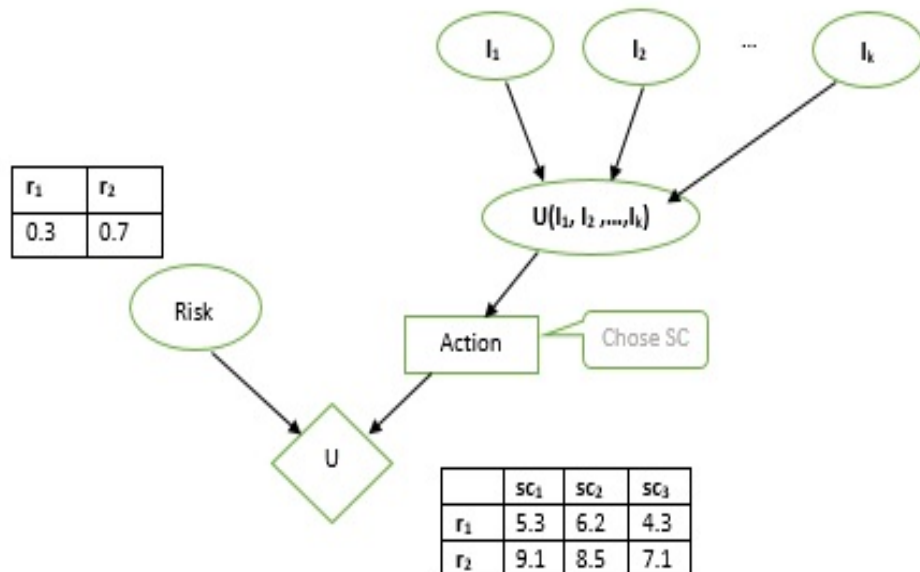


Figure 6.1: Diagrama de influență pentru un proiect de dezvoltare sistem informatic complex (Covaci et al. 2017)

ciclice ale produselor și cerere sezonieră variabilă pentru produsele finite. Considerăm că poziția unei rafinării deoarece acesta se află la mijlocul lanțului de aprovizionare integrat al industriei petroliere. Aceasta achiziționează țiței brut, evaluând prețul, calitatea, timpul de livrare și distanța până la rafinărie pentru a decide achiziția optimă. În plus, rafinăria monitorizează evoluția prețurilor și gestionează stocurile proprii. Activitățile de producție a rafinăriilor necesită o planificare și programare aprofundată a nivelurilor de producție utilizând instrumente de luare a deciziilor pentru a estima oportunitățile de piață și amenințările în condițiile volatile ale pieței.

Modelarea mecanismului decizional pentru o rafinărie este bazat pe diagrama de influență din Figura 6.2 luând în considerare incertitudinile legate de prețurile țițeiului și cererea de produse petrochimice.

Prețul petrolului brut și cererea estimată sunt sub forma unei distribuții de probabilitate. Variabila preț indică probabilitatea ca prețul țițeiului să crească, să scadă sau să rămână la același nivel (p_0, p_1, p_2). Variabila aferenta cererii de produse petroliere indică probabilitatea evoluției cererii (d_0, d_1, d_2) pentru produsele petrochimice atunci când prețul materiei prime se va schimba și este notată cu $P(d|p)$. Introducem o vari-

