

**UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI**

FACULTATEA DE

MATEMATICĂ ȘI INFORMATICĂ

**FUZIONAREA ONTOLOGIILOR**

*Pagini Web Semantice*

**Student:**

*Cozma Laura-Elena, grupa 505*

**Profesor:**

*Conf. dr. Tătărâm Sanda Monica*

*Baze de Date și Tehnologii Software*

*Aprilie, 2023*

ABSTRACT

Web-ul Semantic poate fi văzut drept o extensie a Web-ului, care dorește să ofere o modalitate mai structurată și mai semnificativă în partajarea și schimbul de informații, prin construirea unui conținut semnificativ din punct de vedere semantic, în limbaj mașină, permițând calculatoarelor să înțeleagă semnificația informațiilor prezentate pe Web. Ontologiile constituie o reprezentare formală, concepută în vederea structurării și partajării cunoștințelor dintr-un anumit domeniu, și sunt utilizate la scară largă ca mijloc de structurare conceptuală a sferelor de interes.

Fuzionarea ontologiilor este văzută drept punct de referință în dezvoltarea Web-ului semantic, ce stă la baza cercetărilor din domeniul ontologic, întrucât implică integrarea ontologiilor multiple, între care pot apărea suprapuneri de cunoștințe sau poate chiar conflicte între definițiilor conceptelor sau ale relațiilor. Pe măsură ce ontologiile cresc în dimensiune și complexitate și disponibilitatea acestora pe internet se dezvoltă constant, nevoia acestora în aplicații se intensifică. Însă o singură ontologie nu este suficientă pentru a constitui fundamentul problemelor actuale într-un mediu distribuit precum Web-ul Semantic. Astfel, sunt necesare ontologii multiple care vor fi accesate de aplicații diferite.

Dezvoltarea ontologiilor fuzionate a reprezentat un punct central într-un număr considerabil de lucrări științifice de-a lungul anilor. Acest proces este unul complex, necesitând intervenții ale tehnicilor adiacente în vederea alinierii și reconcilierii ontologiilor, precum maparea acestora. Succesul fuzionării ontologiilor conduce la un Web semantic interoperabil și mai cuprinzător, facilitând partajarea și reutilizarea cunoștințelor în cadrul aplicațiilor din diferite domenii. Alături de avantajele aduse de *ontology merging,* metoda prezintă și anumite provocări tehnice și conceptuale care necesită dezvoltare și cercetare ulterioară.

Această lucrare va avea drept punct central procesul de fuzionare a ontologiilor și va evidenția modul în care acesta poate fi folosit în Web-ul semantic pentru a dezvolta o reprezentare exactă și cuprinzătoare a cunoștințelor, toate acestea conducând la o integrare, partajare și identificare mult mai eficientă a informațiilor pe Web. Totodată, vom analiza instrumentele semi-automate care facilitează *ontology-merging*, împreună cu provocările și limitările acestui proces în Web-ul semantic, incluzând eterogenitatea semantică, scalabilitatea și evoluția în complexitate.

Cuprins

[1. Introducere 4](#_Toc131333700)

[2. Fuzionarea ontologiilor 5](#_Toc131333701)

[2.1. Context 5](#_Toc131333702)

[2.2. Definirea procesului 5](#_Toc131333703)

[2.3. Avantajele fuzionării ontologiilor 6](#_Toc131333704)

[2.4. Terminologie 6](#_Toc131333705)

[3. Tipuri de fuzionări de ontologii 8](#_Toc131333706)

[3.1. Simple Merge 8](#_Toc131333707)

[3.2. Complete Merge 9](#_Toc131333708)

[4. Instrumente de fuzionare a ontologiilor 10](#_Toc131333709)

[4.1. PROMPT 10](#_Toc131333710)

[4.2. OntoMerge 11](#_Toc131333711)

[4.3. Chimaera 11](#_Toc131333712)

[5. Provocările întâlnite în procesul de fuzionare 12](#_Toc131333713)

[6. Concluzii 14](#_Toc131333714)

[Bibliografie 15](#_Toc131333715)

[Listă de figuri 18](#_Toc131333716)

