

Izbrana poglavja iz računalništva in informatike

6KT: 45 ur predavanj + 30 ur laboratorijskih vaj
Program: MAG, 2. letnik, spomladanski semester
MAG, 1. letnik, spomladanski semester
UN, 3. letnik, spomladanski semester
Omejitev: 36 študentov

Naslov predmeta

Računalništvo v megli za pametne storitve

(ang. Fog computing for smart services)

Predavanja: izr. prof. Vlado Stankovski
Laboratorijske vaje (po potrebi): mag. Sandi Gec, Uroš Paščinski, mag. Petar Kochovski
Semester: spomladanski
Omejitev vpisa: 36

Cilji in pridobljena znanja

Cilj predmeta je študente naučiti celotnega procesa razvoja pametnih aplikacij. Gre za aplikacije, ki imajo še posebej izražene uporabniške, aplikacijske in sistemske zahteve. Običajno temeljijo na internetu stvari, umetni inteligenci, računalništvu v oblaku ter na tehnologijah veriženja blokov. Računalništvo v megli predstavlja nekakšno skupno ime za vse te tehnologije.

Predlagani predmet se bo osredotočil na teorijo in prakso pri razvoju kompleksnih, komponentnih, večstopenjsko (od roba omrežja do oblaka) zasnovanih aplikacij. Študent bo pridobil znanja s področja programskega inženirstva na preseku omenjenih štirih tehnoloških zvrsti. Cilj predmeta je okrepiti razumevanje primerov uporabe, funkcionalnih in nefunkcionalnih zahtev, pristopov k načrtovanju, aktualnih pristopov za reševanje specifičnih zahtev po zanesljivem delovanju, kakovosti storitve, zaupanju ter tudi poglavitnih tehnologij, ki se uporabljajo z namenom naslavljanja celotnega nabora zahtev, vključno s procesom integracije aplikacij, orkestracije in nadzorom nad njihovim izvajanjem.

Pogoji

Za ta predmet je potrebno splošno znanje, izkušnje in/ali zanimanje s področja programskega inženirstva, kulture in prakse DevOps, interneta stvari, umetne inteligence, inženirstva uporabniških, aplikacijskih in sistemskih zahtev, distribuiranega računalništva, modeliranja kakovosti storitev, sodobnih pristopov za upravljanje s podatki, integracije programske opreme, ambientne inteligence, mobilnega zaznavanja in kibernetičnih sistemov. Poglobljeno znanje na katerem koli od naštetih področij je zelo dobrodošlo.

Ta predmet temelji na znanjih, pridobljenih pri več obstoječih predmetih, vključno z naslednjimi:

- Postopki razvoja programske opreme (63254)
(zahtevan za vse UN ali MAG študente)
 - <https://fri.uni-lj.si/sl/predmet/63254>
 - Predmet Postopki razvoja programske opreme zagotavlja temeljna znanja o programskem inženirstvu. Pričujoči predmet ima za namen poglobiti ta temeljna znanja na primeru pametnih aplikacij, ki imajo posebej izražene uporabniške, aplikacijske in sistemske zahteve.
- Tehnične veščine (63767); *DevOps, Kubernetes*:
(zaželjen za vse UN študente)
 - <https://fri.uni-lj.si/sl/predmet/63767>
 - Tehnična znanja s področja tehnologij za virtualizacijo in orkestracijo bodo še posebej koristna za razumevanje postopkov razvoja kompleksnih pametnih

aplikacij. Zato je ta predmet pogoj za vpis tistih študentov UN, ki še niso končali 1. stopnje študija.

