

Táto časť série sa zameriava na ďalší technologický koncept, na ktorom je založený Industry 5.0 [1]. Opisovať budeme digitálne dvojča a s ním úzko spojené simulácie v reálnom čase [2]. Digitálne dvojča sa využíva najmä v priemysle ako

presný digitálny model fyzických zariadení či celého podniku. Jeho využitie je dôležité pre kritické a nákladné vybavenie, kde sa ukazuje ako účinný prostriedok znižovania nákladov a zvyšovania spoľahlivosti [3]. Výhody di-

gitálneho dvojčaťa vychádzajú z využitia simulácií v reálnom čase, umožňujúcich sledovať stav fyzických zdrojov, čím sa stávajú použiteľné aj pre potreby prediktívnej údržby alebo rozhodovania pri smerovaní podniku. Prostriedky dovoľujúce simulácie v reálnom čase umožňujú interakciu digitálneho modelu s jeho fyzickým náprotivkom, avšak ich nasadenie vyžaduje využitie nových paradigiem výpočtov, širokej škály senzorov a prostriedkov umelej inteligencie.

Industry 5.0 – technológie: digitálne dvojča a simulácie v reálnom čase (5)

Digitálne dvojča

Prvá definícia digitálneho dvojčaťa vznikla už v roku 2010 (NASA): „Digitálne dvojča je integrovaná multifyzikálna, viacúrovňová, pravdepodobnostná simulácia vozidla alebo systému, ktorá využíva najlepšie dostupné fyzikálne modely, aktualizácie senzorov, históriu atď., aby odzrkadľovala životnosť svojho reálneho dvojčaťa“ [4]. Vo všeobecnosti platí, že digitálne dvojča je kópia fyzického systému, resp. procesu alebo celého prostredia, vytvárajúca fúziu medzi informačným a fyzickým modelom. Zjednodušuje iteratívnu optimalizáciu, čím sa skracaje fáza dizajnu a znižujú sa náklady na prepracovanie. To sa dosiahne vytvorením kompletnej digitálnej stopy produktu počas dizajnu, slúžiacej ako prostriedok premeny veľkých dát na použiteľné informácie [5]. Pred implementáciou nových systémov v reálnom prostredí je poväčšine vhodné, až nevyhnutné testovanie a simulácia zmien v digitálnom modeli. Znalosti sú priamo použiteľné na vykonávanie informovaných rozhodnutí v rôznych fázach návrhu. Pojem digitálneho dvojčaťa môžeme chápať ako obsiahly opis fyzikálnych a funkčných vlastností systému, z čoho vyplýva, že dáta vygenerované takýmto opisom sú nielen rozsiahle, ale aj heterogénne a neštruktúrované, nesú teda charakteristiku veľkých dát [5].

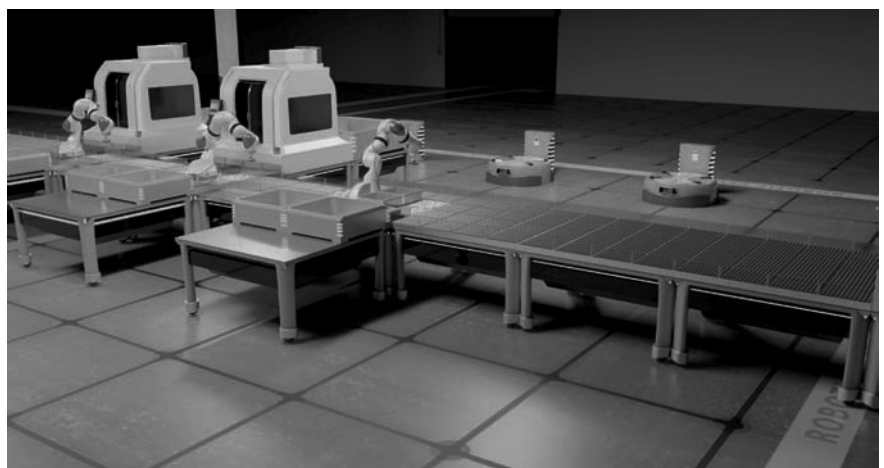
Príklady nasadenia digitálneho dvojčaťa v praxi nachádzame v spoločnosti GE Renewable Energy, používajúcej digitálne dvojča na farme veterných elektrogenerátorov. Pomocou senzorov sú monitorované a v prípade potreby opravené opotrebovateľné časti generátora, čím sa eliminuje potreba opakovaných investícií do generálnych inšpekcií systémov, a teda sa znižujú prevádzkové náklady. Okrem dát

o opotrebovaní častí generátorov systém zbiera dáta o počasí v reálnom čase, čo umožňuje predikciu sily vetra, a tak pomáha v regulácii primeraného odberu z generátorov. Podľa analýzy [6] digitálne dvojča jednej veternej turbíny počas jedného roku pomohlo zvýšiť produkciu elektrickej energie až o 20 %. Porovnaním efektivity alternatívnych zdrojov elektrickej energie a fosílnych zdrojov možno usúdiť, že zvýšenie efektivity veterných generátorov pomocou technológií digitálneho dvojčaťa je krokom inovatívnym aj ekologickým.

