



Dedicated to innovation in aerospace

NLR-MEMORANDUM AVIL-2024-002 | februari 2024

IT Tafel - Digital Twinning

Classificatie van Digital Twins

AFDELING: Integrity & Life Cycle Support




AUTEUR:

M. Nawijn

Koninklijke NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Niets uit dit document mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het NLR.

NLR DIVISIE	Lucht- en Ruimtevaartuigen
ORDER/CODENUMMER	1073121.1
RUBRICERING TITEL	ONGERUBRICEERD
AFGESLOTEN	februari 2024

GOEDGEKEURD DOOR:		
AUTEUR	REVIEWER	BEHERENDE AFDELING
M. Nawijn 	R.A. Huls 	M.J. Bos 
DATUM 10 5 0 2 2 4	DATUM 0 5 0 2 2 4	DATUM 0 5 0 2 2 4

Distributie:

- Marcel Bos (NLR/AVIL)
- R.A. Huls (NLR/AVIL)
- M. Nawijn (NLR/AVIL)
- Diederik Verzijl (PWC/JIVC)

Samenvatting

Het Joint Informatievoorziening Commando (JIVC) is de strategische IT-partner van Defensie voor militairen en burgers op oefening en missie, voor de kazernes en thuis. Het JIVC stelt dat, om te kunnen meebewegen met de toenemende vraag naar IT, het van belang is om de samenwerking met de markt te versterken. Om een gestructureerde dialoog op te starten tussen het JIVC en de markt zijn er IT Tafels opgericht. Een van deze IT Tafels heeft als onderwerp Digital Twinning.

Over wat er nu precies bedoeld wordt met een Digital Twin bestaat veel onbegrip. Om dit beter inzichtelijk te maken kan gebruik worden gemaakt van een formele classificatie (taxonomie) van Digital Twins zoals deze vastgelegd is in de literatuur. Deze formele classificatie beschrijft acht onderscheidende dimensies van een Digital Twin. Elke van deze dimensies bestaat uit karakteristieken die wel/niet onderling exclusief zijn.

Naast de formele classificatie zijn er aanvullende aspecten van Digital Twins die in de discussie rondom Digital Twins gebruikt kunnen worden. De eerste is het plaatsen van een Digital Twin in de levenscyclus van een systeem, de tweede is het onderscheiden van specifieke typen Digital Twin (Digital Twin van een product, een proces, een autonoom object of een systeem van Digital Twins).

Inhoudsopgave

1	Formele classificatie van Digital Twins	5
1.1	Inleiding	5
1.2	Dimensies en karakteristieken van Digital Twins	5
2	Aanvullingen op de formele classificatie	10
2.1	Positie van een Digital Twin in de levenscyclus van een systeem	10
2.2	Typen Digital Twins	10
2.3	Digital thread	11

(12 pagina's totaal)

1 Formele classificatie van Digital Twins

1.1 Inleiding

Als je het over een Digital Twin hebt, dan spreekt het voor zich dat één deel van de Twin een digitale representatie is. Maar waar is het een digitale representatie van en hoe classificeer je een Digital Twin? In 2019 heeft een groep onderzoekers op basis van een analyse van een groot aantal publicaties een taxonomie (classificatie) opgesteld voor Digital Twins. In dit hoofdstuk wordt deze classificatie beschreven en uitgelegd. Deze classificatie wordt gebruikt om structuur te geven aan de discussie met de belanghebbenden van de IT Tafel – Digital Twinning.

Voordat de formele classificatie van Digital Twins wordt gepresenteerd is het nuttig om onderscheid te maken tussen de begrippen *toestand* en *gedrag* bij een Digital Twin. Wanneer een Digital Twin vooral gericht is op het beheren van de *toestand* van het fysieke deel van de Digital Twin, dan kan de Digital Twin gekarakteriseerd worden als een digitaal informatiesysteem waar alle relevante data, typisch vanuit meerdere disciplines, beheerd en ontsloten wordt. Dit soort Digital Twins zijn over het algemeen eenvoudig van aard¹. Wanneer een Digital Twin vooral gericht is op het voorspellen van toekomstig *gedrag* van het fysieke deel, dan neemt de complexiteit van het digitale deel van de Digital Twin sterk toe. Dit komt omdat gedrag voorspellen gebeurt op basis van *complexe modellen*.

