

Skaitmeninio dvynio koncepcinė analizė

Martynas Valatka

Vilniaus universitetas, Matematikos ir informatikos fakultetas,
Didlaukio g. 47, LT-08303 Vilnius
martynas.valatka@mif.stud.vu.lt

Santrauka. Skaitmeniniai dvyniai yra naudojami labai įvairiose tiek mokslo, tiek pramonės srityse ir reiškia objektų, sistemų ar procesų virtualių kopijų kūrimą. Tačiau nėra vieningos skaitmeninio dvynio sampratos. Mokslinėje literatūroje skaitmeniniais dvyniais vadinamas platus modelių spektras – nuo naudotojo profilio iki realios esybės išsamaus vykdomo analogo. Šio darbo tikslas yra atlikus sistemingą literatūros analizę atsakyti į klausimą „Kokias būtinas savybes turi turėti esybės modelis, kad jį būtų galima pavadinti skaitmeniniu dvyniu?“. Atsakant į tyrimo klausimą sudarytas skaitmeninio dvynio metasavybių rinkinys, kuris nusako minimalią savybių grupę, kai skaitmeninis dvynys yra suprantamas kaip virtuali realios esybės kopija.

Raktiniai žodžiai: skaitmeninis dvynys, koncepcinė analizė, skaitmeninis modelis, metasavybė, sisteminga literatūros apžvalga.

1 Įvadas

Skaitmeniniai dvyniai yra gana plati samprata naudojama įvairiose srityse, susijusi su objektų, sistemų ar procesų virtualių kopijų kūrimu. Šios skaitmeninės kopijos palengvina sistemų veikimo stebėjimą, analizę ir optimizavimą realiu laiku, gali suteikti gilių įžvalgų apie sistemos elgseną ir našumą.

Akademinėje bendruomenėje nėra vieningos skaitmeninio dvynio sampratos. Skaitmeninių dvynių pritaikymas apima didžiulį spektrą sričių, todėl egzistuoja daug skirtingų jų apibrėžčių bei jiems keliami labai skirtingi reikalavimai [1, 2, 3]. Darbe [4] pateikta išsami skaitmeninių dvynių apibrėžčių apžvalga, tačiau nustatytos savybės leidžia suprasti skaitmeninius dvynius realybės atspindžio, replikos prasme. O tai reiškia maksimalią galimų savybių aibę. Todėl yra aktualu nustatyti, kokias būtinas savybes turi turėti skaitmeniniai dvyniai, identifikuoti jų tipus. Šio darbo tikslas ir yra atsakyti į klausimą „Kokias būtinas savybes turi turėti realios esybės modelis, kad jį būtų galima pavadinti skaitmeniniu dvyniu?“.

Straipsnyje pateikiami sistemingos literatūros analizės rezultatai. Ją atlikus nustatyta, kad nėra vieningos nuomonės apie būtinas ir pakankamas skaitmeninio modelio savybes. Sudarytas skaitmeninio dvynio metasavybių rinkinys, kuris nusako minimalią savybių grupę, kai skaitmeninis dvynys yra suprantamas kaip virtuali realios esybės kopija.

2 Tyrimo atlikimo metodika

Siekiant atsakyti į tyrimo klausimą atlikta sisteminga literatūros apžvalga, taikant PRISMA [5] metodiką. Rezultatai gauti keturiais etapais. Pirmame etape buvo nustatyti straipsniai, kuriuos reikia peržiūrėti. Antrame ir trečia-me etape buvo atlikta straipsnių peržiūra ir priimtas sprendimas dėl jų tinkamumo išsamiai analizei. Paskutiniame etape buvo atlikta koncepcinė analizė, kurios rezultate sudarytas skaitmeninio dvynio metasavybių rinkinys.

Organizacinis atliktos sistemingos literatūros analizės aspektas, nusakantis paieškos vykdymo detales, pateiktas 1 lentelėje.

1 lentelė. Literatūros paieškos proceso charakteristika

Paieškos tikslas	Skirtingų skaitmeninių dvynių apibrėžčių apžvalga
Raktiniai žodžiai	Digital twin, digital twin definition, digital twin concept, digital twin model, digital twin characteristic
Šaltinių atrankos kriterijai	Publikacijos, randamos pasauliniame saityne
Kalba	Anglų kalba
Šaltiniai	Google Scholar, IEEE library, ACM Digital Library, DBLP
Šaltinių tipai	Žurnalų publikacijos, konferencijų pranešimų medžiaga, daktaro disertacijos, techninės ataskaitos
Pradinio publikacijų sąrašo atrankos kriterijai	Pavadinimas, santrauka, raktiniai žodžiai, įvadas