- Računalniške storitve v oblaku (63541):
(zaželen za vse MAG študente)
 - <https://fri.uni-lj.si/sl/predmet/63541>
 - Predmet Računalniške storitve v oblaku bo študentom omogočil razumevanje postopkov za virtualizacijo storitev in aplikacij. Pričujoči predmet dopolnjuje ta znanja s poudarkom na področju kakovosti storitve in upravljanja podatkov pri programskem inženirstvu.
- Globoko učenje (63561):
(dopolnilno oz. zaželeno)
 - <https://fri.uni-lj.si/sl/predmet/63561>
 - Ta predmet bo študentom dodatno omogočil razumeti povezave med metodami globokega učenja in uporabniških, aplikacijskih in sistemskih zahtev, ki jih je potrebno nasloviti pri načrtovanju pametnih aplikacij. Pričujoči predmet predstavi tudi različne pristope za optimizacijo metod globokega učenja za izvajanje v oblaku.
- Ambientna inteligenca (64m26):
(dopolnilno oz. zaželeno)
 - <https://fri.uni-lj.si/sl/predmet/64m26>
 - Znanje iz tega predmeta bo pomagalo razumeti koncept digitalnega dvojčka.
- Mobilno zaznavanje (63545c):
(dopolnilno oz. zaželeno)
 - <https://fri.uni-lj.si/sl/predmet/63545c>
 - Znanje iz tega predmeta bo dopolnilo razumevanje zahtev za dinamično združevanje informacij.

Utemeljitev teme

Tehnologije interneta stvari, umetne inteligence, računalništva v oblaku ter veriženja blokov se danes združujejo z namenom razvoja številnih novih pametnih storitev in aplikacij. Računalništvo v megli je nekakšno skupno ime za vse te tehnologije. Predstavlja novo arhitekturo, ki uporablja robne naprave za izvajanje zahtevnih algoritmov umetne inteligence, shranjevanja podatkov, lokalne komunikacije in podobno in na tak način naslavlja zahteve po obdelavi masovnih podatkov. Podatkovni tokovi se običajno začnejo na robu računalniškega omrežja in tečejo čez več stopenj, vse do javnih ali zasebnih ponudnikov storitev v oblaku.

Masivni podatkovni tokovi v megli omogočajo razvoj pametnih okolij, sistemov obveščanja, ambientne inteligence in tudi kibernetskih sistemov. Tehnologije računalništva v megli so zasnovane tako, da podpirajo tako statične (npr. senzorji, kamere) kot tudi mobilne (npr. senzorji, avtomobili) naprave oz. stvari. Ker imajo velik uporabni potencial, je zanimanje industrije po teh tehnologijah izjemno. Področja uporabe vključujejo pametna mesta in skupnosti, pametne zgradbe in domove, pametne trgovske verige, krožno gospodarstvo, trajnostno pridelavo hrane, trajnostni turizem, t.i. tovarne prihodnosti, e-zdravje, pametne mobilnosti in druga področja, ki so odlično ponazorjena pri projektih pametne specializacije (program R. Slovenije za raziskave in inovacije).

Ta predmet ne zajema le teorije, temveč tudi prakso uresničevanja računsko, pomnilniško in omrežno zahtevnih pametnih storitev in aplikacij z uporabo skupka tehnologij računalništva v megli.

Vsebina

Na kratko; računalništvo v megli je nekakšen krovni koncept, ki zajema štiri različne vrste tehnologij: internet stvari, umetno inteligenco, računalništvo v oblaku in tehnologijo veriženja blokov. Predstavlja področje, kjer se te štiri tehnologije prepletajo, in s katerimi se ustvarjajo številne nove zmogljive pametne storitve in aplikacije. Za zagotavljanje zanesljivih in zaupanja

vrednih aplikacij računalništva v megli se je potrebno osredotočiti na izboljšave celotnega postopka inženirstva programske opreme v smislu prožnosti, prilagodljivosti, programskih modelov, načrtovanja aplikacij, kakovosti izvedbe, operativnih stroškov in podobno. Večina povezanih problemov je kompleksnih, zato je na praktični ravni potrebno zahtevnost implementacije omejevati na vsakem koraku.