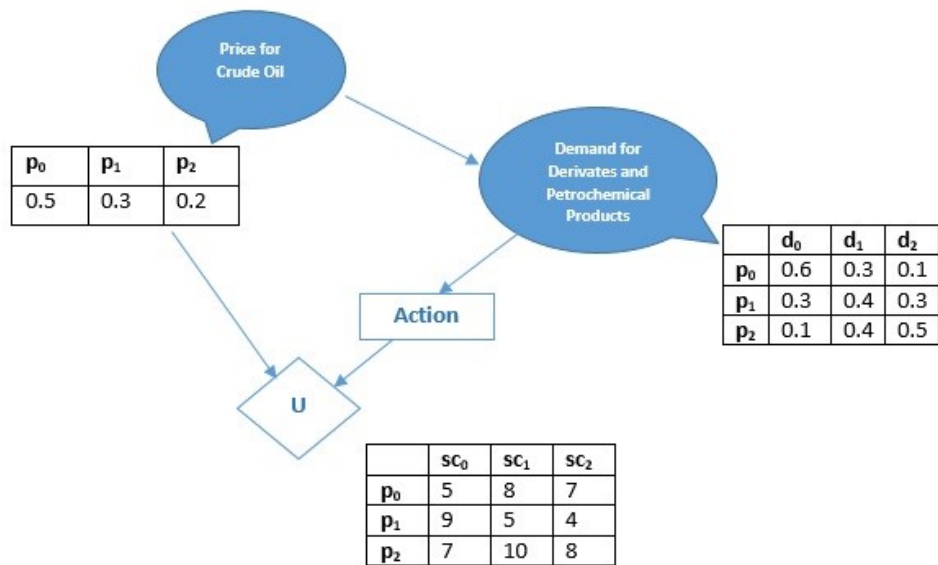


Figure 6.2: Diagrama de influența pentru o rafinărie

abilă de acțiune care oferă o regulă de decizie δA la nodul de acțiune A (Action), care este distribuția probabilistică condiționată $P(A|Parents(A))$. Părinții nodului (A) sunt variabilele pe care agentul le-a observat înainte de a lua o decizie, în exemplul de mai jos fiind evoluția estimată a cererii ($P(A|d)$). Prin urmare, variabila de acțiune furnizează agentului o situație de decizie D și agentul va alege din setul de acțiuni posibile cel care maximizează utilitatea așteptată.

Studiile de caz prezentate în două scenarii complet diferite subliniază flexibilitatea mecanismului propus, prin urmare abordarea noastră poate fi aplicată în orice rețea de producție sau servicii care descompune activități sau utilizează relații de schimb care se întind pe mai multe nivele.

Capitolul 7

Concluzii și direcții viitoare de cercetare

Așa cum am subliniat în capitolul 3, problema formării lanțului de aprovizionare (FLA) a fost intens discutată în literatura de specialitate referitoare la sistemele multi-agent, fiind propuse mai multe abordări. Pe baza unei revizuirii a literaturii, a fost posibil să realizăm un cadru teoretic pentru formarea automată a lanțului de aprovizionare cuprinzând trei dimensiuni:

- Abordarea utilizată în ceea ce privește existența unei autorități centrale
- Tehnicile utilizate pentru schimbul de informații între entitățile din lanțul de aprovizionare
- Utilizarea a unuia sau a mai multor unități pentru produsele tranzacționate.

Mai mult, am identificat următoarele limitari și probleme importante din literatura existentă privind formarea lanțului de aprovizionare:

- Parametrii utilizați în vederea stabilirii unor relații contractuale furnizori - consumatori sunt limitați, de obicei, numai la preț și, uneori, la numărul de unități pentru mărfurile tranzacționate.
- Automatizarea formării lanțului de aprovizionare reprezintă o problemă complexă de coordonare a firmelor care trebuie să negocieze simultan relațiile de producție la mai multe nivele ale lanțului de aprovizionare, dar în literatura existentă lanțurile de aprovizionare rezultate sunt evaluate numai prin utilizarea unei funcții de optimizare a profitului pentru consumatorul final.

- Nu sunt luate în considerare posibilele riscuri asociate entităților participante din lanțul de aprovizionare.

La baza revoluției industriale 4.0 se află lanțul de aprovizionare digitală, fiind o componentă cheie pentru operațiunile unei companii producătoare sau de distribuție. Digitizarea lanțurilor de aprovizionare necesită algoritmi inteligenți și eficienți care să capteze complexitatea scenariilor reale și care sunt capabili să creeze mecanisme inovatoare care să conecteze furnizorii și consumatorii.