3 Skaitmeninio dvynio sampratos analizė

3.1 Skaitmeninio dvynio samprata

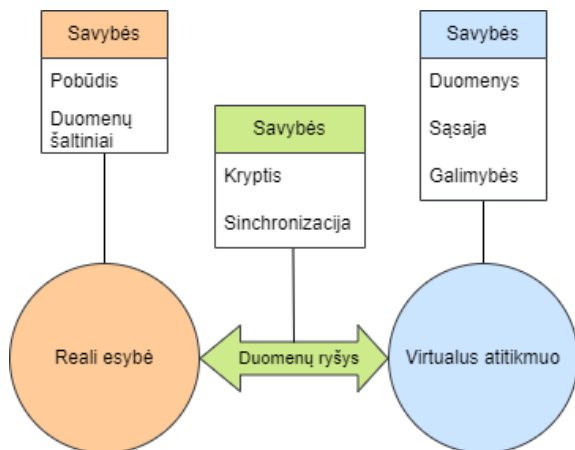
Nagrinėjant platų straipsnių apie skaitmeninius dvynius spektrą, apimančią įvairias mokslo ir pramonės sritis, pastebėta, jog skaitmeniniai dvyniai apibūdinami skirtingai, išryškintos skirtingos skaitmeninių dvynių savybės bei jiems keliami labai skirtingi reikalavimai. Nors vieningo skaitmeninių dvynių apibrėžimo nėra, tačiau bendru atveju visi literatūroje pateikiami

skaitmeninių dvynių apibrėžimai iš esmės atitinka bendrą sampratą, kai skaitmeniniai dvyniai suvokiami, kaip virtualios realios esybės kopijos, taigi, turi būti neatsiejamai nagrinėtinos trys pagrindinės dalys:

1. reali esybė realioje erdvėje,
2. virtualus esybės atitikmuo virtualioje erdvėje,
3. duomenų bei informacijos srautai tarp realios ir virtualios esybių.

3.2 Skaitmeninio dvynio metasavybės

Analizuotų šaltinių pateikiamose sampratos išryškėjo 7 pagrindinės skaitmeninio dvynio metasavybės susijusios su kiekviena iš esminių jo dalių (1 pav.). Metasavybė – tai esybę kaip tipą nusakanti charakteristika.



1 pav. Skaitmeninių dvynių metasavybės

Realią esybę, visų pirma, apibrėžia jos pobūdis. Dažniausiai literatūros šaltiniuose kalbama apie fizinių sistemų skaitmeninius dvynius [6], tačiau kiti autoriai pažymi, jog virtualiais modeliais vaizduoti galima ir įvairius procesus, programų sistemas ar bet kokius kitus nematerialius konceptus [7]. Taip pat, pagal realios esybės pobūdį, skaitmeniniai dvyniai gali būti klasifikuojami į komponentų, produktų, sistemų ir procesų dvynius [8]; atitinkamai pagal tai ar modeliu vaizduojama tik nedidelė realios esybės dalis, ar kelių dalių, produktų ar sistemų tarpusavio sąveika. Duomenų šaltinių savybė paprasčiausiai nurodo, kokie sensoriai ar kitos duomenų rinkimo sistemos naudojamos duomenims apie realią esybę išgauti.

Pagrindinė savybė charakterizuojanti virtualų atitikmenį yra jį sudarančios duomenys. Pasak vieno autorių, virtualus modelis privalo atvaizduoti visus įmanomus išgauti duomenis apie realią esybę, jos elgseną bei aplinką [9], tačiau kiti autoriai mano, jog tokio lygmens detalumas yra sunkiai pasiekiamas ir daugeliu faktinio pritaikymo atvejų užtenka pasirinkti tik pakankamus duomenis skaitmeniniam dvyniui išskeltiems tikslams pasiekti. Pagal detalumą skaitmeninius dvynius galima klasifikuoti į selektyvius (*ang. selective*) ir visapusiškus (*ang. comprehensive*). Literatūros šaltinių pateikiamose sampratosose taip pat daug dėmesio skiriama skaitmeninių dvynių teikiams galimybėms. Dažniausiai minimos stebėjimo [10], aptikimo [10], prognozavimo [11] ir simuliacijos [12] galimybės. Kadangi skaitmeniniai dvyniai neprivalo įgyvendinti visų šių galimybių, juos galima klasifikuoti į aprašomuosius, informatyviuosius, prognozuojamuosius, išsamiuosius ir autonominius dvynius [8], atitinkamai pagal teikiamų galimybių kiekį ir sudėtingumą. Galiausiai, sąsajos savybė apibrėžia, kaip suteikiama prieiga prie skaitmeninio dvynio teikiamų duomenų vartotojui, kitoms mašinoms ar net kitiems skaitmeniniams dvyniams [13].