Računalništvo v megli je s pojavom in prakso DevOps, vsesplošne uporabe tehnologij vsebnikov in s tem zmožnosti uporabe (deljenja in ponovne uporabe) celotnega nabora metod umetne inteligence v aplikacijah računalništva v megli, že *na dosegu rok*. Pri tem predmetu bo študentom predstavljena vsa kompleksnost, ki jo prinaša razvoj ene osnovne pametne aplikacije v praksi.

Na začetku bomo pri predmetu predstavili glavne koncepte, vizijo in cilje računalništva v megli. Posebna pozornost bo namenjena potencialnim primerom uporabe, na primer tistim iz slovenskega programa pametne specializacije, ki predstavljajo velike zahteve za vključevanje interneta stvari, umetne inteligence, računalništva v oblaku in tehnologije veriženja blokov, pri tem pa bodo obravnavani obstoječi modeli različnih pametnih storitev in aplikacij.

V sklopu *uvodnih predavanj* se bodo študenti v laboratoriju seznanili in osredotočili na preizkušanje nabora tehnologij, potrebnih za izdelavo pametnih aplikacij; najprej s preizkušanjem izbranih algoritmov in modelov za globoko učenje. Proti koncu tretjega tedna bodo študentje morali pripraviti predlog lastno izvedenega projekta.

V *tretjem tednu* bodo obravnavani nekateri napredni pristopi k uresničitvi digitalnih dvojčkov in zahtevano dinamično zlitje informacij. Na vajah bomo začetne aplikacije globokega učenja razširili s funkcijo obveščanja (npr. v obliki kratkega sporočila na mobilni telefon). Predavatelj bo ovrednotil predloge študentskih projektov.

Četrti teden se bomo osredotočili na življenjski cikel DevOps s poudarkom na aplikacijah za računalništvo v megli. Študenti bodo na vajah postavili in preizkusili orodje Fabric8. Obravnavali bomo različne pristope k orkestraciji. V *petem tednu* bo tema tekla o analizi uporabniških, aplikacijskih in sistemskih zahtev za pametne aplikacije. Pomagali si bomo z različnimi pristopi za analizo zahtev. Analizirali bomo zahteve po robnem računalništvu za premične (npr. roboti, avtomobili, mobilni telefoni) in stacionarne stvari (npr. senzorji, kamere). Praktično delo bo osredotočeno na vse zahteve za izvajanje izbrane aplikacije globokega učenja in izdelani bodo osnovni diagrami UML. V *šestem tednu* bodo obravnavani pristopi za večnivojski (infrastruktura, omrežje, vsebnik, aplikacija) nadzor aplikacij. Za preizkušanje možnosti za nadzor aplikacij globokega učenja bomo na vajah uporabili orodje Prometheus z *vizualizacijo Banana*.

Pri pripravi komponent storitev za virtualizacijo mora inženir upoštevati možnost optimizacije nastale slike vsebnika ali virtualnega stroja za delovanje, shranjevanje in čim hitrejšo dostavo na zeleno napravo. V teoriji bomo razpravljali o različnih vidikih tega procesa in jih preizkusili v laboratoriju, npr. orodje za optimizacijo slik virtualnih strojev ENTICE. Študentje bodo posodobili aplikacijo globokega učenja in sistem za nadzor. Ob koncu *sedmega tedna* bodo študentje predstavili aktualno stanje svojega projekta in tako sredi semestra dosegli mejnik.

Osmi teden bo osredotočen na večstopenjsko zasnovo aplikacij (več vsebnikov nameščenih na izbrani infrastrukturi od roba omrežja vse do podatkovnega centra v oblaku) z namenom reševanja nefunkcionalnih zahtev aplikacije (npr. zahtevi po zasebnosti). Med laboratorijskim delom bodo študentje lahko primerjali obstoječe načrte aplikacij in upoštevali različne izboljšave ter nadaljevali s projektnim delom.

Naslednji trije tedni (9–11) so namenjeni razvoju in razumevanju množice metod umetne inteligence, ki jih je mogoče hitro namestiti v vsebnik z namenom njegove uporabe na robu omrežja oz. v oblaku, razvrstitev metod za obdelavo masovnih podatkov s poudarkom na kvaliteti storitve in metodologij primerjalne analize. Laboratorijske vaje bodo osredotočene na nadzor in primerjavo kvalitete storitve različic aplikacije globokega učenja.