# Introducere

Creșterea exponențială a datelor și a utilizatorilor internetului, împreună cu dezvoltarea afacerilor în mediul online, au necesitat dezvoltarea unei modalități de extragere a informației eficientă, ce poate administra cantități vaste de date, din care pot deriva noi cunoștințe. În acest sens, a fost dezvoltat Web-ul Semantic, care vine în soluționarea acestei probleme, sub forma unei rețele de cunoștințe, care îmbogățește Web-ul existent cu un strat de metadate ce pot fi interpretate și procesate de mașină, astfel că un computer va putea întelege și răspunde rapid solicitărilor umane complexe, având ca bază semnificația acestora. [1] Extinderea standardelor semanticii și, totodată, a unui web mai inteligent, determină îmbunătățirea experiențelor utilizatorului, astfel că orice informație pe care acesta o solicită sau o încarcă online, va putea fi interpretată de mașini, înțeleasă și conectată.

Acest nivel de înțelegere necesită structurarea semantică a surselor relevante de informații, proces ce poate fi unul anevoios. Ontologiile sunt considerate ca fiind cea mai bună metodă de a partaja și comunica informația între oameni și mașini, în contextul Web-ului Semantic. [2] Structurile lor subadiacente permit procesarea și înțelegerea informației de către mașini, prin dezvoltarea unui vocabular comun ce exprimă metadatele fiecărei resurse web, structurând conceptual domenii de interes.

Odată cu creșterea interesului în utilizarea ontologiilor, problema suprapunerii cunoștințelor într-un domeniu comun a apărut în mod frecvent, devenind totodată o situație critică. Ontologiile sunt definite într-un domeniu specific, ulterior fiind modelate sub diverse cerințe de autori multipli. Nevoia de a construi noi ontologii, în domenii similare, prin fuzionarea resurselor, reprezintă cheia spre accesul universal către cunoștințele pluridisciplinare. Procesul de fuzionare a ontologiilor constă în crearea unei ontologii fuzionate, având la bază două sau mai multe ontologii sursă. Acest subiect a fost îndelung analizat, întrucât o abordare manuală, folosind un mediu de dezvoltare convențional, fără a avea suport automatizat, prezintă dificultate și este supusă la erori.

Având contextul definit anterior, lucrarea va fi organizată după cum urmează: prima parte se va axa pe definirea procesului de fuzionare a ontologiilor și a noțiunilor adiacente implicate din semantica web. A doua parte prezintă cele două tehnici de *ontology merging, Simple Merge* (sau *Bridge Ontology*) și *Full Merge* (sau *Complete Merge*). În continuare, partea a treia se dezvoltă în jurul instrumentelor semi-automate existente pe piață, exemplificând *PROMPT*, *OntoMerge* și *Chimaera*, care facilitează procesul de fuzionare. În cele din urmă, lucrarea va prezenta provocările și limitările *ontology merging*, care necesită cercetare și dezvoltare continuă.

# Fuzionarea ontologiilor

## Context

Pentru ca Web-ul Semantic să beneficieze de toate capabilitățile sale, limbajul construit nu trebuie numai să codifice informația, ci să aibă posibilitatea și de a deriva noi cunoștințe. În vederea soluționării acestei probleme, este necesară îmbinarea mai multor informații, care pot avea domenii diferite, pentru a se extrage cunoștințe noi ce nu fuseseră codificate în reprezentările informațiilor folosite ca input. Reutilizarea unor ontologii existente reprezintă adesea un impediment, fiind posibilă numai în urma depunerii unui efort considerabil. Pentru ca acest proces să fie posibil, trebuie formulată o metodă de a combina ontologiile, în continuare fiind prezentată ca *fuzionarea ontologiilor*.

## Definirea procesului

Fuzionarea ontologiilor, sau *ontology merging*, se referă la integrare a două sau mai multe ontologii, care pot fi descrise ca reprezentări structurate ale informațiilor, într-o singură ontologie. Scopul acesteia este de a crea o reprezentare completă și îmbogățită a cunoștințelor dintr-un domeniu dorit, astfel ca tot potențialul Web-ului să poată fi dezvăluit. Înainte ca două ontologii să poată fi fuzionate, între conceptele din care acestea sunt compuse trebuie găsită o corespondență, pentru a stabili zonele din ontologii care se suprapun. Pentru ca acest pas să aibă loc, trebuie definit un proces prin care două concepte din două surse diferite pot fi considerate similare, iar ulterior pot fi legate cu ajutorul unei relații de echivalență, în continuare fiind prezentat ca *ontology mapping.* Ulterior procesului de corespondență, trebuie ca ontologiile să treacă prin procesul de *ontology alignment.* Astfel că se va găsi o reprezentare comună spre care ambele ontologii să agreeze, urmând ca ontologiile să fie modificate pentru a corespunde reprezentării identificate. [3] În cele din urmă, ontologia rezultată în urma fuzionării trebuie să fie coerentă, consistentă și să nu conțină redundanță.