1.2 Dimensies en karakteristieken van Digital Twins

Het doel van de formele classificatie van Digital Twins is om de centrale onderscheidende kenmerken en eigenschappen van Digital Twins te identificeren (bron: *A Taxonomy of Digital Twins, 2020, Hendrik van der Valk et al.*).

Tabel 1 geeft een overzicht van de formele classificatie (taxonomy) van Digital Twins zoals in bovengenoemde bron beschreven. De classificatie bestaat uit acht dimensies waarbij iedere dimensie een aantal karakteristieken geeft die bepalend zijn voor de betreffende dimensie. Afhankelijk van de dimensie zijn de karakteristieken onderling exclusief of niet.

¹ Er is geen consensus in de literatuur of een Digital Twin die alleen de toestand van een fysiek object beheert überhaupt een Digital Twin is. In dit document is er voor gekozen om dit *wel* te doen.

Tabel 1 Formele classificatie (taxonomie) van Digital Twins langs acht dimensies.

Dimensie	Karakteristiek			Onderling Exclusief
Data link	Uni-directioneel		Bi-directioneel	Ja
Doel	Verwerking	Overdracht	Opslag	Nee
Conceptuele elementen	Onafhankelijk		Gekoppeld	Ja
Nauwkeurigheid	Eén op één		Gedeeltelijk	Ja
Interface	Machine/machine		Mens/machine	Nee
Synchronisatie	Wel		Niet	Ja
Data input	Ruw		Verwerkt	Nee
Tijdstip van creatie	Fysiek eerst	Digitaal eerst	Tegelijk	Ja

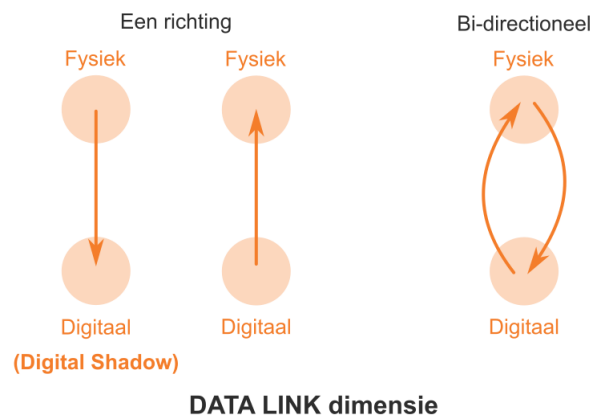
Elk van de dimensies en haar karakteristieken worden hieronder in het kort beschreven. Aan elke dimensie is ook een reflectie op de beschrijving van de dimensie toegevoegd. Deze reflecties bieden meer achtergrond of zorgen voor een nuancering.

Data link

De data link dimensie specificeert hoe de communicatie tussen het digitale en het fysiek deel van de Digital Twin verloopt. Er zijn twee opties (onderling exclusief, *Figuur 1*): de data stroom is uni-directioneel of bi-directioneel. Wanneer de data stroom in één richting gaat kan die zowel van fysiek naar digitaal als andersom zijn. De richting van de data stroom ligt vast voor het verdere leven van de Digital Twin.

In de gepubliceerde literatuur hebben verreweg de meeste voorbeelden van Digital Twins een data stroom in één richting. Tevens is die richting vaak van het fysieke naar het digitale deel van de Digital Twin. Dit wordt dan vaak een Digital Shadow genoemd in plaats van een Digital Twin. Je voedt dus de Digital Twin met data van het fysieke deel van de Digital Twin maar er vindt geen communicatie plaats in omgekeerde richting.

Het juist classificeren van de richting van de communicatie tussen het fysieke en digitale deel van de Digital Twin is van groot belang omdat het een sterke invloed heeft op bijvoorbeeld het risicoprofiel van een Digital Twin omgeving. Indien er directe communicatie plaatsvindt vanuit het digitale deel naar het fysieke deel (kan zowel uni- als bi-directioneel zijn) dan is het risico profiel vaak hoger en zullen er significante kwalificatie/certificatie activiteiten benodigd zijn om te waarborgen dat de informatie die over de data link gaat aan alle noodzakelijke voorwaarden voldoet. Denk hierbij aan bijvoorbeeld aan encryptie, consistentie, nauwkeurigheid en integriteit.



