

Studija sustavnog mapiranja osmotskog računalstva

Darko Andročec

Fakultet organizacije i informatike

Sveučilište u Zagrebu

Pavlinska 2, 42000 Varaždin, Croatia

dandrocec@foi.hr

Sažetak. *Osmotsko računalstvo (engl. osmotic computing) je novo područje istraživanja koje proučava migraciju, implementaciju i optimizaciju mikroservisa na infrastrukturi oblaka (engl. cloud) i ruba (engl. edge). U ovom je radu korištena sustavna metoda za izradu mape osmotskog računalstva te za klasifikaciju postojećih radova. Svaka od 21 relevantne studije podijeljena je u kategorije u tri različite dimenzije (vrsta publikacije, primijenjene metode i tehnike, te zrelost rada). Učestalost svake kategorije pokazuje kakva su istraživanja prevladavala u prošlosti kako bi se identificirale nove mogućnosti istraživanja. Osmotsko računalstvo nova je paradigma s mnogim budućim istraživačkim mogućnostima, kao što su konfiguracija, umrežavanje, sigurnost, praćenje i orkestriranje mikroservisa raspoređenih u ovom složenom okruženju.*

Ključni pojmovi. Osmotsko računalstvo, računalstvo u oblacima, rubno računalstvo, mikroservisi

1 Uvod

U posljednje vrijeme, računalstvo u oblacima (engl. cloud computing) je popularna paradigma koja omogućuje fleksibilnost i postepeno plaćanje usluga za manja i srednja poduzeća. Njegova tri modela (infrastruktura kao servis, platforma kao servis, te softver kao servis) pokrivaju mnoge slučajeve korištenja u praksi. Neke organizacije koriste hibridne oblake (engl. hybrid cloud) gdje se osjetljivi podaci i aplikacije pokreću lokalno, a aplikacije koje su procesorski i podatkovno zahtjevne se pokreću korištenjem resursa javnih pružatelja usluga u oblacima. Nedavno se neki od resursa oblaka pomiču bliže korisnicima, pa su tako nastale nove paradigme poput računalstva u magli (engl. fog computing) i računalstva na rubu (engl. edge computing). Ove paradigme su nastale najviše zbog uređaja i servisa interneta stvari (engl. internet of things). Računalstvo na rubu pruža neke mogućnosti procesiranja i pohrane blizu uređaja interneta stvari (mikrokontrolera, akuatora, senzora), bez trenutnog korištenja resursa

pružatelja usluga u oblaku (npr. Google Cloud, Amazon Web Services ili Microsoft Azure).

Osmotsko računalstvo (engl. osmotic computing) je nova paradigma koja stremi ka distribuiranim i federiranim okruženjima zbog povećanja mogućnosti procesiranja/pohrane na rubu, te koja omogućuje automatski razvoj i stavljanje u uporabu mikroservisa na infrastrukturu ruba i oblaka (Villari, Fazio, Dustdar, Rana, & Ranjan, 2016). Iz toga slijedi da se osmotsko računalstvo bavi razvojem, stavljanjem u uporabu, te mrežnim i sigurnosnim problemima servisa i mikroservisa preko oblaka i rubova, te pružanjem pouzdane podrške za internet stvari sa specificiranom razinom kvalitete usluge (Villari et al., 2016). Za neke slučajeve korištenja kao što su upravljanje nepogodama i zdravlje, danas dominantni model interneta stvari u oblacima treba biti revidiran u fleksibilniji decentralizirani model. Osmotsko računalstvo dekomponira aplikacije u mikroservise, a mikroservise stavlja u kontejnere (npr. Docker i Kubernetes) koji se oportunistički stavljaju bilo na oblak bilo na rub prema dostupnosti resursa i zahtjevima aplikacije.

Ostatak ovog članka organiziran je kako slijedi. U drugom poglavlju dan je opis osmotskog računalstva. Poglavlja 3 i 4 prikazuju ključne elemente istraživačkog protokola i opisuju kako je napravljena studija mapiranja. Poglavlje 5 izvještava o rezultatima mapiranja. Na kraju, poglavlje 6 izlistava glavne teme primarnih studija, a poglavlje 7 daje zaključke i predlaže moguće buduće smjerove istraživanja.