În acest sens, se pot identifica următorii pași necesari în desfășurarea procesului de *ontology merging* [4]:

* Găsirea zonelor din ontologii care se suprapun
* Relaționarea conceptelor similare din punct de vedere semantic, prin definirea relațiilor de echivalență
* Verificarea consistenței, coerenței și lipsa redundanței în rezultat

## Avantajele fuzionării ontologiilor

Odată cu procesul complex pe care îl implică fuzionarea ontologiilor, metoda vine și cu o serie de avantaje, care ajută la crearea unei reprezentări mai cuprinzătoare și consistente a unui domeniu de interes, precum:

* *Îmbunătățirea calității datelor -* prin fuzionarea ontologiilor se poate ajunge la îmbunătățirea calității datelor, facilitând identificarea și rezolvarea inconsistențelor, având mai multe surse de cunoaștere. Astfel, va exista o reprezentare mult mai precisă a domeniului analizat.
* *Integrarea cunoștințelor* - preluarea informațiilor din surse de date multiple și combinarea acestora oferă posibilitatea de a construi o reprezentare mai cuprinzătoare a unui domeniu de interes.
* *Reducerea duplicării datelor -* în urma procesului de *ontology merging*, termenii și relațiile duplicate, care sunt identificate ca suprapuneri, pot fi reduse, ducând la o reprezentare mai eficientă a cunoștințelor.
* *Sporirea interoperabilității -* fuzionarea ontologiilor poate accentua interoperabilitatea dintre diverse sisteme, prin facilitarea unui vocabular comun și a unei conceptualizări a domeniului.

## Terminologie

Împreună cu analiza problemei fuzionării ontologiilor, este necesară definirea termenilor adiacenți din semantica web utilizați în proces.

*Ontology mapping*

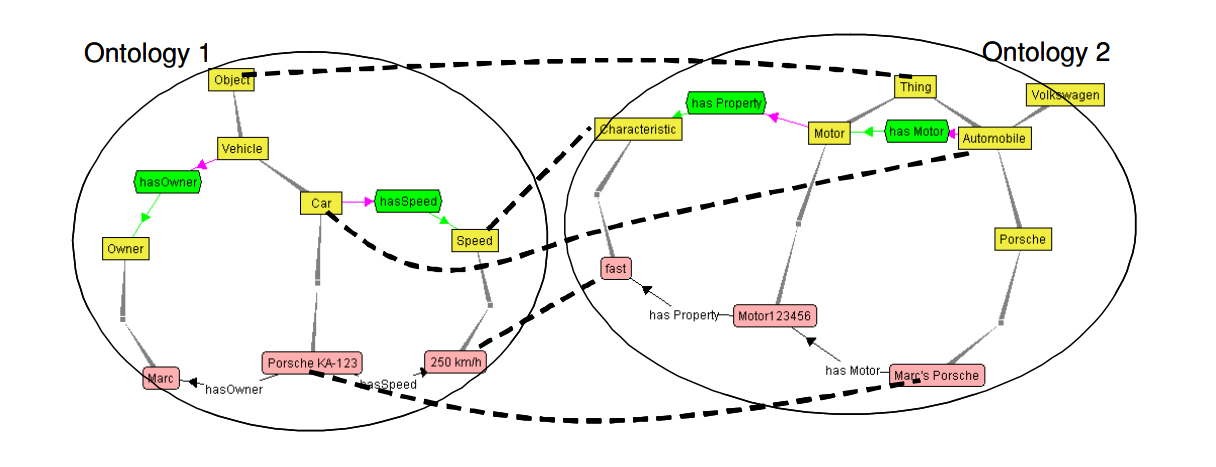
Corespondența ontologiilor este procesul prin care se relaționează concepte similare din surse diferite, cu ajutorul relațiilor de echivalență [5]. Aceasta implică identificarea corespondențelor între clase, indivizi, proprietăți și axiome dintre diverse ontologii și crearea unei mapări între acestea. În acest sens, trebuie definite și delimitate conceptele care se consideră similare. Corespondența ontologiilor este un punct de referință în oferirea accesului către date agregate extrase din diverse reprezentări de cunoștințe extrase din domenii specifice. În urma procesului de *mapping*, ontologiile sursă nu vor fi modificate.

