

КОНЦЕПТ ДИГИТАЛНОГ БЛИЗАНЦА У КОСМОНАУТИЦИ**CONCEPT OF DIGITAL TWIN IN COSMONAUTICS**Соња Балаћ, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област - МАШИНСТВО**

Кратак садржај – Дигитални близанац представља дигиталну реплику стварног, физичког система. Ова узданица Индустије 4.0 омогућава садејство стварног и виртуелног простора, иако је дигитални близанац ентитет сам за себе. Основни концепт технологије дигиталног близанца јесте да се промене које доживљава физички, стваран објекат, огледају и преносе у дигитални модел, а затим добијени увиди и повратне информације омогућавају доношење одлука о физичком објекту и његовом даљем понашању. Еволуција мрежних технологија и сензора омогућавају повезивање физичких објеката са дигиталним моделима. Примена дигиталних близанаца је широка, међутим, посебно место употребе проналази у области космонаутике, тамо где је изворно и настала сама идеја концепта дигиталног близанца.

Кључне речи: дигитални близанац, Индустија 4.0, космонаутика

Abstract – The digital twin is a digital replica of a real, physical system. This hope of Industry 4.0 enables the interaction of real and virtual space, even though the digital twin is an entity in itself. The basic concept of digital twin technology is that the changes experienced by a physical, real object are reflected and transferred to a digital model, and then the obtained insights and feedback enable decisions to be made about the physical object and its further behavior. The evolution of network technologies and sensors enable the connection of physical objects with digital models. The application of digital twins is wide, however, it finds a special place of use in the field of cosmonautics, where the very idea of the concept of digital twin originated.

Keywords: digital twin, Industry 4.0, cosmonautics

1. УВОД

Циљ овог рада јесте објаснити концепт дигиталног близанца у космонаутици. У раду је описана основна идеја настанка дигиталног близанца уз одређене технологије и софтвере.

Превасходно, увидом у индустрију и економију области истраживања свемира, могуће је разумети разлог употребе ове технологије у космонаутици.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је била др Сања Бојић, ванр. проф.

Приказане су основне карактеристике система софтвера *Teamcenter X* компаније *Siemens*, који се успешно примењује у реализацији дигиталних близанаца у космонаутици. Изведен је закључак о предностима и основним недостацима технологије дигиталног близанца, као и препрекама које је потребно превазићи како би ова технологија постала императив у сектору за истраживање свемира. Тек након разумевања читавог процеса настанка близанца, могуће је извршити поређење дигиталног близанца са симулационим моделом, приказом основних разлика ове две технологије – симулације и технологије дигиталног близанца.

2. ИНДУСТРИЈА И ЕКОНОМИЈА У КОСМОНАУТИЦИ

Сектор за истраживање свемира и војни и одбрамбени сектор, најчешће се у многим сферама не одвајају. Када је у питању индустрија, појам који обухвата ове две индустрије јесте – Ваздушно-космичка и одбрамбена индустрија. Ова индустрија опслужује два тржишта – ваздухопловство и одбрану (војна индустрија). Ваздухопловство обухвата производњу, продају и сервис комерцијалних авиона, док одбрана подразумева производњу оружја, војних летелица, свемирских летелица и сателита [1].

Према подацима из 2017. године, ваздушно-космичка индустрија првих десет земаља вредела је 731 милијарду долара, што процентуално износи 87% светске свемирске индустрије тада (838 милијарди долара). Скоро 49% припада Сједињеним америчким државама што износи више од наредних двадесет пет земаља заједно [2]. У табели 1. дат је приказ првих десет земаља које предњаче у свету када је у питању свемирска индустрија, као и њихови удели у овој индустрији на глобалном тржишту ове гране индустрије. Подаци су из 2017. године, и бројке су изражене у билионима (милијардама) долара.