2 Osmotsko računalstvo

Paradigmu osmotskog računalstva uveli su Villari i koautori (Villari et al., 2016). Oni su definirali pojam osmotskog računalstva i napravili popis mogućeg budućeg rada na ovoj novoj paradigmi. Villari i sur. (2016) su predložili sljedeće istraživačke smjerove: konfiguracija mikroservisa, umrežavanje mikroservisa, sigurnost mikroservisa, računalstvo na rubu, ocjenjivanje interferencije i radnog opterećenja mikroservisa, nadgledanje, te orkestriranje i kontrola

elastičnosti mikroservisa. Njihovi prijedlozi za buduća istraživanja iz područja osmotskog računalstva sumirani su u Tablici 1.

Tablica 1. Smjerovi istraživanja osmotskog računalstva (Villari et al., 2016)

Smjer istraživanja	Opis
Konfiguracija mikroservisa	- razvoj okvira za holističko odlučivanje koji automatiziraju odabir konfiguracije između mikroservisa na oblaku i na rubu
Umrežavanje mikroservisa	- razvoj sloja interoperabilnosti za udaljenu orkestraciju heterogenih uređaja na rubu - ontologija metapodataka za karakterizaciju federacijskih mreža na oblaku i rubu
Sigurnost mikroservisa	- koherentna sigurnosna politika i na oblaku i na rubu za omogućavanje izvođenja i migracije mikroservisa - dodavanje sigurnosnih mogućnosti na aplikacije za kontejnere
Računalstvo na rubu	- razumijevanje tipova mikroservisa koji su više relevantni da se izvode na rubu nego na oblaku i obrnuto
Ocjenjivanje interferencije i radnog opterećenja mikroservisa	- nove tehnike konsolidacije mikroservisa koje mogu dinamički detektirati i riješiti probleme podjele resursa pomoću karakterizacije performansi mikroservisa, određivanja prioriteta radnog opterećenja i koordiniranog stavljanja u uporabu
Nadgledanje	- potreba za istraživanjem skalabilnih metrika kroz različite razine osmotskog računalstva
Orkestracija mikroservisa i kontrola elastičnosti	- istraživanje tehnika strojnog učenja za razvoj prediktivnih modela za predviđanje ulaznih opterećenja i mjernih podataka o izvedbi više mikroservisa na oblaku i rubu

3 Metodika sustavnog mapiranja

Kako bi se napravio pregled postojećih radova, odabrana je metodika sustavnog mapiranja (engl. systematic mapping study). Glavna namjena ovakvih studija je dati pregled istraživačkog područja.

Petersen i sur. - (Petersen, Feldt, Mujtaba, & Mattsson, 2008) i (Petersen, Vakkalanka, & Kuzniarz, 2015) su naveli pet ključnih koraka za izvođenje studije sustavnog mapiranja u softverskom inženjerstvu:

1. Definicija istraživačkih pitanja - Određuju se istraživačka pitanja kako bi se definirao opseg istraživanja studije sustavnog mapiranja.
2. Izvršavanje pretraživanja - Znanstvene radove pronalazi se izvršavanjem pojma pretraživanja iz istraživačkih pitanja nad znanstvenim bazama podataka.
3. Probir radova - Miču se nerelevantni znanstveni radovi prema definiranim kriterijima uključivanja i isključivanja radova.
4. Ključne riječi pomoću sažetaka - U ovom koraku istraživači trebaju čitati sažetke, tražiti ključne riječi (glavne koncepte) i kreirati klasifikacijsku shemu.
5. Ekstrakcija podataka i mapiranje radova - Relevantni radovi su prikazani i sumirani u obliku sustavne mape.

3.1 Opseg istraživanja sustavnog mapiranja

Istraživačka pitanja na koja želimo odgovoriti ovom studijom sustavnog mapiranja su:

RQ1: Koji se tipovi radova o osmotskom računalstvu objavljuju?

RQ2: Koje su najčešće korištene tehnike/metode kod radova o osmotskom računalstvu?