Formalizând definiția anterioară, conform articolului „*Efficiency of Ontology Mapping Approaches”*, *Marc Ehrig și Steffen Staab* descriu procesul de corespondență a ontologiilor în următorul mod: „fiind date două ontologii *O1* și *O2*, maparea acestora într-o singură ontologie presupune ca pentru fiecare entitate (concept *C*, relație *R* sau instanță *I*) din ontologia *O1*, încercăm să găsim o entitate corespondentă, care are aceeași semnificație, în ontologia *O2.*” [6]

Următorul exemplu, preluat din articolul menționat anterior, oferă o imagine asupra *ontology mapping*. Cele două ontologii *O1* și *O2* au drept domeniu vânzările de automobile. Liniile punctate din figură reprezintă relațiile care se formează în urma corespondenței. Astfel, se va concluziona echivalența dintre următoarele concepte: *Car* și *Automobile*, *Speed* și *Characteristic*, *250 km/h* și *fast*, iar, în cele din urmă, *Porsche KA-123* și *Marc’s Porsche*.

Figură 2.1 Exemplu de ontology mapping.

Preluat din „Efficiency of Ontology Mapping Approaches” [6]



Corespondența ontologiilor are o importanță deplină în numeroase domenii, precum partajarea de date sau integrarea informațiilor. Datorită mediului distribuit pe care îl pune la dispoziție Web-ul Semantic, o singură ontologie nu poate fi suficientă pentru soluționarea problemelor apărute. Astfel, corespondența ontologiilor poate oferi un nivel comun prin care pot fi accesate mai multe ontologii și, totodată, ar facilita un schimb de informații robust din punct de vedere semantic.

*Ontology alignment*

Alinierea ontologiilor este procesul prin care se stabilește o serie de relații binare între vocabularele a două ontologii. Astfel, se identifică și rezolvă suprapunerile și diferențele în concepte și relații găsite în ontologii multiple. [7] Scopul alinierii ontologiilor este permiterea partajării cunoștințelor și interoperabilitatea între sisteme și aplicațiilor prin folosirea ontologiilor diferite.

Alinierea ontologiilor este un proces crucial în domeniul reprezentării cunoașterii din semantica web, permițând integrarea datelor și sistemelor eterogene, oferind un nivel comun de întelegere a termenilor. Tehnicile folosite implică compararea și identificarea corespondențelor dintre elemente, existând posibilitatea de a fi făcută atât manual, cât și automat, în funcție de resursele disponibile și complexitatea ontologiilor.

# Tipuri de fuzionări de ontologii

În continuare vor fi prezentate cele două tipuri identificate de fuzionări de ontologii, conform articolului „Ontology Integration: Approaches and Challenging Issues”.