Duomenų ryšį charakterizuoja krypties bei sinchronizacijos savybės. Šios savybės sukelia daugiausiai išsiskiriančių nuomonių, kadangi, pasak vieno autorių, skaitmeninis dvynys privalo duomenis atsinaujinti realiu laiku, ne tik pasyviai gauti duomenis, bet ir aktyviai veikti savo realų atitikmenį [9], tačiau kiti autoriai argumentuoja, jog, priklausomai nuo nagrinėjamos esybės bei išsikeltų reikalavimų dvyniui, gali pakakti periodiškų duomenų atnaujinimo ir vienpusio duomenų sąryšio [7]. Pagal šias savybes skaitmeninius dvynius galima klasifikuoti į vienakrypčius ir dvikrypčius bei realaus ar beveik realaus laiko ir periodiškai atsinaujinančius dvynius.

4 Išvados

Mokslinėje literatūroje skaitmeniniais dvyniais vadinamas platus modelių spektras – nuo naudotojo profilio iki realios esybės išsamaus vykdomo analogo. Būtinų skaitmeninio dvynio savybių identifikavimą apsunkina ir labai skirtingas jų klasifikavimas: pagal funkcionalumą, struktūriniu požiūriu, galimybę imituoti arba simuliuoti, naudojimo pobūdį, adekvatumą modeliuojamai esybei. Tačiau nežiūrint į minėtus skirtingus aspektus, bet kurį skaitmeninį dvynį sudaro trys būtinos dalys. Todėl skaitmeninio dvynio metasavy-

bių rinkinys, kuris nusako minimalią savybių grupę, kai skaitmeninis dvynys yra suprantamas kaip virtuali realios esybės kopija, yra šis: realios esybės pobūdis ir esminiai duomenys, virtualios esybės funkcionalumas, gebėjimas sąveikauti ir esminiai duomenys, duomenų mainus nusakanti kryptis ir duomenų sinchronizacija.

Padėka

Autorius dėkoja Duomenų mokslo ir skaitmeninių technologijų instituto doc. A. Lupeikienei už patarimus atliekant tyrimus ir rengiant šį straipsnį.

Literatūra

- [1] Liu, M., Fang, S., Dong, H., Xu, C. (2021) Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications. *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 58, Part B, 346-361.
- [2] Durão, L.F.C.S., Haag, S., Anderl, R., Schützer, K., Zancul, E. (2018). Digital Twin Requirements in the Context of Industry 4.0. In: Chiabert, P., Bouras, A., Noël, F., Ríos, J. (eds) *Product Lifecycle Management to Support Industry 4.0. PLM 2018. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 540. Springer, Cham.
- [3] Van der Valk, H.; Henning, J.-L.; Winkelmann, S.; Haße, H. (2022) Practical Requirements for Digital Twins in Production and Logistics. In: Herberger, D.; Hübner, M. (Eds.): *Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics: CPSL 2022*. Hannover: publish-Ing., 32-41.
- [4] B. R. Barricelli, E. Casiraghi and D. Fogli (2019) A Survey on Digital Twin: Definitions, Characteristics, Applications, and Design Implications," in *IEEE Access*, vol. 7, 167653-167671.
- [5] Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P., ... Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Annals of internal medicine*, 151(4), W-65.
- [6] Glaessgen, E., Stargel, D. (2012). The digital twin paradigm for future NASA and US Air Force vehicles. In 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics and materials conference 20th AIAA/ASME/AHS adaptive structures conference 14th AIAA, p. 1818.
- [7] Minerva, R., Lee, G. M., Crespi, N. (2020). Digital twin in the IoT context: A survey on technical features, scenarios, and architectural models. *Proceedings of the IEEE*, 108(10), 1785-1824.
- [8] Rajagopal H. (2023) Digital Twin: Virtual Model of Real-World Entity. Randamas adresu: <https://www.linkedin.com/pulse/digital-twin-hariprasanth-rajagopal>.
- [9] Grieves, M. (2014). Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication. *White paper*, 1(2014), 1-7.
- [10] Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., Sui, F. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94, 3563-3576.

- [11] Liu, Z., Meyendorf, N., Mrad, N. (2018). The role of data fusion in predictive maintenance using digital twin. In AIP conference proceedings, Vol. 1949, No. 1. AIP Publishing.
- [12] Zhang, H., Liu, Q., Chen, X., Zhang, D., Leng, J. (2017). A digital twin-based approach for designing and multi-objective optimization of hollow glass production line. IEEE Access, 5, 26901-26911. [13]
- [13] Weber, C., Königsberger, J., Kassner, L., Mitschang, B. (2017). M2DDM—a maturity model for data-driven manufacturing. Procedia Cirp, 63, 173-178.