RQ3: Kakva je zrelost radova o osmotskom računalstvu?

3.2 Izvršavanje pretraživanja

Znanstveni članci su identificirani korištenjem pojma pretraživanja „osmotic computing“ nad sljedećim bazama: IEEE Xplore, Scopus, INSPEC i Web of Science Core Collection. Pretraživanje cijelog teksta radova napravljeno je 19. travnja 2019. Pronađeno je ukupno 106 publikacija, a njihova distribucija po znanstvenim bazama podataka prikazana je u Tablici 2.

Tablica 2. Distribucija pronađenih publikacija

Izvor	Broj publikacija
IEEE Xplore	37
Scopus	26
INSPEC	30
Web of Science	13

3.3 Probir radova

Nerelevantni radovi (publikacije koje nisu relevantne za odgovaranje na postavljena istraživačka

pitanja sustavnog mapiranja) su izbačeni temeljem analize njihovih naslova, sažetaka i ključnih riječi. Poglavlja u knjigama, znanstveni radovi iz časopisa i znanstvenih konferencija o osmotskom računalstvu su uključeni. Duplicirane studije i radovi koji nisu pisani na engleskom jeziku su izbačeni. Ako je više radova izvjestilo o istom pronalasku, samo najnoviji rad je ostao uključen u daljnju analizu. Ako sažetak nije bio dovoljan da se odredi da li je fokus pojedinog rada na osmotskom računalstvu, čitalo se uvodno poglavlje i zaključak kako bi se odlučilo da li uključiti članak ili ne. Konačno, lista 21 relevantnog rada prikazana je u Tablici 3.

Tablica 3. Lista relevantnih publikacija

ID	Autori	Naslov znanstvenog članka
P1	(Pacheco, Cano, Flores, Trujillo, & Marquez, 2018)	A Smart Classroom based on Deep Learning and Osmotic IoT Computing
P2	(Filocamo et al., 2018)	An Innovative Osmotic Computing Framework for Self Adapting City Traffic in Autonomous Vehicle Environment
P3	(Buzachis & Villari, 2018)	Basic Principles of Osmotic Computing: Secure and Dependable MicroElements (MELs) Orchestration Leveraging Blockchain Facilities
P4	(Sharma, You, Kumar, & Kim, 2017)	Computational Offloading for Efficient Trust Management in Pervasive Online Social Networks Using Osmotic Computing
P5	(Morshed et al., 2017)	Deep Osmosis: Holistic Distributed Deep Learning in Osmotic Computing
P6	(Oyekanlu, 2018a)	Distributed Osmotic Computing Approach to Implementation of Explainable Predictive Deep Learning at Industrial IoT Network Edges with Real-Time Adaptive Wavelet Graphs
P7	(Okafor, Ugwoke, & Obayi, 2017)	Evaluation of virtualized osmotic cloud network using discrete event Branch-and-Bound heuristics
P8	(Carnevale, Celesti, Galletta, Dustdar, & Villari, 2018)	From the Cloud to Edge and IoT: a Smart Orchestration Architecture for Enabling Osmotic Computing
P9	(Sharma, Srinivasan, Jayakody, Rana, & Kumar, 2017)	Managing Service-Heterogeneity using Osmotic Computing
P10	(Gamal, Rizk, Mahdi, & Elnaghi, 2019)	Osmotic Bio-Inspired Load Balancing Algorithm in Cloud Computing
P11	(Oyekanlu, 2018b)	Osmotic Collaborative Computing for Machine Learning and Cybersecurity Applications in Industrial IoT Networks and Cyber Physical Systems with Gaussian Mixture Models
P12	(Villari et al., 2016)	Osmotic Computing: A New Paradigm for Edge/Cloud Integration