Zaključek predmeta (12–14 teden) je namenjen konceptom, pristopom, metodologiji in tehnologijam, povezanimi s tehnologijo veriženja blokov (žetoni, pametne pogodbe, pametni preroki), ki predstavljajo del vizije računalništva v megli. V praksi bodo študentje poskušali uresničiti možnost za zaračunavanje uporabe pametne aplikacije s pomočjo pametne pogodbe,

izdelane v programskem jeziku Solidity ter nameščene v sistem za tehnologijo veriženja blokov Ethereum testnet.

V *zadnjem tednu* bomo analizirali potencial prihajajočih novih tehnologij, npr. pobude evropske komisije na področju naslednje generacije interneta. Študentje bodo rezultate svojih projektov v laboratoriju predstavili svojim kolegom in predavatelju.

Metode učenja in poučevanja

Predavanja; laboratorijske vaje, kjer študenti spremljajo postopek razvoja večstopenjske pametne aplikacije; seminarsko delo (projekt), kjer študenti razvijajo in integrirajo pametno aplikacijo z upoštevanjem pojava in prakse DevOps; posvetovanja; študij literature.

Podroben učni načrt

1. teden: Uvod v računalništvo v megli. Računalništvo v megli in z njimi povezani koncepti. Virtualizacija, federacije in druge oblike združevanja ponudnikov računalništva v oblaku. Računalniški kontinuum: internet stvari, računalništvo na robu, v megli in v oblaku. Motivacija za računalništvo v megli: tokovi masovnih podatkov - Problem štirih "V"-jev masovnih podatkov. Organizacijski in nadzorni slogi. Možnosti decentralizacije. Primeri razplatenih arhitektur. Dinamično spreminjanje obratovalnih pogojev aplikacij računalništva v megli. Energetska učinkovitost, zasebnost, varnost in druge visokonivojske zahteve. *DevOps* proces za razvoj aplikacij računalništva v megli. Vloga semantike pri procesu integracije. *Laboratorijske vaje:* Delo se bo začelo s preizkusom algoritmov in modelov globokega učenja (npr. s *TensorFlow*). Študentje bodo pozvani k izvedbi predloga projekta do konca tretjega tedna.

2. teden: Motivacija: pametne aplikacije in okolja. Strategija pametne specializacije v Sloveniji - področja in primeri uporabe. Analize zahtev. Večstopenjski načrti aplikacij. Samoprilagajanje sistema in aplikacij. Nameščanje in izvajanje. *Laboratorijske vaje:* Nadaljevanje iz prvega tedna.

3. teden: Pristop združitve informacij. Primeri digitalnega dvojčka, razširjene virtualnosti, obveščanja in kibernetičnih sistemov. Laboratorijske vaje bo prvotno aplikacijo za globoko učenje razširilo s funkcijo obveščanja. Predavatelj bo ocenil prve predloge projektov. *Laboratorijske vaje:* Razširitev aplikacije z 2. tedna s funkcijo obveščanja (npr. e-pošta, Slack).

4. teden: Fenomen in praksa DevOps za računalništvo v megli. Korak za korakom skozi vse faze *DevOps*. Napredna delovna okolja (workbench) za programsko opremo, kot je *SWITCH* za časovno kritične aplikacije v oblaku. Pristop k orkestraciji. *Laboratorijske vaje:* študentje bodo sestavili in preizkusili delovno orodje Fabric8.

5. teden: Računalništvo zahtev za pametne storitve in aplikacije. Funkcionalne in nefunkcionalne zahteve. Kakovost storitve. Zahteve na visoki ravni. Energetska učinkovitost. Operativni stroški. Uporaba poenotenega jezika modeliranja za zajemanje zahtev. Kompromisi. *Laboratorijske vaje:* izdelava diagramov UML in analiza zahtev konkretne aplikacije, analiza postopka razvoja aplikacije globokega učenja.