## Simple Merge

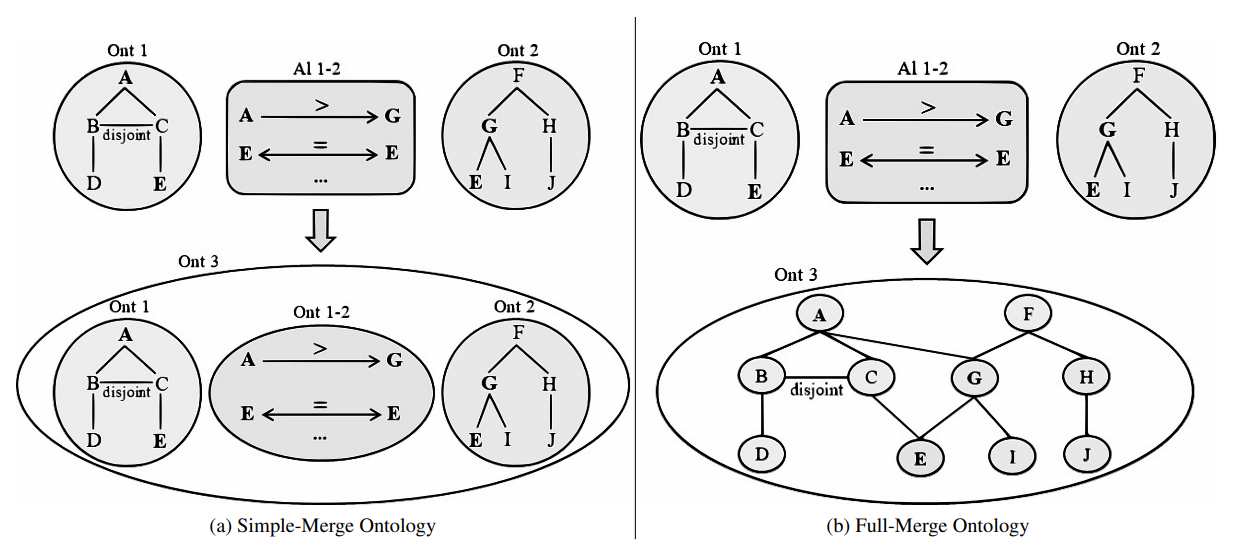
*Simple Merge*, sau *Bridge Ontology*, este o modalitate de fuzionare a ontologiilor, prin care ontologiile furnizate ca input sunt importate într-o nouă ontologie, care va reprezenta o unificare a ontologiilor inițiale, la care ulterior se adaugă axiome punte [2] care vor translata alinierea dintre acestea. Acestea se mai pot regăsi sub denumirea de *articulation axioms, semantic bridge* sau *articulations.* Corespondențele identificate din aliniament, pot fi percepute ca o nouă ontologie *OA*, numită *bridge ontology* sau *articulation ontology* [8]. În acest sens, putem defini procesul de *simple merge* sub următoarea formă: „fiind date ontologiile *O1*și *O2*, ontologia rezultat *O3*  poate fi văzută ca o uniune între *O1*, *O2* și *OA*, adică

*O3 = O1 ∪ O2 ∪ OA”* [2]*.* În această formă de fuzionare, entitățile echivalente pot fi duplicate în ontologia rezultată, dar vor fi corelate cu ajutorul axiomelor de echivalentă, astfel că nu pot fi considerate entități redundante. Din punct de vedere al instrumentele care folosesc în spate acest tip de implementare, un exemplu de acest tip este *OntoMerge,* care facilitează crearea unei ontologii de legătură, ce importă ontologiile inițiale și le corelează conceptele similare folosind *bridge axioms.*

## Complete Merge

*Complete Merge*, sau *Full Merge,* reprezintă o metodă de fuzionare a ontologiilor prin care ontologiile de input sunt importate în noua ontologie, iar pentru fiecare mulțime rezultată de entități echivalente, acestea sunt fuzionate într-o nouă entitate, ce păstrează toate descrierile și relațiile entităților inițiale, după cum poate fi observat în figura de mai jos.

Astfel, procesul de *complete merge* poate fi definit sub următoarea formă: „fiind date două ontologii *O1* și *O2,* ontologia fuzionată *O3* poate fi văzută ca: *O3 = O1 ∪ O2 = (O1 - O2 ) ∪ (O2 - O1 ) ∪ (O1 ∩O2)”* [2]*.* Axiomele ontologiei fuzionate, care își au originea în ontologiile ințiale, sunt actualizate prin înlocuirea fiecărei apariții a unei entități cu noua entitate fuzionată. În acest sens, fiecare axiomă în care apare numele unei entități care a fost supusă procesului de fuzionare, trebuie modificată prin înlocuirea vechiului nume al entității originale cu noul nume.

 Un exemplu important de instrument care utilizează această metodă de fuzionare este reprezentat de PROMP, care va fi analizat în detaliu în capitolul următor.

Figură 3.1 Simple-Merge Ontology vs. Full-Merge Ontology.