P13	(Villari, Galletta, Celesti, Carnevale, & Fazio, 2018)	Osmotic Computing: Software Defined Membranes meet Private/Federated Blockchains
P14	(Nardelli, Nastic, Dustdar, Villari, & Ranjan, 2017)	Osmotic Flow: Osmotic Computing + IoT Workflow
P15	(Rausch, Dustdar, & Ranjan, 2018)	Osmotic Message-Oriented Middleware for the Internet of Things
P16	(Souza, Cacho, et al., 2018)	Osmotic Monitoring of Microservices between the Edge and Cloud
P17	(Buzachis, Galletta, et al., 2018)	Towards Osmotic Computing: Analyzing Overlay Network Solutions to Optimize the Deployment of Container-Based Microservices in Fog, Edge and IoT Environments
P18	(Buzachis, Bernava, Busa, Pioggia, & Villari, 2018a)	Towards Osmotic Computing: Future Prospect for the Health Information Technology (HIT) Systems of ISASI-CNR (ME)
P19	(Buzachis, Bernava, Busa, Pioggia, & Villari, 2018b)	Towards the Basic Principles of Osmotic Computing: A Closed-Loop Gamified Cognitive Rehabilitation Flow Model
P20	(Longo, De Matteis, & Zappatore, 2018)	Urban Pollution Monitoring Based on Mobile Crowd Sensing: An Osmotic Computing Approach
P21	(Souza, Wen, et al., 2018)	Using Osmotic Services Composition for Dynamic Load Balancing of Smart City Applications

4 Klasifikacijska shema

Sljedeći korak kojeg su predložili Peterson i suradnici (Peterson et al., 2008) je čitanje sažetaka odabranih primarnih studija i bilježenje relevantnih ključnih riječi i koncepata za razumijevanje doprinosa svakog znanstvenog članka. To pomaže pri definiranju skupa kategorija. Korištenjem ove tehnike, prikupljeni su podaci potrebni za odgovaranje na tri istraživačka pitanja ove studije sustavnog mapiranja. Za svaki od 21 relevantnih znanstvenih radova, ispunjena je forma u datoteci Excel-a. U ovom radu, publikacije su podijeljene u kategorije u tri različite dimenzije. Dimenzije i njihove kategorije prikazane su u Tablici 4.

Tablica 4. Dimenzije klasifikacije i njihove kategorije

Dimenzija	Kategorije
tip publikacije	poglavlje u knjizi, članak na konferenciji, članak u časopisu
primijenjene metode i tehnike	lanac blokova (engl. blockchain), strojno učenje (engl. machine learning), simulacija

zrelost zn. članka	pregledni/inicijalni rad, slučaj korištenja/prototip, model/okvir/middleware, arhitektura
--------------------	---

5 Mapiranje

Nakon toga relevantni članci su sortirani prema uspostavljenoj klasifikacijskoj shemi. Jedan članak može biti mapiran na više kategorija, pa ukupni brojevi na stranama mape možda neće biti jednaki. Frekvencija svake kategorije pokazuje koji tip istraživanja je bio dominantan u prošlosti, pa se mogu identificirati nedostaci i nove mogućnosti istraživanja. U ovom radu, rezultati će se prikazati u obliku odgovora na istraživačka pitanja izlistana u prvom koraku procesa studije sustavnog mapiranja.

RQ1: *Koji se tipovi radova o osmotskom računalstvu objavljuju?* Od 21 primarnih studija, 15 su radovi na konferencijama, a 6 radovi u časopisima. Nije pronađeno niti jedno poglavlje u knjizi na temu osmotskog računalstva. To je bilo za očekivati, pošto je sam pojam osmotskog računalstva prvi put spomenut 2016. godine, pa se u budućnosti očekuje više radova u časopisima kao i poglavlja u knjigama.

RQ2: *Koje su najčešće korištene tehnike/metode kod radova o osmotskom računalstvu?* Većina članaka su zapravo pregledni članci, inicijalni radovi i studije slučajeve, te isti ne koriste specifičnu tehniku ili metodu. Preostali članci najviše koriste metode strojnog učenja. Na primjer, tri članka koriste dubinsko učenje (P1, P5 i P6). Metode kolonije mrava i umjetne pčelinje kolonije koriste se u dva rada (P4 i P10), a jedan rad (P11) koristi Gaussove mješovite modele. Osim strojnog učenja, rad P7 koristi simulaciju (konkretnije, heuristiku simulacije diskretnih događaja), a dva članka (P3 i P13) koriste tehnologiju lanaca blokova.

