

Ontologii de întreprindere în tehnologia blockchain

Nicolae Sfetcu

16.08.2019

Sfetcu, Nicolae, "Ontologii de întreprindere în tehnologia blockchain", URL = <https://www.setthings.com/ro/ontologii-de-intreprindere-in-tehnologia-blockchain/>

Email: nicolae@sfetcu.com



Acest articol este licențiat Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International. Pentru a vedea o copie a acestei licențe, vizitați <http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>.

Extras din:

Sfetcu, Nicolae, "Filosofie tehnologiei blockchain - Ontologii", SetThings (1 februarie 2019), MultiMedia Publishing (ed.), DOI: 10.13140/RG.2.2.25492.35204, ISBN 978-606-033-154-4, URL = <https://www.setthings.com/ro/e-books/filosofia-tehnologiei-blockchain-ontologii/>

Ontologia de întreprindere face o distincție clară între nivelul datologic, infolog și esențial al tranzacțiilor cu blockchain și contractele inteligente. Metodologia OntoClean, (Guarino 1998) dezvoltată de Nicola Guarino și Chris Welty, (Guarino and Welty 2000) analizează ontologiile bazate pe proprietăți formale, independente de domeniile ale claselor (metaproprietăți), fiind prima încercare de a formaliza noțiunile de analiză ontologică pentru sistemele informatice. Noțiunile sunt extrase din ontologia filosofică. În webul semantic, o proprietate este o relație binară. Distincția dintre proprietate și clasă este subtilă. Astfel, o metaproprietate este o proprietate a unei proprietăți sau a unei clase.

Identitatea este fundamentală pentru ontologiile sistemelor informatice, inclusiv în modelarea conceptuală a bazei de date., în special cele care expun existența sau cel puțin nevoia de a reprezenta alte entități. În OntoClean, criteriile de identitate sunt asociate cu, sau purtate de, anumite clase de entități, numite *sortali*. Un sortal este o clasă ale cărei instanțe sunt identificate în același mod. Criteriile de identificare și sortalii sunt intuitiv menite să răspundă modului lingvistic de asociere a identității cu anumite clase.

Designul ontologiei are sens doar odată ce designerul și audiența au o înțelegere de bază, dar fundamentală, cu privire la subiectul analizei, blockchain. Blockchain vine în trei forme: public, privat sau hibrid. (Buterin 2015)

În afară de perspectiva sistemelor informatice, ontologia blockchain ar trebui să se refere și la operațiunile și procesele afacerii potențialilor întreprinderi adoptive. Ontologia de întreprindere oferă o colecție de termeni relevanți și definiții ale limbajului natural. Exemple bine cunoscute de cadre ontologice ale întreprinderilor sunt TOVE, EO și DEMO.

TOVE, acronimul proiectului *TO*ronto *Virtual Enterprise*, este un proiect de dezvoltare a unui cadru ontologic pentru integrarea întreprinderii bazat pe și adaptat pentru modelarea întreprinderilor. (Totland 1997) Obiectivele inițiale ale proiectului au fost: (Fox 1992)

- Crearea unei reprezentări partajate sau a unei ontologii a întreprinderii pe care fiecare agent din întreprinderea distribuită să o poată înțelege și utiliza
- Definirea semnificația fiecărei descrieri sau semantici
- Implementarea semanticii într-un set de axiome care vor permite TOVE să deducă automat răspunsul la numeroase întrebări "de bun simț" despre întreprindere, și
- Definirea unui simbol pentru reprezentarea unui concept într-un context grafic.

Proiectul vizează dezvoltarea unui set de ontologii integrate pentru modelarea întreprinderilor. Modelul conform lui Ted Williams este "multi-nivel, acoperind straturi conceptuale, generice și aplicații. Straturile generice și aplicațiile toate sunt, de asemenea, stratificate și compuse din micro-teorii care acoperă, de exemplu, activități, timp, resurse, constrângeri etc. la nivel generic

Modelele de întreprindere TOVE sunt prezentate de Fox et al. ca abordare de inginerie a cunoașterii de a doua generație. O abordare a ingineriei cunoașterii de primă generație "extrage reguli de la experți, în timp ce a doua generație este ingineria ontologică: ea dezvoltă ontologii cuprinzătoare pentru toate aspectele unei organizații pe care le consideră necesare (necesitatea este decisă pe baza cerințelor de competență ale modelului, întrebările la care modelul va trebui să răspundă, fie prin căutare obișnuită sau prin deducere). Fundalul TOVE este în mod clar ingineria cunoașterii și, într-o oarecare măsură, integrarea pe calculator a producției." (Fox 1992)