Figuur 1 De Digital Twin data link dimensie. Communicatie tussen het fysieke en digitale deel van de Digital Twin kan uni-directioneel of bi-directioneel stromen. Wanneer de data stroom alleen van het fysieke naar het digitale deel van de Digital Twin stroomt wordt er vaak gesproken van een Digital Shadow.

Hiernaast zijn er nog andere aspecten die van belang zijn: de frequentie van de data communicatie, de hoeveelheid kanalen (in het geval van sensor data) en de hoeveelheid data per kanaal.

Doel

De doeldimensie classificeert een Digital Twin op basis van wat het doel is van de Digital Twin data. Er wordt onderscheid gemaakt tussen drie doelen: het *verwerken* van data, het *verplaatsen* van data en het *opslaan* van data.

Binnen de doeldimensie is het verwerken van data verreweg het meest relevant. De reden is omdat bij het verwerken van data de fysieke en virtuele wereld bij elkaar komen. De Digital Twin wordt, net als voor de data link dimensie, gevoed met operationele data. Op basis van deze data kunnen dan simulaties worden uitgevoerd op basis waarvan geïnformeerde beslissingen kunnen worden genomen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het inplannen van onderhoud of het uitvoeren van gedetailleerde inspecties.

Conceptuele elementen

De conceptuele elementendimensie classificeert een Digital Twin op basis van hoe nauw het digitale en het fysieke deel met elkaar gekoppeld zijn. Er wordt onderscheid gemaakt tussen twee gevallen (onderling exclusief): er is een *directe* koppeling of de koppeling is *onafhankelijk*.

Verreweg de meeste gepubliceerde voorbeelden van Digital Twins vallen voor wat betreft de conceptuele elementendimensie in de categorie onafhankelijk. Er is dan geen directe koppeling tussen het fysieke en het digitale deel van de Digital Twin. Het fysieke deel van de Digital Twin opereert dus zonder enige vorm van *directe* communicatie met het digitale deel. In andere woorden, het niet beschikbaar zijn van het digitale deel van de Digital Twin heeft geen operationele gevolgen voor het fysieke deel.

Wanneer er sprake is van een directe koppeling tussen het fysieke en het digitale deel van een Digital Twin dan is er typisch sprake van een “model-in-the-loop” systeem. In een dergelijk systeem wordt een model (vaak simulatie

gedreven) gebruikt voor de aansturing van een of meerdere fysieke componenten. Denk hierbij aan een hydraulische cilinder of airbags. Als in een direct gekoppelde Digital Twin het digitale deel niet beschikbaar is, dan heeft dit direct gevolgen voor het fysieke deel. Die kan dan of helemaal niet operationeel ingezet worden, of de functionaliteit is beperkt.

Nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid dimensie classificeert een Digital Twin op basis van hoe nauwkeurig het digitale deel van de Digital Twin het fysieke object beschrijft. Er worden twee gevallen onderscheiden (onderling exclusief): het digitale deel van de Digital twin is *één op één* gelijk aan het fysieke deel, het digitale deel van de Digital Twin is *gedeeltelijk* gelijk aan het fysieke deel.

Het gebruik van het woord *nauwkeurigheid* in de taxonomie is niet handig gekozen. Volledigheid is waarschijnlijk een betere term. Het gaat er bij deze dimensie om in hoeverre relevante eigenschappen van het fysieke deel van de Digital Twin ook beschikbaar zijn in het digitale deel. Dit zegt niet direct iets over hoe nauwkeurig een specifieke eigenschap in het digitale deel de corresponderende eigenschap in het fysieke deel benadert. Het is vooral dit laatste wat van belang is wanneer het doel van een Digital Twin het voorspellen van *toekomstig gedrag* is. De uitdaging is dan om modellen te ontwikkelen die een hoge mate van voorspellende waarde hebben.

Interface

De interface dimensie classificeert een Digital Twin op basis van in hoeverre een Digital Twin in staat is om verwerkte data over te dragen naar `derden`. Er worden twee gevallen onderscheiden: de Digital Twin kan opereren in een *machine-machine* modus of in een *mens-machine* modus.