RQ3: *Kakva je zrelost radova o osmotskom računalstvu?* Pošto je termin osmotskog računalstva nastao u 2016., nije iznenađenje da ovo znanstveno polje još nije zrelo. Istraživački smjerovi navedeni u Tablici 1 ovog rada većinom još nisu ni približno ostvareni. Većina primarnih studija svrstano je u kategoriju slučajeva korištenja/prototipova (P1, P4, P6, P8, P13, P16, P18, P19) i kategoriju pregledni/inicijalni radovi (P3, P5, P12).

6 Teme radova

U ovom poglavlju, prikazane su glavne teme 20 primarnih znanstvenih radova. Prvi članak koji koristi pojam osmotskog računalstva – P12 (Villari et al., 2016) – opisan je u prvom i drugom poglavlju ovog rada, pa ga nismo ovdje ponovno uključivali. Glavne teme prikazane su u Tablici 5.

Tablica 5. Glavne teme primarnih studija

ID	Glavna tema
P1	Osmotska računalna arhitektura za IoT pametnu učionicu koristi se za testiranje modela dubokog učenja (engl. deep learning) za prepoznavanje osobe. Prototip pametne učionice implementiran je za testiranje rezultata dubokog učenja na svakom od ovih slojeva.
P2	Prijedlog inovativnog rješenja za osmotsko računalstvo za samo-prilagodavanje gradskog prometa u okruženju autonomnih vozila.
P3	Prijedlog MEL-ovog orkestracijskog pristupa kroz softverski definiranu membranu (SDMem) koja koristi blockchain objekte koji se pridržavaju načela osmoze.
P4	Za široko rasprostranjene društvene mreže predstavljen je opsežni okvir upravljanja povjerenjem. Koncept osmotskog računalstva koristi se za obavljanje računalnog opterećenja.
P5	U radu su analizirani istraživački izazovi koji su uključeni u razvoj klase holističkih distribuiranih algoritama dubokog učenja koji su svjesni resursa i podataka i koji su u stanju objasniti temeljne heterogene modele podataka, modele resursa (oblak/ rub/mobilni rub) i dostupnost podataka za vrijeme izvršavanja.
P6	Osmotski računalni pristup koristi se za ilustraciju kako se raspodijeljeno osmotsko računalstvo i postojeći jeftini hardver mogu koristiti za rješavanje složenih, računalno intenzivnih problema umjetne inteligencije (XAI) s dubokim učenjem od ruba, kroz maglu do sloja mrežnog oblaka sustava IIoT.
P7	Korištenje diskretne simulacije heuristike događaja za procjenu osmotske mreže distribuiranih podataka za pružanje usluga pametne mreže. U ovom radu predstavljen je heuristički sažetak validacije za osmotsku računalnu mrežu koji koristi koncept elastičnosti oblaka za korekciju odstupanja u smislu troškova i učinkovitosti.
P8	U radu je predstavljena prva verzija arhitekture osmotskog računalstva, usredotočena upravo na aspekt uvođenja mikroservisa. Istraživan je dizajn osmotskog pametnog orkestra, predstavljajući različite tehnologije koje omogućuju upotrebu slučajeva koji se odnose na registraciju osmotskih komponenata, orkestracijsku obuku i predviđanje i iskorištavanje mikroservisa. Stoga će jezgra procesa orkestracije biti modul umjetne inteligencije (AI) koji će učiti kroz praćenje osmotskih resursa raspoređenih na oblaku, rubu i / ili IoT-u.
P9	Predlaže se algoritam osmoze temeljen na fitnessu radi pružanja podrške za osmotsko računalstvo učinkovitim korištenjem postojećih resursa fog poslužitelja. Predloženi pristup može učinkovito distribuirati i raspoređivati usluge slijedeći princip osmoze. Rezultati su predstavljeni korištenjem numeričkih simulacija koje prikazuju dobitke u smislu kraćeg vremena dodjele i veće vjerojatnosti rukovanja uslugama s visokom iskorišćenošću resursa.
P10	Budući da je optimizacija hibridnom umjetnom pčelinjom kolonijom i kolonijom mrava dokazala svoju učinkovitost u dinamičnom okruženju u računalstvu u oblaku, rad koristi prednosti ovih bio-nadahnutih algoritama da formira algoritam za uravnoteženje opterećenja pomoću osmotske hibridne umjetne pčelinje kolonije i kolonije mrava (OH_BAC).