O metodologie de modelare a întreprinderilor pentru tranzacții și analizarea și reprezentarea proceselor de afaceri, care oferă o înțelegere coerentă a comunicării, informării, acțiunii și organizării, a fost dezvoltată în anii 1980 de Jan Dietz și este inspirată de perspectiva limbaj/acțiune introdusă în domeniul informaticii și al proiectării sistemelor informatice de către Fernando Flores și Terry Winograd în anii 1980: (Flores et al. 1988) Metodologia de proiectare și inginerie pentru organizații (Design & Engineering Methodology for Organizations - DEMO). (J. L. G. Dietz 2001)

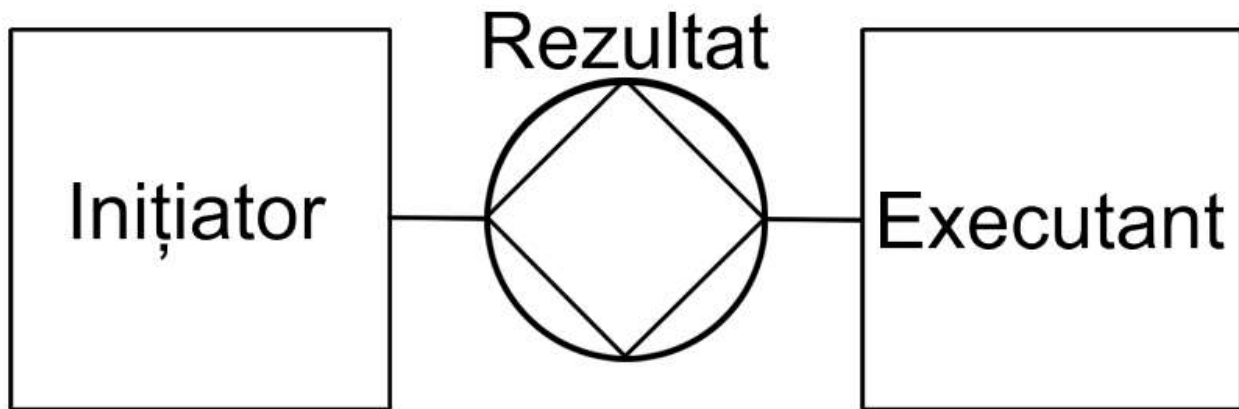


Diagrama principiului unei tranzacții DEMO între doi actori, cu rezultatul respectiv.

DEMO se bazează pe axiome explicit specificate caracterizate printr-o metodologie rigidă de modelare (Van Nuffel, Mulder, and Van Kervel 2009) și se axează pe construirea și funcționarea unui sistem mai degrabă decât pe comportamentul funcțional. Acesta subliniază importanța alegerii celui mai eficient nivel de abstractizare în timpul dezvoltării sistemului informatic pentru a stabili o separare clară a preocupărilor. (Nian and Chuen 2015) Deoarece DEMO sa dovedit a fi o metodologie utilă pentru a formaliza sisteme care sunt ambigue, inconsistente sau incomplete, mai ales atunci când vine vorba de reducerea complexității modelării, (Wang, Albani, and Barjis 2011) se poate utiliza ontologia de întreprindere și DEMO pentru a descrie ontologia blockchain dintr-o perspectivă datologică, infologică și esențială. (de Kruijff and Weigand 2017)

Metodologia oferă o înțelegere coerentă a comunicării, informării, acțiunii și organizării, se bazează pe următoarele principii: (J. Dietz 1996)

- Esența unei organizații este aceea că ea constă din oameni cu autoritate și responsabilitate de a acționa și de a negocia.

- Modelarea proceselor de afaceri și a sistemelor informaționale este o activitate rațională, care duce la uniformitate.
- Modelele de protecție a informațiilor ar trebui să fie pentru toți cei interesați. De înțeles
- Informațiile trebuie să se potrivească cu utilizatorii lor.