Preluat din „Ontology Integration: Approaches and Challenging Issues” [2]

# Instrumente de fuzionare a ontologiilor

Complexitatea procesului de fuzionare a ontologiilor poate fi redusă pentru utilizatori, prin dezvoltarea unor instrumente semi-automate care facilitează întreg procesul. În cadrul acestui capitol, vor fi prezentate o parte din cele mai utilizate tool-uri folosite în Web-ul Semantic pentru *ontology merging.*

## PROMPT

PROMPT reprezintă un instrument interactiv, care poate fi găsit sub forma unui plugin în Protégé, ce permite fuzionarea semi-automată a ontologiilor. Acesta ghidează utilizatorul de-a lungul întregului proces, determinând conflictele, făcând sugestii și propunând strategii de rezolvare a conflictelor. Elementul central din PROMPT este algoritmul, ce definește pașii procesului interactiv de *merging,* concentrându-se pe identificarea indiciilor, bazându-se atât pe structura ontologiei, cât și pe acțiunile utilizatorului [5] [9]:

1. PROMPT începe prin căutarea potrivirile numelor claselor în ceea ce privește similaritatea lingvistică. Ulterior, rezultatul îi este prezentat utilizatorului ca o listă de potențiale operații de *merge*.
2. Utilizatorul poate să selecteze o operație de merge din lista sugerată sau poate specifica în mod direct operația de *merge* dorită.
3. După ce operația a fost selectată de utilizator, este executată de către sistem, împreună cu alte schimbări derivate din acțiuni.
4. PROMPT determină conflictele în ontologia fuzionată și propune posibile soluții spre rezolvarea conflictului.
5. În cele din urmă, se afișează noua listă de acțiuni sugerate pentru utilizator.

Conflictele posibile care pot apărea în urma operației de merge pot fi: conflicte de nume, inconsistențe, redundanțe în ierarhia de clase sau referințe lăsate fără părinte. Algoritmul nu numai că va identifica conflictul și locul în care se află, dar va și propune modalități de rezolvare. Astfel, PROMPT oferă utilizatorului un mediu interactiv, oferind sugestii pentru a fuziona ontologiile, bazat pe cunoștințe lingvistice și de structură.

## OntoMerge

OntoMerge este un instrument online, dezvoltat în cadrul Universității Yale, în cadrul căruia ontologiile sursă sunt menținute după operația de *merge*, spre deosebire de PROMPT, unde rezultatul înlocuiește ontologiile date ca input. De asemenea, algoritmul are la bază metoda de *simple merging* [9], rezultatul fiind reprezentat de către o ontologie de legătură (de tip *bridge*), care este construită din ontologiile sursă, la care se adaugă axiomele de legătură, regulile folosite în conectarea părților care se suprapun din ontologiile sursă.

## Chimaera

Este un instrument de fuzionare a ontologiilor și de diagnoză, dezvoltat de către *Standford University Knowledge System Laboratory*. [10] Inițial, aceasta a fost proiectată cu scopul de a oferi asistență în fuzionarea ontologiilor produse de autori multipli în setări multiple. Ulterior, aceasta a dezvoltat suport și pe partea de testare și diagnoză a ontologiilor. Acest instrument targhetează în principal ontologiile distribuite pe web, care au o structură mai ușoară.

Cele două caracteristici principale pentru care Chimaera oferă suport în fuzionarea ontologiilor sunt:

1. Combinarea termenilor similari din punct de vedere semantic din ontologii multiple cu scopul de a produce o ontologie unificată. În ontologia rezultată, termenii menționați anterior vor fi referiți de către același nume. [5]
2. Identificarea termenilor care trebuie corelați prin subsumare și oferirea suportului pentru introducerea relațiilor respective. [5]

Chimaera generează liste cu rezoluții de nume care pot ajuta utilizatorul în procesul de fuzionarea, sugerând termeni din ontologii diferite care pot fi fuzionați și nu au fost încă incluși în ontologia finală. Astfel, Chimaera poate fi utilizată pentru a rezolva probleme privind neconcordanțe la nivelul terminologic și pentru a găsi similarități între concepte la nivelul modelului.

# Provocările întâlnite în procesul de fuzionare

După cum a fost menționat și în capitolele anterioare, scopul principal al fuzionării ontologiilor este reprezentat de facilitarea distribuirii și reutilizării cunoștințelor din diferitelor domenii, precum și de ușura interoperabilitatea între sisteme de calculatoare diferite. Cu toate acestea, procesul poate fi unul anevoios, de-a lungul căruia trebuie adresate numeroase provocări și limitări, pentru a asigura succesul fuzionării.