Табела 1. Удео првих десет земаља у глобалној свемирској индустрији

| | Држава | Удео (\$B) |
|----|----------------------|------------|
| 1 | САД | 408.4 |
| 2 | Француска | 69 |
| 3 | Кина | 61.2 |
| 4 | Уједињено Краљевство | 48.8 |
| 5 | Немачка | 46.2 |
| 6 | Русија | 27.1 |
| 7 | Канада | 24 |
| 8 | Јапан | 21 |
| 9 | Шпанија | 14.4 |
| 10 | Индија | 11 |

Увид у информације овог типа омогућава читаоцу да стекне слику о финансијама и обрту новца у овој индустрији. Сазнавши колике су своте новца које циркулишу, постаје јасније због чега грешке које се могу јавити у целом ланцу вредности морају да се сведу на минимум, што технологија дигиталног близанца и обезбеђује.

Ваздухопловне компаније, како приватне, тако и јавне, раније су имале проблема са обезбеђивањем података о дизајну, одржавању и производним процесима производа независно и у реалном времену, и из свих делова ланца вредности – укључујући и податке током рада. Данашње дигиталне технологије и алати Индустрије 4.0 омогућавају да су подаци о животном циклусу производа доступни у стварном времену, смањују трошкове, побољшавају квалитет, повећавају стопу рада, смањују време потребно за пласман на тржиште, уводе нове производе и услуге.

4. ТЕХНОЛОГИЈА ДИГИТАЛНОГ БЛИЗАНЦА

Претече дигиталних близанаца, у нешто измењеном концепту од оног какве данас познајемо, развијени су у управо у ваздушно-космичком сектору 60-их година прошлог века, у NASA-иним земаљским станицама, у којима су моделирани услови окружења у којима се налазе свемирске летелице током мисија [3]. Један од примера свакако јесте позната мисија *Apollo 13*, где је овај принцип употребљен за процену и симулацију услова на броду [4].

Основни концепт технологије дигиталног близанца јесте да се промене које доживљава физички, стваран објекат, огледају и преносе у дигитални модел, а затим добијени увиди и повратне информације омогућавају доношење одлука о физичком објекту и његовом даљем понашању. Еволуција мрежних технологија и сензора омогућавају повезивање физичких објеката са дигиталним моделима.

Животни век дигиталног близанца знатно је дужи од века стварног производа. Може постојати пре реализације производа, и може опстати значајно дуже након краја животног века производа. Такође, један физички објекат може да има више од једног дигиталног близанца, са различитим моделима, за различите кориснике и случајеве употребе.

4.1 Основна подела дигиталних близанаца

Постоји неколико класификација дигиталног близанца, све у зависности од становишта са ког се исти посматра. Основна подела била би на дигиталне близанце производа, објеката или постројења који су предмет израде, односно изградње, и на дигиталне близанце производа, објеката или постројења који су већ израђени, односно изграђени [5].

Први тип дигиталног близанца омогућава стварање динамичког модела, реплике будућег производа, на ком је могуће испитати све потенцијалне утицаје на понашање истог. Створена је могућност предвиђања будућности, и оптимизације и побољшања већ у уводној фази производа, фази развоја.

Други тип дигиталног близанца, који се односи на већ постојеће производе и објекте, има акценат на побољшањима у каснијим фазама производа. У овом

случају, штеде се значајна финансијска средства кроз оптимизацију трошкова одржавања, сервисирања и подршке, односно оптимизацију у каснијим фазама производа. Могуће је адаптирати, доградити, реконструисати, прилагодити већ постојећи производ уз знатне уштеде. Како би се измериле вредности различитих параметара, потребних за оптимизацију већ постојећих елемената, у оквиру постојећег објекта, користе се различите врсте сензора.

4.2 Примена дигиталног близанца

Производња и производне операције представљају једно од највећих подручја примене технологије дигиталног близанца. Фабрике представљају погодно тло за аутоматизацију и примену роботике на производним линијама. Пружањем свеобухватног реалног времена приказа фабричких перформанси, дигитални близанац помаже запосленима у побољшању производних процеса и брзом реаговању услед настанка проблема у истима.