Acest concept s-a dovedit a fi o nouă paradigmă de bază pentru proiectarea sistemelor informatice, evidențiind ce fac oamenii în timp ce comunică, realitatea prin intermediul limbii și modul în care comunicarea aduce o coordonare a activităților lor." (Dignum and Dietz 1997)

DEMO este legată de metoda de analiză a limbajului natural (Natural language Information Analysis Method - NIAM) dezvoltată de Shir Nijssen (Aaldijk and Vermeulen 2001) și modelarea obiectuală (ORM) (J. L. G. Dietz and Halpin 2004) dezvoltată în continuare de Terry Halpin.

Modelul ontologic al unei întreprinderi în DEMO constă în ansamblul integrat a patru modele de aspect, fiecare având o viziune specifică asupra întreprinderii:

- Modelul de construcție (CM): compoziția, mediul, structura de interacțiune și structura de interstricțiune
- Modelul de proces (PM): spațiul de stare și spațiul de tranziție al lumii sale de coordonare
- Modelul de acțiune (AM): un set de reguli de acțiune; și
- Modelul factual (FM): spațiul de stare și spațiul de tranziție al lumii sale de producție

O evoluție importantă în istoria bazelor de date a fost separarea opțiunilor de implementare de modelul conceptual al bazei de date (principiul independenței datelor). O separare similară este foarte necesară pentru domeniul blockchain. Se poate adopta axioma de distincție a ontologiei de întreprindere ca bază ontologică pentru această separare. (de Kruijff and Weigand 2017)

Axioma de distincție a ontologiei de întreprindere distinge trei abilități umane de bază: *performa*, *informa* și *forma*. (J. L. G. Dietz 2006) Abilitatea *forma* se referă la aspectele formei de comunicare și informare. Actele de producție la nivel forma sunt datologice în natură: stochează, transmit, copiază, distruge, etc. *Informa* se referă la aspectele de conținut ale comunicării și ale informațiilor. Actele de producție la nivel forma sunt infologice în natură, ceea ce înseamnă că ele reproduc, deduc, raționează, calculează, etc., obținând abstracție din aspectul forma. *Performa* se referă la aducerea unor lucruri noi, originale, direct sau indirect prin comunicare. Actele comunicative la nivel de *performa* sunt legate de evocarea sau evaluarea angajamentului; aceste acte de comunicare se realizează la nivelul *informa* prin intermediul unor mesaje cu un conținut propozițional.

Urmând cele trei abilități, distingem trei straturi ontologice: datologic (descrie tranzacțiile blockchain la nivel tehnic în termeni de blocuri și cod) o abstracție infologică (pentru a descrie tranzacțiile de tip blockchain ca efect al unui sistem de registru deschis (imuabil), și esențial (pentru a descrie semnificația economică a tranzacțiilor infologice). Nivelul datologic este nivelul structurilor de date și manipularea datelor, folosind taxonomiile identificate în criptovalute, (Glaser and Bezenberger 2015) cercetarea blockchain, (Christidis and Devetsikiotis 2016) tehnologiile blockchain și furnizorii de cloud. (Gray 2016)

Object Management Group Unified Modeling Language (UML), împreună cu Object Constraint Language (OCL), (Purvis and Cranefield 1999) este considerată de Joost de Kruijff și Hans Weigand cea mai bună potrivire pentru ontologia blockchain. (de Kruijff and Weigand 2017) OCL este un limbaj declarativ care descrie regulile aplicabile modelelor UML și face parte din standardul UML. Inițial, OCL a fost doar o extensie de limbaj de specificație formală pentru UML. (Object Management Group 2000) Acum, OCL poate fi folosit cu orice meta-model. (Object Management Group 2006) OCL este un limbaj precis al textului care oferă expresii de constrângere și obiecte de interogare pe orice model specific sau meta-model care nu pot fi exprimate în alt mod prin notație schematică. OCL este o componentă cheie a noii recomandări standard pentru transformarea modelelor.

OCL este o metodă de analiză și de proiectare orientată spre obiecte de a doua generație. Declarațiile OCL sunt construite în patru părți:

1. un context care definește situația limitată în care declarația este validă
2. proprietate care reprezintă anumite caracteristici ale contextului (de exemplu, dacă contextul este o clasă, o proprietate ar putea fi un atribut)
3. operație (de exemplu, aritmetică, orientată pe seturi) care manipulează sau califică o proprietate și
4. cuvinte cheie (de exemplu, dacă, altfel, și, sau, nu, implică) care sunt folosite pentru a specifica expresii condiționate.