Una dintre problemele principale întâlnite în procesul de *ontology merging* e reprezentat de **eterogenitatea semantică**. [3] Aceasta poate fi întâlnită în momentul în care ontologii diferite folosesc concepte și relații diferite din același domeniu de cunoștințe. Un exemplu în acest caz ar fi când o ontologie ar folosi termenul „vehicul” pentru a defini mijloace de transport, iar cealaltă ontologie ar folosi exemple specifice precum „mașină”, „avion” sau „autobuz”. Totodată, problemele de eterogenitate se pot întâlni și în cazul în care ontologiile au structuri, limbi și reprezentări diferite, fiind dificilă corelarea acestora într-o ontologie rezultat coerentă. Pentru a adresa această problemă, algoritmii de *ontology merging* trebuie să poată identifica și rezolva conflicte semantice, cum ar fi prin procesul de mapare al conceptelor și relațiilor echivalente.

O altă problemă des întâlnită este reprezentată de **evoluția ontologiilor**. Acestea nu sunt entități statice, ci evoluează constant, în funcție de noile cunoștințe ce sunt inferate sau domeniile nou create. În acest sens, instrumentele care facilitează *ontology merging* trebuie să aibă capacitatea de adaptare a ontologiilor existente la noile schimbări, împreună cu adăugarea noilor ontologii construite. Astfel, trebuie dezvoltate instrumente puternice și flexibile, care pot acomoda schimbările în reprezentările datelor.

De asemenea, **scalabilitatea** constituie o altă problemă majoră în procesul de fuzionare. Odată cu creșterea numărului de ontologii și al volumului de date, procesul de fuzionare necesită mai multă putere computațională și consumă mai mult timp. Astfel că aplicarea *ontology merging* în scenarii reale, în care sunt utilizate ontologii mari și complexe, va avea limitări practice, iar instrumentele automatizate trebuie să fie optimizate în vederea eficientizării și scalării.

Posibilitatea **existenței inconsistențelor** din definițiile ontologiilor, axiomelor sau a regulilor, determină apariția problemelor în urma fuzionării ontologiilor, de aceea trebuie asigurat un input corect înainte de începerea algoritmului. Totodată, algoritmul poate duce la pierderea informației sau la crearea erorilor. Un astfel de caz poate fi întâlnit când două ontologii diferite oferă definiții conflictuale asupra unui termen, iar ontologia rezultat va crea o definiție incompletă sau ambiguă. Pentru a preveni această situație, instrumentele de fuzionare trebuie validate corespunzător, iar rezultatul trebuie supus și verificării și corecției manuale.

Printre alte limitări întâlnite în *ontology merging* se regăsesc și **gradul ridicat de expertiză și intervenție manuală** necesare. După cum s-a observat în capitolul anterior, instrumentele de fuzionare a ontologiilor nu au reușit să automatizeze în mod complet procesul și este necesară intervenția specialiștilor în domeniu pentru a asigura deplinătatea și acuratețea ontologiei rezultate. Atât lipsa de cunoștințe dintr-un anumit domeniu, cât și numărul redus de experți care pot oferi input în cadrul procesului de *merging* constituie provocări majore din această privință. [11]

Nu în ultimul rând, trebuie menționat faptul că ontologiile fuzionate rezultate trebuie **menținute**, pentru a asigura relevanța și acuratețea în timp. De asemenea, având în vedere că fuzionarea ontologiilor presupune preluarea cunoștințelor din surse multiple, trebuie **asigurată securitatea datelor**, astfel încât informația sensibilă este protejată și să fie prevenite aparițiile riscurilor asupra confidențialității și securității.

# Concluzii

Lucrarea a prezentat procesul de fuzionare a ontologiilor, care constă în îmbinarea a două sau mai multe ontologii într-o singură ontologie care integrează toate conceptele inițiale. Această metodă semantică este esențială în situații în care surse de date sau de cunoștințe multiple trebuie combinate cu scopul analizei și luare a deciziilor.

Înainte ca două ontologii să poată fi fuzionate, trebuie urmată o serie de pași, în care se găsește relație de corespondență între termeni, stabilindu-se zonele care se suprapun. În continuare între conceptele similare se stabilesc relații de echivalență cu ajutorul procesului de *mapping*, iar ontologiile inițiale trebuie să treacă prin procesul de *alignment* pentru a găsi o reprezentare comună către care să agreeze. Ulterior, trebuie verificată coerența, consistența și lipsa redundanței în ontologia rezultată.