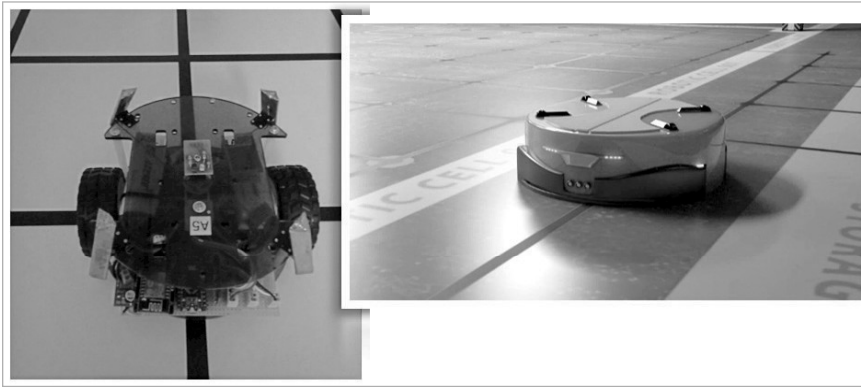
Technológie digitálneho dvojčaťa používa aj pobočka spoločnosti Whirlpool, ktorá vytvorila digitálne dvojča závodu. Prostredníctvom systému RTLS (z ang. real-time location system – sledovanie polohy v reálnom čase) sleduje polohu vysokozdvížných vozíkov v prostredí závodu. Systém využíva sieť senzorov monitorujúcich vozíky a jednotlivé výrobné miesta. Dáta zozbierané monitorovaním sú ukladané a spracované v cloudovom prostredí

Microsoft Azure. Uvedený systém RTLS bol prepojený s vytvoreným digitálnym dvojčaťom závodu, pričom dovoľuje sledovať polohu vozíkov v reálnom čase v digitálnej podobe. Riadiaci pracovníci majú možnosť kontroly procesu z ľubovoľného miesta s prístupom na internet pomocou notebooku, tabletu, telefónu alebo stolného počítača. Nasadenie digitálneho dvojčaťa umožňuje včasné odhalenie potenciálnych problémov, čím pracovníci získavajú možnosť adekvátne reagovať na vzniknuté situácie. Okrem už spomenutých funkcií implementovaný systém monitoruje spotrebu energie a dodržiavanie výrobného plánu [7].

Ako ďalší príklad môžeme použiť projekt modulárnej výrobnéj linky [8]. Hlavnou myšlienkou projektu bolo vytvoriť systém, ktorý dokáže transportovať svoje modulárne časti, spájať ich s ďalšími časťami a tým vytvárať modulárnu výrobnú linku. Tá sa skladá z dvoch častí: fyzického systému a jeho digitálneho dvojčaťa (obr. 8). Na to, aby bolo možné vytvoriť digitálne dvojča



Obr. 8 Digitálne dvojča modulárnej výrobnéj linky [8]



Obr. 9 Mobilný robotický systém a jeho digitálne dvojča [8]

modulárnej linky, bolo potrebné vytvoriť digitálne dvojča pre každú fyzickú časť systému – konkrétne išlo napr. o mobilný robotický systém (obr. 9).

Simulácie v reálnom čase

Použitie digitálneho dvojčaťa ako systému na monitorovanie a analýzu fyzického systému alebo procesu vyžaduje nasadenie simulačných technológií tak, aby dokázali reflektovať skutočné procesy aj v simulovanom prostredí. Simulácia samotná sa považuje za dôležitú súčasť konceptu digitálneho dvojčaťa, ktorá umožňuje interakciu fyzického systému s jeho digitálnym modelom v reálnom čase a oboch smeroch komunikácie [5]. Súčasný prostriedky na realizáciu simulácie sú však zväčša navrhované pre offline simuláciu. Digitálne dvojča sa má vyvíjať a má integrovať aktuálne dostupné znalosti o reálnom systéme počas celého životného cyklu. Kvôli spomenutým špecifikám simulácií v prostredí digitálneho dvojčaťa si simulačné prostriedky vyžadujú návrh nových architektur a prístupov. Dáta ako základ digitálneho dvojčaťa môžu byť zbierané prostredníctvom existujúcich senzorov s pridaním širokej množiny nových senzorov, akými sú napríklad RFID štítky a čítačky, kamery, skenery a iné [9]. Nasadenie senzorov na fyzický systém musí byť realizované takým spôsobom, aby dokázali zhromažďovať kompletné údaje vhodné na použitie v digitálnom dvojčati [5]. Zhromaždené údaje je potom nutné prenášať v reálnom alebo takmer reálnom čase. Pretože takto zhromaždené dáta nesú charakteristiku veľkých dát a majú zvyčajne veľký objem aj rýchlosť, ich prenos do modelu digitálneho dvojčaťa nachádzajúcom sa v cloudovom prostredí kladie výraznú záťaž na prostriedky komunikačných sietí. Nasadzovanie počítania na hrane siete (edge computing) sa v tomto prípade javí ako ideálna metóda slúžiaca na predbežné spracovanie zozbieraných dát, čím sa znižuje záťaž na sieť spôsobená prenosom veľkého množstva dát a eliminuje sa možná strata dát [9].