Joost de Kruijff folosește OCL pentru ontologia blockchain: (de Kruijff and Weigand 2017)

- Actor: Un ID virtual pentru orice persoană sau organizație care deține un portofel
- Portofel: Inițiază tranzacții pe blockchain și primește rezultatul tranzacției.

- **Tranzacție:** O cerere către noduri care conține o intrare, o sumă și o ieșire , sau date personalizate.
- **Nod:** O entitate din rețea care fie adaugă (tranzacții publice) fie validează (tranzacții hibride sau private) și le adaugă ulterior într-un bloc cu un hash unic. Nodurile primesc recompense pentru fiecare tranzacție de succes care este adăugată la bloc.
- **Miner:** Un nod anonim (de ex. un server) care manipulează criptografic o tranzacție publică validată folosind un mecanism specific.
- **Minerit:** Un mecanism de exploatare minieră prin care se pot efectua tranzacții în blocuri publice.
- **Validator:** Un nod non-public care validează tranzacțiile hibride sau private bazate pe mecanisme specifice.
- **Validare:** Un mecanism de validare a tranzacțiilor în blocuri de tip non-public.
- **Bloc:** Un container de tranzacții cu un antet unic, criptografic.
- **Unchi:** Un bloc foarte aproape de a fi blocul "corect" următor în bloc.
- **Văr:** Un bloc foarte aproape de a fi unchiul "corect" în blockchain.
- **Timp de rulare:** Permite interacțiunea sigură și comunicarea între middleware și cloud.
- **Middleware:** Un software care permite terților să interacționeze cu înregistrări de blocuri pentru a oferi servicii.

Centrale acestei ontologii sunt portofelul, tranzacția și nodul.

În cadrul taxonomiei pentru structura ontologică a unui lanț, Joost de Kruijff și

Hans Weigand disting următoarele obiecte: (de Kruijff and Weigand 2017)

- Lanț (Chain): O combinație de blocuri
- Mainchain: Conține antetele de bloc ale tuturor blocurilor care sunt semnate digital și care conțin înregistrări valide ale proprietății care sunt ireversibile.
- Blockchain: Un lanț principal implementat în conformitate cu codul de bare Bitcoin
- Altchain: Un lanț principal implementat în conformitate cu o bază de date alternativă.
- Sidechain: Un lanț care permite transferul de active în lanțul principal și invers.
- Drivechain: Un sidechain care oferă un drum pe două căi care permite transferul unei criptoalute dintr-o rețea de bază într-o altă rețea care necesită încredere scăzută față de terți (Lerner 2016)
- Sidechain bifurcat: Un sidechain care permite transferarea activelor între mai multe lanțuri principale. (Back et al. 2014)

Langefors a făcut distincția între informație (ca și cunoaștere) și date (ca reprezentare), (Goldkuhl 1995) creându-se un nou domeniu în ingineria cunoașterii numit infologie, pentru administrarea de structuri complicate. (J. L. G. Dietz 2006) Blockchain ca "registru distribuit" este o caracterizare infologică. Un registru constă din *conturi*. Tranzacțiile trebuie să respecte regulile de tranzacționare. O regulă axiomatică în blockchain este aceea că pentru fiecare tranzacție intrarea este egală cu ieșirea (debit = credit).

Conturile nu se limitează la a avea un echilibru sau o cantitate în valută (criptovalută), pot să se refere și la alte tipuri de acțiuni. (de Kruijff and Weigand 2017)

- Registru: Menține o listă în continuă creștere a înregistrărilor de tranzacții cu evidență temporală, conectate la un bloc definit la nivel datologic.
- Cont: Trimite și primește valoarea către și de la o tranzacție
- Obiect: Un stoc personalizat sau o solicitare (tip) tranzacționată de un cont printr-o tranzacție.
- Tranzacție: Intrările și ieșirile între conturi.
- Jurnal: O listă de tranzacții
- Reguli de tranzacționare: Contractele inteligente (nivelul esențial) sunt impuse prin reguli de implicare implementate ca un cod de blocaj.