Din pașii descriși anterior, au rezultat două tipuri de fuzionări de ontologii: *Simple Merge.* sau *Bridge Ontology*, și *Complete Merge*. S-a observat faptul că, dacă în cazul *Complete Merge* entitățile echivalente sunt fuzionate într-o nouă entitate echivalentă, ce păstrează toate descrierile și relațiile inițiale, pentru *Simple Merge* ontologia finală va conține, alături de ontologiile inițiale, o serie de axiome tip punte, care pot fi percepute ca o nouă ontologie, cunoscută sub numele de *bridge ontology.*

Indiferent de tipul de tipul de fuzionare aleasă, *ontology merging* își va păstra avantajele cu ajutorul cărora îmbogățește semantica web: contribuie la îmbunătățirea calității datelor și integrarea cunoștințelor prin combinarea mai multor surse de cunoaștere, reducerea duplicării datelor, întrucât sunt identificate informațiile suprapuse, și sporirea interoperabilității, prin facilitarea unui vocabular comun și a unei conceptualizări a domeniului.

În a doua parte a lucrării au fost identificate o parte din cele mai utilizate instrumente folosite pentru fuzionarea ontologiilor: PROMPT, un instrument interactiv, care poate fi găsit sub forma unui plugin în Protégé, OntoMerge, instrument dezvoltat în cadrul Universității Yale, și Chimaera, tool de fuzionare a ontologiilor și de diagnoză, dezvoltat de *Standford University Knowledge System Laboratory.* În ciuda diversității și a multitudinii instrumentelor dezvoltate, problema automatizării complexe nu a fost încă rezolvată, necesitând în continuare un grad ridicat de expertiză și intervenție manuală.

Totodată, am văzut că procesul de fuzionare a ontologiilor este unul complex, care necesită o atenție sporită asupra unei serii de probleme de natură tehnică, teoretică și practică, precum : eterogenitatea semantică, evoluția continuă a ontologiilor, complexitatea acestora și volumul ridicat de date, care fac scalarea o limitare reală, cât și posibilitatea introducerii inconsistențelor în urma fuzionării. Deși *ontology merging* are potențialul de a dezvolta progrese semnificative în domeniul Web-ului Semantic, acesta presupune o serie de limitări și provocări care necesită adresate, pentru a asigura eficiența și aplicabilitatea în lumea reală.

# Bibliografie

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | F. Van Harmelen, "The Semantic Web: What, Why, How, and When," *March 2004,* vol. 5, no. 4, p. 1, March 2004. |
| [2] | I. Osman, S. B. Yahia and G. Diallo, "Ontology Integration: Approaches and Challenging Issues," *Information Fusion,* pp. 38-63, July 2021. |
| [3] | M. Poppensieker, "Ontology Unification/Merging," *Springer,* 2004. |
| [4] | D. L. McGuiness, R. Fikes and J. Rice, "An environment for merging and testing," *Principles of Knowledge Representation and Reasoning,* pp. 483-493, 2000. |
| [5] | M. Klein, "Combining and relating ontologies: an analysis of problems and solutions," *International Joint Conferences on Artificial Intelligence,* May 2001. |
| [6] | M. Ehrig and S. Staab, "Efficiency of Ontology Mapping Approaches," *Springer,* 2004. |
| [7] | Y. Kalfoglou and M. Schorlemmer, "Ontology Mapping: The State of the Art," *Springer,* 2005. |
| [8] | P. Mitra, G. Wiederhold and M. Kersten, "A graph-oriented model for articulation of ontology interdependencies," *International Conference on Extending Database Technology, Springer,* 2000. |
| [9] | J. de Bruijn, M. Ehrig, C. Feier, F. Martin-Recuerda and F. Scharffe, "Ontology mediation, merging and aligning," *Springer,* 20 May, 2006. |
| [10] | G. S. Narula, R. Wason, V. Jain and A. Baliyan, "Ontology Mapping and Merging. Aspects in Semantic Web," *International Robotics & Automation Jounal,* January 2018. |
| [11] | R. Cobe, . R. Wassermann and F. Kon, "Ontology Merging: on the confluence between theoretical and pragmatic approaches," 2011. |

# Listă de figuri

[Figură 2.1 Exemplu de ontology mapping. 7](file:///C:\Users\cozma\Downloads\Fuzionarea%20ontologiilor.docx#_Toc131336731)

[Figură 3.1 Simple-Merge Ontology vs. Full-Merge Ontology. 9](file:///C:\Users\cozma\Downloads\Fuzionarea%20ontologiilor.docx#_Toc131336732)