Deze dimensie heeft een sterke invloed op *data governance* aspecten van een Digital Twin. Hoe zorg je er bijvoorbeeld voor dat de integriteit van data behouden blijft tijdens de overdracht, dat er de juiste authenticatie/autorisatie plaatsvindt en dat de data op de juiste manier versleuteld is.

Synchronisatie

De synchronisatie dimensie classificeert een Digital Twin op basis van de mate van synchronisatie tussen het fysieke en het digitale deel van de Digital Twin. Er wordt onderscheid gemaakt tussen twee gevallen: er vindt *periodiek synchronisatie* plaats of er vindt *geen synchronisatie* plaats.

Toepassingen van een Digital Twin waarbij geen synchronisatie plaatsvindt tussen het fysieke en digitale deel van de Digital Twin, zijn Digital Twins die vaak gebruikt worden om het gedrag van het fysieke object te voorspellen, maar daarvoor de toestand van het fysieke object niet nodig hebben. Dit zijn typisch simulaties gedreven Digital Twins waarmee `what-if` scenario's onderzocht kunnen worden.

Het is nuttig om, wanneer er sprake van synchronisatie is, ook de *synchronisatie frequentie* te karakteriseren. Is bijvoorbeeld synchronisatie binnen milliseconden noodzakelijk (bijvoorbeeld voor een megatronica controller) of is één keer per dag/week/maand voldoende? Het antwoord op deze vraag is sterk bepalend voor de benodigde IT infrastructuur.

Data input

De data input dimensie classificeert een Digital Twin op basis van of de data die binnenkomt, *ruwe data* is (bijvoorbeeld direct uitgelezen sensor data) of *verwerkte data* (in dit geval verwerkt *buiten* de Digital Twin).

De data input dimensie is belangrijk om goed te karakteriseren omdat deze vanuit IT perspectief grote gevolgen kan hebben, in het bijzonder wanneer de binnenkomende data ruwe data is. De Digital Twin zal dan namelijk zelf de verwerking moeten doen. Dit kan tot problemen leiden wanneer bijvoorbeeld de structuur van aangeleverde bestanden (vaak in binair format) niet (volledig) bekend is.

Tijdstip van creatie

Het tijdstip van creatiedimensie classificeert een Digital Twin op basis van het tijdstip waarop het fysieke respectievelijk het digitale deel van de Digital Twin tot leven komen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen drie gevallen (onderling exclusief): het *fysieke deel eerst*, het *digitale deel eerst*, beide *tegelijk*.

Het tijdstip van creatiedimensie is waarschijnlijk in de context van de IT Tafel – Digital Twinning niet of minder relevant. Voor zover nu bekend zal in het geval van Digital Twins voor Defensie toepassingen het fysieke deel altijd bestaan voordat het digitale deel van de Digital Twin gebouwd wordt.

2 Aanvullingen op de formele classificatie

In hoofdstuk 1 is de formele classificatie van Digital Twins beschreven. In dit hoofdstuk worden nog een aantal aanvullingen gedaan. In paragraaf 2.1 wordt uitgelegd dat het naast de formele classificatie ook nuttig kan zijn om inzichtelijk te maken in welk deel van de levenscyclus een Digital Twin gebruikt wordt. In paragraaf 2.2 wordt ingegaan op het type digital twin als classificatie. Tot slot wordt in 2.3 het begrip Digital Thread (vaak gebruikt in relatie met Digital Twin) uitgelegd.

2.1 Positie van een Digital Twin in de levenscyclus van een systeem

De meeste systemen doorlopen op hoofdlijnen een standaard levenscyclus (Figuur 2). Het systeem wordt ontwikkeld, geproduceerd, gebruikt en uitgefaseerd.



Figuur 2 De vier hoofd fasen van de levenscyclus van een systeem.

In elk van de fasen van de levenscyclus wordt tegenwoordig gebruik gemaakt van simulatiemodellen of digitale hulpmiddelen (ERP/PDM/PLM systemen). Dit maakt het echter niet direct een Digital *Twin*. Er is pas sprake van een Digital Twin, wanneer het fysieke deel van de Digital Twin bestaat en wanneer er een vorm van communicatie/data overdracht is tussen het fysieke deel en het digitale deel van de Digital Twin.

Indien er sprake is van een Digital Twin, dan is het van belang om te bepalen in welke fasen van de levenscyclus de Digital Twin gebruikt wordt omdat dit grote invloed kan hebben op de benodigde fysieke en digitale infrastructuur.