Nivelul esențial sau de afaceri se referă la ceea ce este creat direct sau indirect prin comunicare. (de Kruijff and Weigand 2017) În perspectiva limbaj/acțiune, (Narayanan et al. 2016) noțiunea cheie în comunicare este angajamentul ca o relație socială bazată pe înțelegerea comună a ceea ce este corect și adevărat, o schimbare a realității sociale.

Ontologia de întreprindere nu este specifică cu privire la conținutul schimbării. Din acest motiv, se combină cu ontologia de afaceri Resurse, Evenimente, Agenți (REA), (Huňka and Zacek 2015) inițial propusă în 1982 de către William E. McCarthy ca model contabil generalizat. (McCarthy 1982) REA poate adăuga valoare și atunci când modelează procesele actuale de afaceri ERP, oferind un instrument care mărește înțelegerea implementării și a modelului de bază. (Fallon and Polovina 1982)

REA tratează sistemul contabil ca o reprezentare virtuală a afacerii reale. REA este o ontologie, obiectele reale incluse în modelul REA fiind:

- Resurse: bunuri, servicii sau bani
- Evenimente: tranzacții de afaceri sau acorduri care afectează resursele

- Agenți: oameni sau alți agenți umani (alte companii etc.)

Filosofia REA se bazează pe ideea modelelor de design reutilizabile, deși modelele REA sunt folosite pentru a descrie bazele de date.

În modelarea de întreprinderi bazată pe ontologie, conceptualizarea este setul de ontologii necesare pentru a asigura interpretarea comună a datelor de la una sau mai multe baze de date comune ale întreprinderilor. Făcând presupunerea rezonabilă că modelarea blocurilor este o formă specializată de modelare inter-întreprindere, facem ca procesul de modelare bazat pe ontologie să aibă ca rezultat un blocaj cu interpretabilitate îmbunătățită. Acesta este: (Kim and Laskowski 2016)

- O abordare de modelare bazată pe ontologii informale sau semi-formale poate duce la îmbunătățirea standardelor de date, precum și la practicile și procesele de afaceri pentru dezvoltarea și funcționarea unei blocuri.
- O abordare de modelare bazată pe ontologii formale poate ajuta la specificațiile formale de inferență automată și de verificare în operarea blockchain.

În abordarea bazată pe ontologii formale descrierea este foarte asemănătoare cu definiția contractelor inteligente ca fiind "un software care reprezintă un aranjament de afaceri și se execută automat în condiții predeterminate." (The Economist 2016)

Modelul REA dezvoltat de Bill McCarthy (McCarthy 1982) poate fi privit ca o ontologie de domeniu pentru contabilitate. (de Kruijff and Weigand 2017) REA moștenește natura fluxului de stocuri al contabilității, dar ridică structura sintactică a conturilor la un nivel semantic de resurse și evenimente.

Perspectiva contabilă este adecvată în contextul blockchain. Întrucât tranzacția de tip blockchain se referă la evenimente care declanșează modificări ale realității economice, REA este percepută ca fiind mai potrivită pentru analiza la nivelul esențial

decât DEMO, care este mai potrivită pentru coordonarea acestor evenimente, ceea ce este mai puțin important pentru blockchain.

- Agent: Un individ sau o organizație care controlează resursele și poate iniția o tranzacție sau un angajament
- Resursă: Un bun cu o anumită valoare economică controlată de un agent.
- Eveniment de flux de stoc: Oferirea sau primirea unei resurse.
- Tranzacție: Un proces care schimbă realitatea economică (schimb sau conversie) constând în evenimente de creștere și reducere a stocului.
- Schimb economic: O tranzacție care schimbă realitatea economică prin intermediul schimbului.
- Conversie economică: O tranzacție care schimbă realitatea economică prin conversie.
- Angajament: Promisiuni ale viitoarelor evenimente de flux de stoc care sunt îndeplinite cu executarea acestor evenimente.
- Contract inteligent: Un contract în care îndeplinirea angajamentului este efectuată în totalitate sau parțial în mod automat. (de Kruijff and Weigand 2017)

REA include și noțiunea de contract ca un pachet de angajamente reciproce, prin tranzacții, cât și angajamente. O caracteristică specială a unui contract inteligent (inițial introdusă de Nick Szabo) este că cel puțin unele dintre angajamente sunt executate automat. (Szabo 1997) Tranzacțiile sunt realizate cu un set de tranzacții infologice. Angajamentele sunt, de asemenea, realizate prin tranzacții infologice. Îndeplinirea este realizată printr-un transfer din contul tip angajament.