Перформансе физичких производа у највећој мери зависе од карактеристика материјала од којих су направљени. Материјали велике чврстоће, а малих маса, представљају императив у науци о материјалима [4]. Овде до изражаја долазе дигитални близанци као виртуелне презентације материјала, на којима је могуће извршити различите анализе, од анализе крутости до провере затезне чврстоће и сл.

Још једно важно подручје примене за целу цивилизацију јесу медицина и здравствени сектор. У смислу технологије дигиталног близанца, данас су актуелни аспекти моделовања делова људског тела. Овакви модели омогућавају лекарима боље разумевање структуре и функција делова тела, смањујући потребу за извођењем разних, интензивних тестова. Такође, у области хирургије нарочито, дигитални близанци пружају праксу у извођењу сложених операција.

Када се посматра величина физичких објеката који су представљени дигиталним близанцима, може се сматрати да су највећи дигитални близанци копије физичких инфраструктура, као што су енергетске мреже, транспортне, градска окружења и сл.

Производња енергије, било употребом фосилних горива или обновљивих извора енергије, обухвата велике и сложене платформе на удаљеним локацијама. У енергетском сектору дигитални близанци се користе ради побољшања поузданости и безбедности подразумеваних операција.

Аутомобилска индустрија је незаобилазна када су у питању нове технологије. Развој нових аутомобила углавном се одвија у виртуелном окружењу. Аутомобилске компаније користе ову технологију за дизајн идеалног аутомобилског производа чак и пре почетка производње.

Дигитални близанци користе се и у области заштите животне средине од разних природних катастрофа и непогода. Пожари, поплаве и суше сада су постали нормални. У таквом сценарију, дигитални близанац се користи за изградњу паметније инфраструктуре попут брана, комуналних мрежа, планова за реаговање у хитним случајевима и зонирања.

4.2.1 Изазови примене технологије дигиталног близанца

Како би технологија дигиталног близанца била широко усвојена потребно је превазићи одређене изазове који се могу јавити приликом имплементације исте.

Садејство сложених производа и њиховог дигиталног понашања, са високом прецизношћу и у реалном времену, може брзо премашити финансијска и рачунарска средства.

Један од основних и највећих изазова јесте цена, односно улагања потребна за реализацију дигиталних близанаца. Близанци захтевају висока улагања у технолошке платформе, развој модела и *high-tech* опрему. Иако се вредност ових трошкова смањује, и даље постоје алтернативни приступи који могу да испоручују сличну вредност, али по нижој цени.

Развој све сложенијих производа тера инжењере да праве претпоставке и поједностављења у моделима који уравнотежују жељене особине близанца са техничким и економским ограничењима. У блиској будућности као проблем се може јавити немогућност прецизног представљања физичких система, јер сложени производи изискују велика улагања.

Још један изазован параметар јесте квалитет података. Развој сензорских мрежа које могу да садрже и по неколико стотина, па чак и хиљада сензора, а који раде у захтевним условима, у којима може настати комуникација непоуздане мреже, доводе до генерисања непрецизних, па чак и у неким случајевима нетачних података. Као решење, компаније морају да развију методе идентификације и изолације оваквих података.

Како је технологија дигиталног близанца тек у повоју, нормално је да образовање кадра за употребу близанаца може бити критичан фактор. Употреба дигиталних близанаца подразумева особље, купце, добављаче, запослене и све кориснике да усвоје нов начин рада, односно промене у свим аспектима досадашњег пословања, било да су у питању пословни процеси или чак и промена структуре објеката у којима се исти извршавају.

Осим самих близанаца компаније морају пружити корисницима одређене вештине и алате који су потребни за остварење комуникације са близанцима.

4.2.2 Предности примене технологије дигиталног близанца

Прва, и може се рећи основна предност примене технологије дигиталног близанца, јесте побољшање перформанси постројења, односно окружења у којима се имплементира и активно користи ова технологија, било да је у питању мала или велика компанија, јавна или приватна, универзитет и сл.