6. teden: Programski in računalniški viri ter nadzor. Programska oprema in računalniški viri v celotnem spektru računalništva roba do oblaka. Modeli virov. Pristopi spremljanja na več ravneh. Infrastruktura, vsebnik, virtualka, meritve ravni aplikacije. Primerjava sistemov za spremljanje. Pristopi modeliranja kvalitete storitev. Zagotavljanje, razvrščanje in preverjanje možnosti uvajanja v oblak. *Laboratorijske vaje:* Uvedena bodo orodja za spremljanje izbrane aplikacije globokega učenja, kot je npr. Prometheus z vizualizacijo Banana.

7. teden: Upravljanje slik vsebnikov in virtualnih strojev. Slike vsebnikov in virtualnih strojev. Teorija in praksa priprave, fragmentacija, optimizacija, dostava in delovanje slik ter shrambe slik vsebnikov in virtualnih strojev. Primer optimizirane shrambe slik virtualnih strojev ENTICE. *Laboratorijske vaje:* Predstavitev orodja Docker Compose. Namestitev algoritma in modela za

globoko učenje v vsebnik. Izvedbe različnih operacij z vsebniki. Ob koncu tedna bodo študentje predstavili trenutno stanje svojega projekta.

8. teden: Načrtovanje večstopenjskih aplikacij. Pristopi k reševanju različnih nefunkcionalnih zahtev z zasnovo pametne aplikacije. Računalništvo na robu. Izvedba vodov masovnih podatkov od roba do oblaka. Uporaba ponudnikov hibridnih oblakov (infrastruktura kot storitev, platforma kot storitev, programje kot storitev, predmet kot storitev, itd.) *Laboratorijske vaje:* študentje bodo lahko primerjali obstoječe zasnove in se ukvarjali z različnimi izboljšavami za obravnavo aplikativnih zahtev. Nadaljevali bodo z delom na projektu.

9. teden: Uporaba metod globokega učenja v aplikacijah računalništva v megli. Razvrstitev zahtevnejših algoritmov in modelov globokega učenja in postopki njihovega nameščanja v vsebnike. Taksonomija metod umetne inteligence ter njihove možnosti za implementacijo v vsebnikih. Večstopenjska postavitev vsebnikov (mikrororitev) od roba omrežja vse do oblaka. Postopki optimizacije izbranih metod globokega učenja za različne namene (npr. varčevanje z energijo, pospeševanje, itd.) *Laboratorijske vaje:* spremljanje kakovosti storitve različnih namenskih različic aplikacij globokega učenja.

10. teden: Primerjalne analize sistemov tokov masovnih podatkov. Platforme in integracija interneta stvari. Večstopenjski tokovi masovnih podatkov. Zahteve za elastičnost in razširljivost. Vrste podatkov. Tok podatkov. Dostava podatkov k procesom v primerjavi z dostavo procesov k podatkovnim virom (npr. na rob omrežja). Čezmejno upravljanje podatkov, npr. z namenom ohranjanja zasebnosti. *Laboratorijske vaje:* preizkus napredne platforme interneta stvari (npr. SensiNact). Namesnitev algoritma in modela za globoko učenje v vsebnik.

11. teden: Upravljanje s tokovi masovnih podatkov ter načela upravljanja podatkov v računalništvu v megli. Pregled metodologij in tehnik za primerjalno analizo aplikacij za obdelavo masovnih podatkov. Kvalitativno in kvantitativno vrednotenje aplikacij. *Laboratorijske vaje:* praktično delo z Big Data Bench 4.0. Izdelava primerjalne analize za izbrano aplikacijo globokega učenja.