Referindu-ne la procesele REA, se poate spune că planificarea (crearea unui contract inteligent) și alocarea resurselor de intrare (evenimentele de ieșire) se materializează pe blockchain, în timp ce executarea contractului prin schimb și conversie (în o mai mică extensie) declanșează resursele de ieșire (evenimentele de intrare) care ar putea ajunge în afara blockchain, chiar și pentru entitățile fizice, cum ar fi, de exemplu, dispozitivele IoT. (de Kruijff and Weigand 2017)

Bibliografie

- Aaldijk, Rob, and Erik Vermeulen. 2001. "Modellieren van Organisaties -- Nieuwe Methoden En Technieken Leiden Tot Beter Inzicht." http://api.ning.com/files/rgM-chfmWQA57MkWjSFxZ7XWlp0A7Ywf0KgaZUNxl0O1OMj*TRFOkPpXb7-Kj7nNa7YRcC-jXrY6w4gl0JkcWvxytMNf9aB2/Aaldijk.pdf.
- Back, Sidechains Adam, Matt Corallo, Luke Dashjr, Mark Friedenbach, Gregory Maxwell, Andrew Miller, Andrew Poelstra, and Jorge Timón. 2014. "Enabling Blockchain Innovations with Pegged." In .
- Buterin, Vitalik. 2015. "On Public and Private Blockchains." 2015. <https://blog.ethereum.org/2015/08/07/on-public-and-private-blockchains/>.
- Christidis, K., and M. Devetsikiotis. 2016. "Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things." *IEEE Access* 4: 2292–2303. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2566339>.
- Dietz, Jan. 1996. "Introductie Tot DEMO." <http://www.fredvroom.nl/Downloads/Introductie%20tot%20DEMO%20-%20Prof.%20Dr.%20Ir.%20J.L.G.%20Dietz.pdf>.
- Dietz, Jan L. G. 2001. "DEMO: Towards a Discipline of Organisation Engineering." *European Journal of Operational Research* 128: 351–63. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00077-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00077-1).
- . 2006. *Enterprise Ontology: Theory and Methodology*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. <http://www.springer.com/la/book/9783540291695>.
- Dietz, Jan L. G., and Terry A. Halpin. 2004. "Using DEMO and ORM in Concert: A Case Study." In *Advanced Topics in Database Research, Vol. 3*. <https://doi.org/10.4018/978-1-59140-255-8.ch011>.
- Dignum, Frank, and Jan Dietz. 1997. "Communication Modeling, The Language/Action Perspective. Second International Workshop on Communication Modeling." <https://pdfs.semanticscholar.org/7dd5/7b8af197433f295ef553f88e3b361b1a383e.pdf>.
- Fallon, Richard, and Simon Polovina. 1982. "REA Analysis of SAP HCM; Some Initial Findings." <http://ceur-ws.org/Vol-1040/paper4.pdf>.
- Flores, Fernando, Michael Graves, Brad Hartfield, and Terry Winograd. 1988. "Computer Systems and the Design of Organizational Interaction." *ACM Trans. Inf. Syst.* 6 (2): 153–172. <https://doi.org/10.1145/45941.45943>.