Významný pokrok pri prenose dát predstavujú technológie sietí 5G dovoľujúce komunikáciu v reálnom čase, čiastočne eliminujúce potrebu budovania nákladných pevných sietí. Spoločne s niektorými

protokolmi aplikačnej vrstvy modelu TCP/IP ako HTTP, MQTT, alebo OPC-UA tak umožňujú jednoduchý zber a integráciu dát z viacerých zdrojov – senzorov na jednom alebo viacerých fyzických systémoch. Zozbierané a predspracované dáta sú ďalej v cloudovom prostredí archivované nielen v relačných databázach a využité v sémantických modeloch natrénovaných na známych vstupoch/výstupoch prostriedkami umelej inteligencie [9].

Príklady použitia simulácie v reálnom čase vo výrobe nachádzame okrem iného pri počítačovom číslicovom riadení (CNC), keď sa simulačný systém spúšťa synchronne spolu s fyzickým strojom a monitoruje stav obrábania materiálu na skutočnom stroji. Na rozdiel od offline metódy sú pri simulácii v reálnom čase polohy frézy získavané priamo z CNC stroja cyklicky v každom kroku operácie [10]. Následne na účely monitorovania procesu obrábania je aktuálny pracovný krok identifikovaný pomocou simulácie vychádzajúcej zo známych umiestnení frézy CNC systému [10]. Správna identifikácia pracovného kroku je dôležitou funkciou slúžiacou ako základ synchronizácie simulácie. Určenie správneho pracovného kroku dovoľuje účelnejšiu procesnú analýzu, nakoľko rôzne pracovné kroky majú rôzne procesné požiadavky. Okrem toho výsledky analýzy môžu byť usporiadané do štruktúry pracovného kroku a tá môže byť ďalej sledovaná systémom výroby pomocou počítača (CAM), čo vedie k zlepšeniu technológie spracovania.

Záver

V tejto časti série sme predstavili technológiu digitálneho dvojčaťa a simulácie v reálnom čase ako jednu z podporných technológií pri realizácii konceptu Industry 5.0. V nasledujúcej časti opíšeme ďalšie technológie podporujúce Industry 5.0, ako sú opísané v dokumente, ktorý bol vydaný EK [2]. Konkrétne pôjde o bezpečný prenos, ukladanie a analýzu údajov.

Podakovanie

Táto publikácia vznikla s podporou grantu Akcelerácia umelej inteligencie na hrane siete (07/TUKE/2022) a grantu Robotické videnie v inteligentnom priestore (FEI-2022-88).

Referencie

- [1] Zolotová, Iveta – Kajáti, Erik – Pomšár, Ladislav: Industry 5.0 – koncept, technológia, ciele (1). In: ATP Journal, 2021, roč. 28, č. 11, s. 42 – 43.
- [2] European Commission: Industry 5.0 - Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry, Directorate-General for Research and Innovation. DOI 10.2777/308407, 01/2021.
- [3] Aheleroff, Shohin – Xu, Xun – Zhong, Ray Y. – Lu, Yuqian: Digital Twin as a Service (DTaaS) in Industry 4.0: An Architecture Reference Model. In: Advanced Engineering Informatics, 2021, vol. 47. DOI 10.1016/j.aei.2020.101225.
- [4] Shafto, Mike et al.: DRAFT Modeling, simulation, information technology & processing roadmap. National Aeronautics and Space Administration. 2010. Dostupné na: <https://go.nasa.gov/3oupMi7>.
- [5] Liu, Mengnan et al.: Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications. In: Journal of Manufacturing Systems, 2021, vol. 58, pp. 346 – 361. DOI 10.1016/j.jmsy.2020.06.017.
- [6] GE: Wind in the Cloud? How the Digital Wind Farm Will Make Wind Power 20 Percent More Efficient. 2016. Dostupné na: <https://invent.ge/3GC85mO>.
- [7] Microsoft News: Systém na riadenie práce vysokozdvížných vozíkov pomáha jazdiť pomalšie. 2020. Dostupné na: <https://bit.ly/3rzpnwG>.
- [8] Ďurica, Lukáš: Modulárna výrobná linka a jej digitálne dvojča. In: Daily Automation, 2019. Dostupné na: <https://bit.ly/3BibTSY>.
- [9] Boschert, Stefan – Roland Rose: Digital Twin – The Simulation Aspect. In: Mechatronic Futures, pp. 59-74, 2016. DOI 10.1007/978-3-319-32156-1_5.
- [10] Cao, Xian – Zhao, Gang – Xiao, Wenlei: Digital Twin-oriented real-time cutting simulation for intelligent computer numerical control machining. In: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2020. DOI 10.1177/0954405420937869.

Ing. Dušan Herich
Ing. Kristián Mičko
Ing. Erik Kajáti, PhD.

Technická univerzita v Košiciach FEI
Katedra kybernetiky a umelej inteligencie
Centrum inteligentných kybernetických systémov
<http://ics.fei.tuke.sk>