Друга предност била би могућност интегрисања предиктивног одржавања. Предиктивно одржавање подразумева предвиђање квара и грешака, и предузимање превентивних радњи да до тога не дође. Створено је окружење које интегрише предиктивно одржавање у ма било ком систему.

5. ДИГИТАЛНИ БЛИЗАНАЦ У КОСМОНАУТИЦИ

У смислу усвајања напредних технологија, ваздушно-космичка индустрија је увек била далеко испред осталих индустрија. 60-их година прошлог века, када су настали CAD софтвери, запослени у овој индустрији били су први корисници истих [6]. Сложеност производа, дуг радни век, сигурносни прописи и захтеви кључни су параметри који подстичу развој нових технологија у овој области.

Дигитални близанац усвојен је као концептуална основа у области космонаутике и уопштено ваздухопловства у последњих пар година. NASA интензивно користи ову технологију за мапирање путева уз помоћ сателитске технологије и у сврху одрживог истраживање свемира [6].

Како се ера дигиталне трансформације убрзава, ваздушно-космичка индустрија тежи побољшању флексибилности производње. Кључни циљеви су повећање ефикасности, поузданости и профитабилности, уз смањење застоја, грешака и трошкова.

Технологија дигиталног близанца представља темељ развоја ове индустрије, захваљујући оптималном пројектовању сензорске мреже, напредне контроле процеса, праћење стања и дијагностику грешака.

Није страна, да упркос бројним испитивањима и тестирањима након реализације ракета-носитеља, дође до експлозије истих већ при лансирању. Не само да дође до потпуног уништења ракете-носитеља и тела које иста носи (нпр. сателита), већ пад ракете доводи и до уништења лансирне рампе и платформе на Земљи. Овакав сценарио одговара физичком, стварном свету. Међутим, технологијом дигиталног близанца могуће је да се овакав сценарио деси у виртуелном свету. Шта то значи? Виртуелна ракета-носитељ експлодира и разноси виртуелну лансирну рампу. Овакав сценарио могуће је поновити и поново створити одговарајуће услове у виртуелном простору по цени готово једнакој нули.

5.1 Teamcenter X

Teamcenter X је модеран, прилагодљив систем управљања животним циклусом производа (*Product Lifecycle Management - PLM*), компаније *Siemens* [7]. Управо овај софтвер коришћен је за реализацију неких дигиталних близанаца у области космонаутике.

Овај систем софтвера подстиче продуктивност и ефикасност како би се убрзао развој производа, садејством дигиталног близанца и физичког производа. Пружа могућности дигиталног исцртавања и визуализације, тако да сви у животном циклусу производа могу приступити и сарађивати са подацима 2D и 3D дизајна и доносити одлуке поткрепљене информацијама. *Teamcenter X* нуди алате за преглед дизајна дигиталног близанца у реалном времену за откривање и решавање проблема са дизајном на самом почетку животног циклуса производа [7].

Дигитални близанци у космонаутици, баш као и физички производи, састоје се од десетина хиљада делова. Инжењери могу извршити напредну анализу, укључујући статичку и динамичку анализу зазора, могу

проверити сметње, спровести студије кретања делова и утврдити колико је приступачно извршити одржавање. Основна карактеристика је могућност дистрибуције универзално видљивих информација осталим члановима тима, што тимски рад подиже на један виши ниво. Свемирској индустрији је потребна напредна аналитика у свакој фази живота производа, од дизајна и развоја до производње, испоруке и употребе.