12. teden: Uvod v tehnologijo veriženja blokov. Zgodovina, zasnova, tehnologija in filozofski vidiki tehnologije veriženja blokov (blockchaina). Uskladitev tehnologije veriženje blokov z računalništvom v megli. Poslovni modeli interneta stvari, umetne inteligence, računalništva v oblaku in tehnologije veriženja blokov. Pristopi za monetizacijo storitev. Primeri storitev in aplikacij, ki temeljijo na tehnologiji veriženju blokov. *Laboratorijske vaje:* zasnova pristopa monetizacije za izbrano aplikacijo globokega učenja.

13. teden: Pametne pogodbe in pametni preroki. Programski jeziki, metode, sprožilci, pogodbe, decentralizirani preroki. Predloge in primeri sporazumov na ravni storitev. Uporaba pametnih pogodb pri razvoju večstopenjskih aplikacij. *Laboratorijske vaje:* Študenti bodo izdelali pametno pogodbo (npr. v jeziku Solidity).

14. teden: Visokonivojske zahteve. Doseganje zanesljivosti, zaupanja, varnosti in zasebnosti pri aplikacijah računalništva v megli. Preučevanje različnih pristopov. Uporaba semantike pri veriženju blokov, npr. ont.io. *Laboratorijske vaje:* Študentje bodo dokončali pametno pogodbo, ki omogoča monetizacijo za aplikacijo globokega učenja.

15. teden: Pobuda naslednje generacije interneta. Analiza trenutnega stanja tehnologij in trendov. Vizija interneta, osredotočenega na ljudi. *Laboratorijske vaje:* Študenti bodo predstavili rezultate svojih projektov.

Predvideni učni rezultati:

Znanje in razumevanje:

- Študent razume pričakovani vpliv novih pametnih storitev in aplikacij.
- Študent razume proces razvoja računalniško, pomnilniško in omrežno intenzivnih pametnih aplikacij.
- Študent razume ključne tehnološke zahteve pri omogočanju aplikacije strojnega (globokega) učenja za izvajanje v decentraliziranem okolju računalništva v oblaku.
- Študent razume pristope za združevanje informacij ter visokonivojske zahteve aplikacije računalništva v megli.
- Študent razume pristope nadzorovanja in modeliranja kakovosti storitev za pametne aplikacije.
- Študent bo izkusil integracijo tehnologij interneta stvari, umetne inteligence, računalništva v oblaku in veriženja blokov.

Pridobljene kompetence:

- Spretnosti uporabe in vključevanja naprednih tehnologij interneta stvari, umetne inteligence, računalništva v oblaku in veriženja blokov pri razvoju aplikacij.
- Spretnosti za samostojno načrtovanje in razvoj pametnih aplikacij.
- Spretnosti za nadzor nad delovanjem aplikacij v oblaku.
- Spretnosti modeliranja kakovosti storitev za računalniške, pomnilniške in omrežno intenzivne aplikacije računalništva v oblaku.
- Spretnosti za monetizacijo aplikacij z uporabo tehnologij veriženja blokov, pametnih pogodb in pametnih prerokov.

Preizkus znanj

Laboratorijske vaje (50 točk)

- Predlog projekta (10 točk)
- Napredek na polovici (10 točk)
- Končna prezentacija in poročilo (30 točk)

Končni izpit (50 točk)

Življenjepis

Vlado Stankovski je izredni profesor računalništva in informatike. Ima dolgoletne izkušnje na področju programskega inženirstva, računalništva v oblaku, na robu in v megli, porazdeljenih sistemov, semantike ter tehnologij umetne inteligence (strojno, globoko učenje). Dr. Stankovski je delal na področju integracije programske opreme in je v zadnjih 15 letih sodeloval pri razvoju različnih tehnologij vmesne programske opreme. Sodeloval je pri več nacionalnih in mednarodnih projektih (seznam spodaj), v konzorciju Superračunalniški center Slovenije, na projektu pametne specializacije IQ DOM ter v gruči za programsko inženirstvo projektov Obzorje 2020, kot predstavnik projektov ENTICE, SWITCH in DECENTER.