P11	Nekoliko GMM-ova, uključujući 2-GMM i 3-GMM, konstruirano je korištenjem C28x DSP-a i ugrađenog C-a kako bi pokazalo da se GMM dizajni mogu napraviti u obliku osmotskog mikroservisa od ruba IIoT-a do fog sloja IIoT-a. Osmotska metoda zajedničkog računanja koja se zagovara u ovom radu bit će presudna u osiguravanju mogućnosti prebacivanja mnogih složenih računalnih aplikacija temeljenih na strojnom učenju na rubove velikih IoT mreža široko dostupnih DSP-ova.
P13	Ovaj je rad namijenjen korištenju federalnog blockchaina (temeljenog na privatnoj verziji blockchaina gdje dionici međusobno komuniciraju radeći na distribuiranom registru (npr. Fabric, Sawtooth itd.) za praćenje svih podataka tijekom interakcija.
P14	U modelu osmotskog protoka, aplikacija IoT tijekom rada se modelira kao usmjereni (potencijalno ciklički) graf sa zadacima transformacije podataka kao svojim čvorovima i ovisnosti protoka podataka (ili ovisnosti upravljačkog protoka za računsku sinkronizaciju, ako je potrebno), te zadataka transformacije podataka kao njihovim vrhovima.
P15	U radu je predložena arhitektura koja se temelji na dva difuzijska modela: posredniku i klijentu. Od statičke centralizirane implementacije u oblaku, podižemo mrežu posrednika koji se šire na rubu na temelju dostupnosti resursa i broju klijenata i njihove blizine rubnim resursima.
P16	Predložen je sustav za praćenje osmotskog računalstva koji implementira predloženi jedinstveni model praćenja. Provodi se opsežna eksperimentalna procjena praćenja osmotskog sustava kako bi se proučila skalabilnost predloženog rješenja.
P17	Ovaj rad istražuje probleme povezivanja korištenjem različitih mrežnih slojeva. Autori posebno analiziraju performanse četiri mrežna sloja (OVN, Calico, Weave i Flannel).
P18	Motiviraju potrebu da se tradicionalni HIT sustavi presele u inovativne infrastrukture temeljene na osmotskoj računalnoj paradigmi. Konkretno, oni uvode dva slučaja stvarne uporabe, projekte Ataxia i Dyslexia.
P19	Autori predlažu mogući model protoka OC-a primijenjen na stvarnom slučaju korištenja: gamificirane kognitivne rehabilitacije. Štoviše, ovaj slučaj korištenja kognitivne rehabilitacije uvodi razvoj prilagođenog sustava virtualne stvarnosti temeljenog na ozbiljnoj igri koja pacijentu omogućava provođenje fizikalnih i kognitivnih terapija za rehabilitaciju koristeći prirodno korisničko sučelje koje se temelji na Microsoft Kinect-u.
P20	Ovaj se rad fokusira na dizajnu i razvoju middleware-a koji objedinjuje podatke koji dolaze s mobilnih i IoT uređaja posebno raspoređenih u urbanim kontekstima koristeći paradigmu osmotskog računalstva.
P21	Autori predlažu osmotski okvir izvršenja koji koristi najsvremenije tehnike mikroservisa za razmještanje i izvršavanje pametne gradske aplikacije u distribuiranom okruženju, uključujući rub i oblak.