Teza actuală propune un mecanism descentralizat pentru problema formării lanțului de aprovizionare. Spre deosebire de abordările anterioare descentralizate, abordarea noastră traduce problema optimizării FLA nu ca o problemă de maximizare a profitului, ci ca o maximizare a utilității. Prin urmare, acesta încorporează mai mulți parametri și utilizează funcții de utilitate pentru a găsi lanțul optim de aprovizionare. Abordarea curentă este mai apropiată de scenariile de utilizare reale decât abordările anterioare care folosesc doar costul ca mijloc pentru stabilii relații comerciale între agenți, deoarece folosesc funcții de utilitate pentru entitățile din lanțul de aprovizionare în vederea luării deciziilor. În plus, abordarea noastră depășește limitele abordărilor anterioare prin furnizarea de mijloace pentru a trata produsele complementare și scenariii cu deficit de resurse. De asemenea, oferă mijloace pentru a încorpora riscul în situațiile de luare a deciziilor în condiții de incertitudine.

Limitarea abordării noastre se manifestă în situațiile în care parametrii pot să ia valori pe domenii continue. În aceste cazuri, stocarea preferințelor pentru fiecare agent va necesita o cantitate considerabilă de memorie, abordarea propusă confruntându-se cu probleme de eficiență. Ca direcție viitoare de cercetare intenționăm să îmbunătățim performanța mecanismului propus în scenariii cu parametrii care iau valori peste un domenii continue.

Referințe

- Arshinder, Kanda, A. & Deshmukh, S. (2008), ‘Supply chain coordination: Perspectives, empirical studies and research directions’, *International Journal of Production Economics* **115**(2), 316 – 335.
URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527308001904>
- Behzad, H. & Wiesaw, K. (2010), ‘Coordinating contracts in scm: A review of methods and literature’, *Decision Making in Manufacturing and Services* **4**, 5–28.
- Bishop, C. M. (2006), *Pattern recognition and machine learning*, Springer, New York.
- Covaci, F. L. (2017), Industry 4.0 - towards automated supply chain formation, in M. Schoop & M. D. Kilgour, eds, ‘Doctoral Consortium of the 17Th International Conference on Group Decision and Negotiation’, Vol. 17-2017 of *Hohenheim Discussion Papers In Business, Economics and Social Sciences*, pp. 27–36.
- Covaci, F. L., Bologa, C. S. & Silaghi, G. C. (2017), Expected utility and risk management in complex projects, in N. Paspallis, M. Raspopoulos, C. Barry, M. Lang, H. Linger & C. Schneider, eds, ‘Proceedings of the 26th International Conference on Information Systems Development (ISD2017)’, Association for Information Systems, pp. 1–9.
- Fishburn, P. C. (1968), ‘Utility theory’, *Management Science* **15**(5), 335–378.
- Hohn, M. (2010), *Relational Supply Contracts - Optimal Concessions in Return Policies for Continuous Quality Improvements*, Springer.
- Koller, D. & Friedman, N. (2009), *Probabilistic graphical models: principles and techniques*, MIT Press.
- Kreps, D. A. (1990), *A course in microeconomic theory*, Princeton University Press.
- Mooij, J. M. (2010), ‘libdai: A free and open source c++ library for discrete approximate inference in graphical models’, *Journal of Machine Learning Research* **11**, 2169–2173.
URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1756006.1859925>

- Shafer, G. & Shenoy, P. (1990), ‘Probability propagation’, *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence* **2**(1-4), 327351.
- Tsay, A. (1999), ‘The quantity flexibility contract and supplier-customer incentives’, *Management Science* **45**, 1339–1358.
- Wainwright, M. J. & Jordan, M. I. (2008), *Graphical Models, Exponential Families, and Variational Inference*, Now Publishers Inc.
- Walsh, W. E. & Wellman, M. P. (2003), ‘Decentralized supply chain formation: A market protocol and competitive equilibrium analysis’, *Journal of Artificial Intelligence Research* **19**, 513–567.
- Walsh, W. E., Wellman, M. P. & Ygge, F. (2000), Combinatorial auctions for supply chain formation, *in* ‘Proceedings of the 2nd ACM Conference on Electronic Commerce’, ACM, pp. 260–269.
- URL:** <http://doi.acm.org/10.1145/352871.352900>