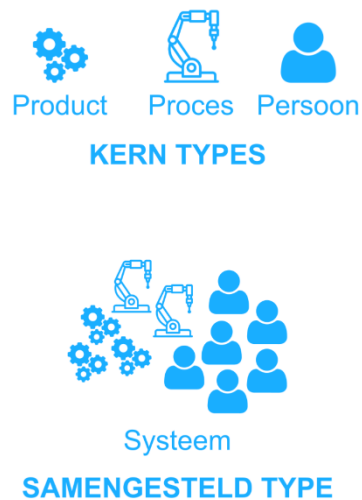
2.2 Typen Digital Twins

Naast het identificeren van de fase in de levenscyclus van een systeem waar een Digital Twin ingezet gaat worden, is het belangrijk om onderscheid te maken tussen de volgende vier *typen* Digital Twins (Figuur 3):

- Kerntypen:
 - Een Digital Twin van een *product*
 - Een Digital Twin van een *proces*
 - Een Digital Twin van een *persoon* (fysiek persoon of autonoom systeem)
- Een `System of Digital Twins` (verzameling van een of meerdere kern typen)

Bij een Digital Twin van een *product* kan je bijvoorbeeld denken aan een Digital Twin van de constructie van een F-35 of aan een Digital Twin van het aandrijfsysteem van een fregat. Er is bij deze voorbeelden bewust voor gekozen om niet te zeggen “*een Digital Twin van de F-35 (in zijn geheel)*”. De reden is dat er voor complexe systemen zelden een enkele Digital Twin gebruikt wordt. Als meerdere Digital Twins samen een representatie vormen van bijvoorbeeld een F-35, dan zou je eigenlijk ook moeten spreken van een `System of Digital Twins`.

Bij een Digital Twin van een *proces* kan gedacht worden aan een Digital Twin van een onderhoudsproces (bijvoorbeeld het vervangen van de motor van een F-35) of een Digital Twin van een logistiek proces (bijvoorbeeld de levering van brandstof aan een kampement).



Figuur 3 Typen Digital Twins: Product, proces en persoon georiënteerde kern typen en een samengesteld type (systeem van Digital Twins)

Het laatste kerntype is de Digital Twin van een *persoon*. Hierbij moet gedacht worden aan een digitale representatie van een fysieke persoon (bijvoorbeeld een onderhoudsmonteur) of een autonoomsysteem.

Zoals hierboven al opgemerkt zullen complexe systemen niet met een enkele Digital Twin gerepresenteerd worden. Dit geeft aanleiding tot het definiëren van een vierde type Digital Twin: de *'systems of Digital Twins'*. Dit type bestaat uit een verzameling Digital Twins van een of meerdere kern types. Een voorbeeld van een dergelijke Digital Twin is een Digital Twin van een slagveld waarbij wapensystemen zoals gevechtsvliegtuigen en luchtafweer door individuele Digital Twins worden gerepresenteerd en waarbij de samenstelling (dus het systeem als geheel) het slagveld representeert. Een ander voorbeeld kan een smart hangar zijn, waarbij vliegtuigen, monteurs en gereedschap wordt gerepresenteerd door Digital Twins, waarbij het systeem van Digital Twins de smart hangar representeert.

2.3 Digital thread

De term Digital Thread wordt in de context van Digital Twins veelvuldig gebruikt. Maar wat is een Digital Thread en hoe verhoudt een Digital Thread zich tot een Digital Twin?

Een Digital Thread is een communicatie infrastructuur die zorgt voor de connectie en integratie van data stromen gedurende de levenscyclus van een systeem. De Digital Thread is dus primair een *data governance* systeem. Het zorgt ervoor dat de data gecontroleerd wordt op juistheid, dat geldende beveiligingseisen gerespecteerd worden en dat alleen toegang tot de data kan worden verkregen indien individuen/groepen/processen over de juiste autorisatie

beschikken. Hiernaast zorgt de Digital Thread voor traceerbaarheid en beschikbaarheid van data voor belanghebbenden en ondersteunt het beslissingsprocessen.

In de context van Digital Twins is de Digital Thread de onderliggende communicatie infrastructuur die ervoor zorgt dat data stromen van de Digital Twin op de juiste manier beheerd worden.