7 Zaključak

Ovaj rad predstavlja trenutno stanje moderne paradigme nazvane osmotsko računalstvo pomoću metode sustavnog mapiranja. Zrelost postojećih radova je i dalje niska, većina radova razvrstana je u kategoriju pregledni / početni rad i slučajevi korištenja / prototipovi. Buduće teme istraživanja koje najviše obećavaju su konfiguracija, umrežavanje, sigurnost, nadgledanje i orkestracija mikroservisa raspoređenih na različitim elementima osmotskog računalstva. Obećavajuće metode za rješavanje spomenutih problema su različite vrste algoritama strojnog učenja. Neki radovi koriste duboko učenje i druge vrste strojnog učenja, ali mnoge moguće aplikacije i različiti algoritmi strojnog učenja još uvijek nisu korišteni u osmotskom računalstvu. Nadalje, mnogim postojećim radovima nedostaju stvarni (industrijski) slučajevi korištenja, a mnogi istraživački pravci navedeni u Tablici 1. ovog rada još nisu na odgovarajući način riješeni. Osmotsko računalstvo ostaje i dalje složen istraživački i praktični problem. Mnogi izazovi još nisu na odgovarajući način riješeni, pa postoji mnogo mogućnosti za buduća istraživanja problema osmotskog računalstva. Za sada nedostaje primjena osmotskog računalstva u industrijskom području, tako da će budućnost pokazati prihvaćanje ove nove računalne paradigme u industriji.

Reference

- Buzachis, A., Bernava, G. M., Busa, M., Pioggia, G., & Villari, M. (2018a). Towards Osmotic Computing: Future Prospect for the Health Information Technology (HIT) Systems of ISASI-CNR (ME). *2018 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, 01255–01260.
<https://doi.org/10.1109/ISCC.2018.8538714>
- Buzachis, A., Bernava, G. M., Busa, M., Pioggia, G., & Villari, M. (2018b). Towards the Basic Principles of Osmotic Computing: A Closed-Loop Gamified Cognitive Rehabilitation Flow Model. *2018 IEEE 4th International Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC)*, 446–452.
<https://doi.org/10.1109/CIC.2018.00067>
- Buzachis, A., Galletta, A., Carnevale, L., Celesti, A., Fazio, M., & Villari, M. (2018). Towards Osmotic Computing: Analyzing Overlay Network Solutions to Optimize the Deployment of Container-Based Microservices in Fog, Edge and IoT Environments. *2018 IEEE 2nd International Conference on Fog and Edge Computing (ICFEC)*, 1–10.
<https://doi.org/10.1109/CFEC.2018.8358729>
- Buzachis, A., & Villari, M. (2018). Basic Principles of Osmotic Computing: Secure and Dependable