Projekti

1. 2018–2021, DECENTER: Decentralised technologies for orchestrated Cloud-to-Edge intelligence. European Commission, Horizon 2020, e2.197.700, University of Ljubljana part e305.250. <https://www.decenter-project.eu>.
2. 2015–2018, ENTICE: dEcentralized repositories for traNSPARENT and efficienT vRtual maChine opERations. European Commission, Horizon 2020, e2.767.563, University of Ljubljana part e359.625. <http://www.entice-project.eu>.
3. 2015–2018, SWITCH: Software Workbench for Interactive, Time Critical and Highly self-adaptive cloud applications. European Commission, Horizon 2020, e2.922.500, University of Ljubljana part e288.000. <http://www.switchproject.eu>.
4. 2010–2013, mOSAIC Cloud project: Open Source API and Platform for Multiple Clouds. European Commission, Framework Programme VII, e3.705.784, University of Ljubljana part e210.560. <http://www.mosaic-project.eu>.

5. 2004–2006, DataMiningGrid (technical coordination): Data Mining Tools and Services for Grid Computing Environments. European Commission, Framework Programme VI, e1.883.000, University of Ljubljana part e366.000. Technical Manager.
6. 2004–2007, InteliGrid (coordination): Interoperability of Virtual Organizations on Complex Semantic Grid. European Commission, Framework Programme VI, e2.100.000, University of Ljubljana part e410.000.

Bibliografija

1. Kochovski, P., Gec, S., Stankovski, V., Bajec, M., Drobintsev, P. D. Trust management in a blockchain based fog computing platform with trustless Smart Oracles. *Future generation computer systems*, dec. 2019, vol. 101, str. 747-759, doi: 10.1016/j.future.2019.07.030.
2. Taherizadeh, S., Stankovski, V. Dynamic multi-level auto-scaling rules for containerized applications. *The Computer Journal*, febr. 2019, letn. 62, št. 2, str. 174-197, <https://doi.org/10.1093/comjnl/bxy043>.
3. Kochovski, P., Drobintsev, P. D., Stankovski, V. Formal Quality of Service assurances, ranking and verification of cloud deployment options with a probabilistic model checking method. *Information and Software Technology*, maj 2019, letn. 109, str. 14-25, <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2019.01.003>.
4. Kochovski, P., Stankovski, V. Supporting smart construction with dependable edge computing infrastructures and applications. *Automation in Construction*, 2018, letn. 85, št. jan., str. 182-192, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.008>.
5. Paščinski, U., Trnkoczy, J., Stankovski, V., Cigale, M., Gec, S. QoS-aware orchestration of network intensive software utilities within Software Defined Data Centres - An architecture and implementation of a Global Cluster Manager. *Journal of Grid Computing*, 2018, letn. 16, št. 1, str. 85-112, <https://doi.org/10.1007/s10723-017-9415-1>.
6. Taherizadeh, S., Jones, A.C., Taylor, I., Zhao, Z., Stankovski, V. Monitoring self- adaptive applications within edge computing frameworks: A State-of-the-Art review. *The Journal of Systems and Software*, feb. 2018, letn. 136, 20 str, <https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.10.033>.
7. Taherizadeh, S., Stankovski, V., Grobelnik, M. A capillary computing architecture for dynamic Internet of Things - Orchestration of microservices from Edge devices to Fog and Cloud providers: 2938. *Sensors*, 2018, letn. 18, št. 9, str. 1-23, <https://doi.org/10.3390/s18092938>.
8. Gec, S., Kimovski, D., Paščinski, U., Prodan, R., Stankovski, V. Semantic approach for multi-objective optimisation of the ENTICE distributed Virtual Machine and container images repository. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, nov. 2017, str. 1-19, <https://doi.org/10.1002/cpe.4264>.
9. Kimovski, D., Marosi, A. Gec, S., Saurabh, N., Kertesz, A., Kecskemeti, G., Stankovski, V., Prodan, R. Distributed environment for efficient Virtual Machine image management in federated Cloud architectures. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, nov. 2017, letn. 30, št. 20, str. 1-16, <https://doi.org/10.1002/cpe.4220>.
10. Casale, G., Chesta, C., Deussen, P. et al. Current and future challenges of software engineering for services and applications. *Procedia Computer Science*, 2016, letn. 97, str. 34-42, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.08.278>.
11. Zhao, Z., Martin, P., Wang, J. et al. Developing and operating time-critical applications in clouds: The State of the Art and the SWITCH approach. *Procedia Computer Science*, vol. 68, 2015, str. 17-28, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.220>.
12. Stankovski, V., Petcu, D. Developing a Model Driven Approach for engineering applications based on mOSAIC: Towards sharing elastic components in the Cloud. *Cluster Computing*, 2013, letn. 17, št. 1, str. 101-110, <https://doi.org/10.1007/s10586-013-0263-x>.
13. Južna, J., Češarek, P., Petcu, D., Stankovski, V. Solving solid and fluid mechanics problems in the Cloud with mOSAIC. *Computing in Science & Engineering*, 2014, letn. 16, št. 3, str. 68-77, DOI:10.1109/MCSE.2013.135.