- Fox, M.S. 1992. "The TOVE Project: Towards A Common-Sense Model of the Enterprise." <http://www.eil.utoronto.ca/wp-content/uploads/enterprise-modelling/papers/fox-tove-uofttr92.pdf>.
- Glaser, Florian, and Luis Bezenberger. 2015. "Beyond Cryptocurrencies - A Taxonomy of Decentralized Consensus Systems." *Proceedings of the 23rd European Conference on Information Systems, ECIS 2015, Münster, Germany, May 26-29*. <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000073771>.
- Goldkuhl, Goran. 1995. "Information as Action and Communication, The Infological Equation." <http://www.vits.org/publikationer/dokument/145.pdf>.
- Gray, Marley. 2016. "Introducing Project Bletchley and Elements of Blockchain Born in the Microsoft Cloud." 2016. <https://azure.microsoft.com/en-us/blog/bletchley-blockchain/>.
- Guarino, Nicola. 1998. "Formal Ontology and Information Systems." <https://klevas.mif.vu.lt/~donatas/Vadovavimas/Temos/OntologiskaiTeisingasKonceptinisModeliavimas/papildoma/Guarino98-Formal%20Ontology%20and%20Information%20Systems.pdf>.
- Guarino, Nicola, and Chris Welty. 2000. "Ontological Analysis of Taxonomic Relationships." ResearchGate. 2000. https://www.researchgate.net/publication/2637003_Ontological_Analysis_of_Taxonomic_Relationships.
- Huňka, František, and Jaroslav Zacek. 2015. "A New View of REA State Machine." ResearchGate. 2015. https://www.researchgate.net/publication/277942361_A_new_view_of_REA_state_machine.
- Kim, Henry M., and Marek Laskowski. 2016. "Towards an Ontology-Driven Blockchain Design for Supply Chain Provenance." *ArXiv:1610.02922 [Cs]*. <http://arxiv.org/abs/1610.02922>.
- Kruijff, Joost de, and Hans Weigand. 2017. "Understanding the Blockchain Using Enterprise Ontology." Springerprofessional.De. 2017. <https://www.springerprofessional.de/en/understanding-the-blockchain-using-enterprise-ontology/12328482>.
- Lerner, Sergio Damian. 2016. "Drivechains, Sidechains and Hybrid 2-Way Peg Designs." <https://assets.ctfassets.net/sdlntm3tthp6/resource-asset-r404/622892f62ff64478171612868cfe0ec1/1d111198-09df-4d7b-bbc2-42b724378697.pdf>.
- McCarthy, William E. 1982. "The REA Accounting Model: A Generalized Framework for Accounting Systems in a Shared Data Environment." *The Accounting Review* 57 (3): 554–78. <https://www.jstor.org/stable/246878>.
- Narayanan, Arvind, Joseph Bonneau, Edward Felten, Andrew Miller, and Steven Goldfeder. 2016. *Bitcoin and Cryptocurrency Technologies: A Comprehensive Introduction*. Princeton University Press.
- Nian, Lam Pak, and David Lee Kuo Chuen. 2015. "A Light Touch of Regulation for Virtual Currencies | Request PDF." ResearchGate. 2015. https://www.researchgate.net/publication/286055684_A_Light_Touch_of_Regulation_for_Virtual_Currencies.
- Object Management Group. 2000. "ObjectConstraintLanguage Specification." http://homepage.divms.uiowa.edu/~tinelli/classes/5810/Spring08/Papers/OCL_1.5.pdf.

- . 2006. “Object Constraint Language - OMG Available Specification - Version 2.0.” http://www2.imm.dtu.dk/courses/02291/files/OCL2.0_06_05_01.pdf.
- Purvis, Martin, and Stephen Cranefield. 1999. “UML as an Ontology Modelling Language.” <https://ourarchive.otago.ac.nz/handle/10523/932>.
- Szabo, Nick. 1997. “Formalizing and Securing Relationships on Public Networks.” *First Monday* 2 (9). <https://doi.org/10.5210/fm.v2i9.548>.
- The Economist. 2016. “Not-so-Clever Contracts.” Internet Archive. 2016. https://archive.org/details/perma_cc_QNH7-5BJZ.
- Totland, Terje. 1997. “Toronto Virtual Enterprise (TOVE).” <http://www.idi.ntnu.no/grupper/su/publ/html/totland/ch0523.htm>.
- Van Nuffel, Dieter, Hans Mulder, and Steven Van Kervel. 2009. “Enhancing the Formal Foundations of BPMN by Enterprise Ontology.” In *Advances in Enterprise Engineering III*, edited by Antonia Albani, Joseph Barjis, and Jan L. G. Dietz, 115–29. Lecture Notes in Business Information Processing. Springer Berlin Heidelberg.
- Wang, Yan, Antonia Albani, and Joseph Barjis. 2011. “Transformation of DEMO Metamodel into XML Schema.” In *Advances in Enterprise Engineering V*, edited by Antonia Albani, Jan L. G. Dietz, and Jan Verelst, 46–60. Lecture Notes in Business Information Processing. Springer Berlin Heidelberg.