- MicroElements (MELs) Orchestration Leveraging Blockchain Facilities. *2018 IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing Companion (UCC Companion)*, 47–52.
<https://doi.org/10.1109/UCC-Companion.2018.00033>
- Carnevale, L., Celesti, A., Galletta, A., Dustdar, S., & Villari, M. (2018). From the Cloud to Edge and IoT: a Smart Orchestration Architecture for Enabling Osmotic Computing. *2018 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA)*, 419–424.
<https://doi.org/10.1109/WAINA.2018.00122>
- Filocamo, B., Galletta, A., Fazio, M., Ruiz, J. A., Sotelo, M. A., & Villari, M. (2018). An Innovative Osmotic Computing Framework for Self Adapting City Traffic in Autonomous Vehicle Environment. *2018 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, 01267–01270.
<https://doi.org/10.1109/ISCC.2018.8538675>
- Gamal, M., Rizk, R., Mahdi, H., & Elnaghi, B. E. (2019). Osmotic Bio-Inspired Load Balancing Algorithm in Cloud Computing. *IEEE Access*, 7, 42735–42744.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2907615>
- Longo, A., De Matteis, A., & Zappatore, M. (2018). Urban Pollution Monitoring Based on Mobile Crowd Sensing: An Osmotic Computing Approach. *2018 IEEE 4th International Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC)*, 380–387.
<https://doi.org/10.1109/CIC.2018.00057>
- Morshed, A., Jayaraman, P. P., Sellis, T., Georgakopoulos, D., Villari, M., & Ranjan, R. (2017). Deep Osmosis: Holistic Distributed Deep Learning in Osmotic Computing. *IEEE Cloud Computing*, 4(6), 22–32.
<https://doi.org/10.1109/MCC.2018.1081070>
- Nardelli, M., Nastic, S., Dustdar, S., Villari, M., & Ranjan, R. (2017). Osmotic Flow: Osmotic Computing + IoT Workflow. *IEEE Cloud Computing*, 4(2), 68–75.
<https://doi.org/10.1109/MCC.2017.22>
- Okafor, K. C., Ugwoke, F. N., & Obayi, A. A. (2017). Evaluation of virtualized osmotic cloud network using discrete event Branch-and-Bound heuristics. *2017 IEEE 3rd International Conference on Electro-Technology for National Development (NIGERCON)*, 425–437.
<https://doi.org/10.1109/NIGERCON.2017.8281912>
- Oyekanlu, E. (2018a). Distributed Osmotic Computing Approach to Implementation of Explainable Predictive Deep Learning at Industrial IoT Network Edges with Real-Time Adaptive Wavelet Graphs. *2018 IEEE First International Conference on Artificial Intelligence and Knowledge Engineering (AIKE)*, 179–188.
<https://doi.org/10.1109/AIKE.2018.00042>
- Oyekanlu, E. (2018b). Osmotic Collaborative Computing for Machine Learning and Cybersecurity Applications in Industrial IoT Networks and Cyber Physical Systems with Gaussian Mixture Models. *2018 IEEE 4th International Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC)*, 326–335.
<https://doi.org/10.1109/CIC.2018.00051>
- Pacheco, A., Cano, P., Flores, E., Trujillo, E., & Marquez, P. (2018). A Smart Classroom Based on Deep Learning and Osmotic IoT Computing. *2018 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias En Ingeniería (CONIITI)*, 1–5.
<https://doi.org/10.1109/CONIITI.2018.8587095>
- Petersen, K., Feldt, R., Mujtaba, S., & Mattsson, M. (2008). Systematic mapping studies in software engineering. *Proceedings of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software (EASE '08)*. Presented at the The 12th international conference on Evaluation and Assessment in Software (EASE '08), Bari, Italy.
- Petersen, K., Vakkalanka, S., & Kuzniarz, L. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. *Information and Software Technology*, 64, 1–18.
<https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.03.007>
- Rausch, T., Dustdar, S., & Ranjan, R. (2018). Osmotic Message-Oriented Middleware for the Internet of Things. *IEEE Cloud Computing*, 5(2), 17–25.
<https://doi.org/10.1109/MCC.2018.022171663>
- Sharma, V., Srinivasan, K., Jayakody, D. N. K., Rana, O., & Kumar, R. (2017). Managing Service-Heterogeneity using Osmotic Computing. *ArXiv:1704.04213 [CS]*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1704.04213>
- Sharma, V., You, I., Kumar, R., & Kim, P. (2017). Computational Offloading for Efficient Trust Management in Pervasive Online Social Networks Using Osmotic Computing. *IEEE Access*, 5, 5084–5103.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2683159>
- Souza, A., Cacho, N., Noor, A., Jayaraman, P. P., Romanovsky, A., & Ranjan, R. (2018). Osmotic Monitoring of Microservices between the Edge and Cloud. *2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)*, 758–765.
<https://doi.org/10.1109/HPCC/SmartCity/DSS.2018.00129>
- Souza, A., Wen, Z., Cacho, N., Romanovsky, A., James, P., & Ranjan, R. (2018). Using Osmotic Services Composition for Dynamic Load

Balancing of Smart City Applications. *2018 IEEE 11th Conference on Service-Oriented Computing and Applications (SOCA)*, 145–152.
<https://doi.org/10.1109/SOCA.2018.00029>

Villari, M., Fazio, M., Dustdar, S., Rana, O., & Ranjan, R. (2016). Osmotic Computing: A New Paradigm for Edge/Cloud Integration. *IEEE Cloud Computing*, 3(6), 76–83.
<https://doi.org/10.1109/MCC.2016.124>

Villari, M., Galletta, A., Celesti, A., Carnevale, L., & Fazio, M. (2018). Osmotic Computing: Software Defined Membranes meet Private/Federated Blockchains. *2018 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, 01292–01297.
<https://doi.org/10.1109/ISCC.2018.8538546>