5.2 Разлика симулационог модела и дигиталног близанца

И симулациона технологија и дигитални близанци имају способност извођења виртуелних симулација, међутим, постоји неколико кључних разлика. Традиционалне могућности симулације, које се користе у оквиру апликација за пројектовање и инжењеринг, јесу моћни алати за пројектовање производа, ал кад се дискутује о предностима, дигитални близанци ипак пружају веће могућности. У оба случаја, симулација се одвија на виртуелном моделу, али модел постаје дигитални близанац након што се производ произведе. Дигитални близанац у реалном времену прима податке из стварног света и обрађује их, омогућавајући дизајнеру увид у функционисање стварног производа.

CAD симулација је статична све док дизајнер не представи нови параметар. Заснована је на креирању модела производа или процеса у који дизајнери уводе и тестирају различите елементе дизајна, материјале, услове рада итд. С друге стране дигитални близанац на исти начин почиње свој животни век, може се рећи да дигитални близанац заправо настаје од симулационог модела. Оно што га временом издваја, јесте тренутак када близанац почне примати податке у стварном времену од свог стварног производа. Тада, дигитална симулација прелази из статичне у активну. Користећи податке у реалном времену, из интегрисаног дигиталног близанца, предузеће може постати флексибилније и агилније. Могућ је бржи одговор на нове, прилагођене жеље купаца. Симулација понавља оно што би се могло десити са симулираним производом у стварном свету, ако се у дизајн унесу одговарајуће промене. Такве промене зависе од претпоставки и маште самог дизајнера. Захваљујући Интернету ствари, дигитални близанац „осећа“ оно што се тренутно дешава стварном производу.

Симулација је углавном фокусирана на фазу истраживања и развоја производа. Са интегрисаним дигиталним близанцем, прикупљају се подаци из свих фаза животног циклуса производа, са могућношћу враћања у сваки корак, по потреби.

6. ЗАКЉУЧАК

Напредна технологија, у облику дигиталних близанца помаже научницима и истраживачима у космонаутици да премосте јаз између физичког и дигиталног света. Тај физички свет, често није земаљске природе, односно, то може бити свет у ком владају потпуно неземаљски услови, као што су на пример услови на површини планете Марс. Ово захтева снажно колаборативно дигитално окружење које комбинује структурно, машинско, системско инжењерство,

испитивање животне средине и управљање програмима. Циљ ваздушно-космичке индустрије јесте реализовати возила мање масе, са бољим перформансама, за вишекратну употребу, уз смањење трошкова испоруке корисног терета у орбиту.

Могући правци истраживања требало би да иду у правцу имплементације вештачке интелигенције заједно са овом технологијом, како би се реализовали сложени динамички модели. Такође, употребом сензора новијих генерација, сензорске мреже могу да достигну један нови, виши ниво, а самим тим и подаци који се генеришу из истих. У области космонаутике, постоји неколико летелица које су лансиране 80-их година прошлог века, а за које се сматра да су сада већ ушле у међузвездани простор. Имати увид у информације из простора тако непознатог и далеког, може представљати значајан помак у развоју читаве како технологије, тако и цивилизације. Такође, испитивања базирана на летелици која би прошла кроз Ван-Аленове појасеве, могу значајно да допринесу освешћавању технологије која би људе одвела на Месец.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Aerospace Industries Association, Facts&Figures U.S. Aerospace&Defense, 2021.
- [2] OECD: Measuring the economic impact of the space sector, Saudi Arabia, 2020.
- [3] <https://simio.com/>
- [4] DHL Trend Research: Digital Twins in Logistics
- [5] <https://www.teamcad.rs/>
- [6] Aerospace Industries Association: Digital twin: Definition & Value, 2020.
- [7] <https://www.plm.automation.siemens.com/>

Кратка биографија:



Соња Балаћ рођена је у Новом Саду 1998. године. Мастер рад на Факултету техничких наука у Новом Саду, из области Логистика – Концепт дигиталног близанца у космонаутици одбранила је 2021. године.



Сања Бојић рођена је у Карловцу 1981. године. Докторирала је на Факултету техничких наука у Новом Саду 2013. године, а од 2019. године изабрана је у звање ванредног професора. Области истраживања су логистика, складишни системи и симулације токова материјала.