14. Multiple authors (including Stankovski, V.) Transformative effects of IoT, Blockchain and Artificial Intelligence on cloud computing: Evolution, vision, trends and open challenges, <https://doi.org/10.1016/j.iot.2019.100118>, in press.
15. Gec, S., Lavbič, D., Bajec, M., Stankovski, V. Smart contracts for container based video conferencing services: architecture and implementation. V: Coppola, M. (ur.). Economics of grids, clouds, systems, and services : proceedings, (Lecture notes in computer science (Internet), ISSN 1611-3349, Computer communication networks and telecommunications, 11113). Cham: Springer. cop. 2019, str. 219-233, ilustr. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-13342-9_19, doi: 10.1007/978-3-030-13342-9_19.
16. Kochovski, P., Bajec, M., Sakellariou, R., Stankovski, V. A smart and safe construction application design for fog computing. V: Chang, Carl K. (ur.). IEEE services 2019: proceedings. Los Alamitos (CA); Washington; Tokyo: IEEE. cop. 2019, str. 376-377, ilustr., doi: 10.1109/SERVICES.2019.00112.
17. Kavakli, E., Sakellariou, R., Stankovski, V. Towards a Methodology for Evaluating Big Data Platforms. V: Chang, Carl K. (ur.). IEEE services 2019: proceedings. Los Alamitos (CA); Washington; Tokyo: IEEE. cop. 2019, doi: 10.1109/SERVICES.2019.00113.
18. Kochovski, P., Sakellariou, R., Bajec, M., Drobintsev, P.D., Stankovski, V. An architecture and stochastic method for database container placement in the edge-fog-cloud continuum. V: IPDPS 2019 : proceedings, (Proceedings - IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium, ISSN 1530-2075). Los Alamitos (California); Washington; Tokyo: CPS: IEEE Computer Society. cop. 2019, str. 396-405, ilustr. doi: 10.1109/IPDPS.2019.00050.
19. Štefanič, P., Kimovski, D., Suci, G., Stankovski, V. Non-functional requirements optimisation for multi-tier cloud applications: An early warning system case study. V: 2017 IEEE SmartWorld : Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computed, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCom/IOP/SCI): 2017 conference proceedings: San Francisco Bay Area, California, USA, August 4-8, 2017. Piscataway: IEEE, 2017, str. 1-8, ilustr., doi: 10.1109/UIC-ATC.2017.8397637.
20. Taherizadeh, S., Taylor, I.J., Jones, A.C., Zhao, Z., Stankovski, V. A network edge monitoring approach for real-time data streaming applications. V: BAÑARES, José Ángel (ur.), TSERPES, Konstantinos (ur.), ALTMANN, Jörn (ur.). Economics of grids, clouds, systems, and services: revised selected papers, (Lecture notes in computer science, 10382). Cham: Springer. 2017, str. 293-303, ilustr., doi: 10.1007/978-3-319-61920-0_21.