

Bachelor Eindwerk Case 2023-2024: City digital twin

1 Doelstelling van het project

Vandaag de dag zijn we steeds vaker geconfronteerd als maatschappij met complexe problemen verspreid over verschillende domeinen zoals mobiliteit, energie, klimaatverandering, etc. Gelukkig kan de technologie ons hierbij helpen en is het bijvoorbeeld steeds vaker mogelijk om data aan te spreken om problemen in kaart te brengen en beslissingen te ondersteunen.

Digital Twins is een technologisch concept dat al geruime tijd mee gaat, maar steeds vaker effectief gebruikt wordt. Het omvat typisch een digitaal model van een fysieke omgeving, systeem of proces. Je kan het zien als een soort uitgebreide en toegankelijke simulatietool, op basis van datastromen die typisch van verschillende bronnen komen. Soms wordt deze data (semi-) real-time aangeleverd, soms slechts sporadisch met verschillende frequenties (b.v. dagelijks).

Enkele voorbeelden van soortgelijke systemen:

- Haven van Antwerpen - Brugge
- Stad Brugge
- Seoul smart city
- Siemens: digital twin voor autoindustrie

De bedoeling van dit project is dat jullie een digital twin maken voor een bestaande Vlaamse stad/gemeente. Deze tool laat toe om op verscheidene domeinen (b.v. mobiliteit, energie, etc) de situatie te monitoren en de impact van wijzigingen of bepaalde situaties te simuleren. Hierbij kan je denken aan vraagstukken zoals: “wat gebeurt als we kruispunt X afsluiten” of “wat is de impact als we gasleiding Y afsluiten voor onderhoud”.

Aangezien het hier gaat over complexe/grote vraagstukken en de combinatie van verschillende onderzoeksdomeinen of technieken, wordt er eerst een studie gemaakt naar verschillende onderwerpen in het eerste semester. De effectieve implementatie fase zal plaatsvinden in het tweede semester.

2 Analyse onderwerpen

2.1 Database voor sensor data van verschillende bronnen [ENG+MOB]

In deze paper willen we onderzoeken hoe we een grote hoeveelheid sensor data op een efficiënte manier kunnen opslaan en uitlezen. Denk hierbij aan wagens die continu hun positie en snelheid doorgeven, of slimme meters in gebouwen die hun huidige verbruik realtime doorgeven. Bespreek in deze paper het Big Data 4v model, en ga na welke vereisten databases moeten hebben om deze toepassingen te ondersteunen (e.g., ACID?).

2.2 Analytics op sensor data [ENG+MOB]

Het doel van deze paper is om een oplossing voor te stellen waarbij data analyse kan gebeuren op grote schaal. Met andere woorden, op welke manier kunnen we gigantische hoeveelheden (real-time) sensor data gaan verwerken tot nuttige inzichten?

2.3 Continuous integration voor grote software projecten [ALG]

Een groot software project zoals deze digital twin heeft de nodige ondersteuning nodig om efficiënt te kunnen werken met een grote groep ontwikkelaars. In deze paper zal je moeten onderzoeken welke ondersteuning nodig is. Hierbij denken we aan continuous integration en continuous deployment. Bij het afronden van deze paper verwachten we te beschikken over een plan over hoe we deze omgeving kunnen opzetten (met eventueel een prototype). Omwille van praktische redenen zal de code repository gehost worden op een private GitLab server.

2.4 Modulaire en toegankelijke (via APIs) software architectuur & integratie [ENG+MOB]

Aangezien we slechts een beperkte tijd hebben om het platform te ontwikkelen zal het belangrijk zijn dat het platform modulaair zal worden opgezet. Op deze manier moet het eenvoudig zijn voor zowel interne als externe ontwikkelaars om nieuwe functionaliteiten toe te voegen aan het platform. Hou hierbij ook rekening dat modules mogelijks gehost kunnen worden op externe systemen. Een ander belangrijk aspect dat in deze paper onderzocht zal moeten worden is het delen van data. We willen namelijk verhinderen dat door het delen van data met externe partijen we de controle over de data verliezen.

2.5 Distributed computing [ENG+MOB]

Om complexe analyses mogelijk te maken en te werken op grote schaal willen we het platform distributed kunnen maken om taken in parallel te kunnen uitvoeren, en data eventueel redundant op te slaan. In deze paper zal je moeten nagaan op welke manier we dit het beste kunnen opzetten.

2.6 Technieken voor de (visuele) generatie van de voorstelling van een stad [ENG+MOB]

Om op een efficiënte en interactieve manier verschillende scenario's te simuleren zal de status van de digital twin op een of andere manier visueel moeten worden voorgesteld. De uitdaging hierbij zal zijn dat er een mogelijks een groot aantal dynamische actoren zal moeten worden weergegeven. Tevens zal er moeten worden nagedacht over de manier waarop gebruikers scenario's kunnen aanmaken/opslaan/delen en resultaten kunnen bekijken/delen.

2.7 Technieken voor simulatie van large scale human behavior/social network [ENG+MOB]

De virtuele stad zal worden bevolkt door virtuele inwoners. Om een accurate simulatie te kunnen uitvoeren zullen we het bedrag van een grote groep mensen ook moeten kunnen simuleren. Hierbij zal een doorsnee burger bijvoorbeeld op een weekdag overdag zich op zijn werkplek bevinden, terwijl deze burger in het weekend bijvoorbeeld een concert of sportevenement kan bijwonen. In deze paper zal je moeten nagaan op welke manier we deze simulatie op grote schaal en met een grote mate van realisme kunnen uitvoeren.

2.8 Technieken voor modelleren van verschillende verkeersstromen [MOB]

In de virtuele stad zal verkeer een essentiële rol spelen. In deze paper willen we onderzoeken op welke manieren we verkeersstromen op een realistische en grote schaal kunnen voorstellen. Denk hierbij aan het modelleren van individuele voertuigen, maar bijvoorbeeld ook hoe deze zich gedragen ten opzichte van elkaar, en hoe deze reageren op verkeerslichten en eventuele obstructies op hun pad.

2.9 Technieken voor simulatie van weer en klimaat [ENG+MOB]

Voor zowel het simuleren van mobiliteit als energiegebruik is een realistische modelleren van het weer noodzakelijk. In deze paper zal je moeten onderzoeken op welke manieren we dit kunnen uitvoeren. Denk hierbij aan het effect

van de positie van de virtuele stad, seizoenen en de mogelijkheid om specifieke fenomenen (storm, sneeuw, hittegolf) te kunnen voorstellen.

2.10 Technieken voor simulatie van energie netwerk [ENG]

Een energienetwerk in een complexe interactie van vraag en aanbod. In de simulatie zal het belangrijk zijn om het netwerk realistisch te kunnen voorstellen. Denk hierbij aan de infrastructuur die beschikbaar is om energie te transporteren van en naar de verschillende producenten en consumenten. Hierbij willen we ook kunnen nagaan wat de impact is op het netwerk van specifieke situaties zoals bijvoorbeeld het uitvallen van een kabel/gasleiding of een plotse overaanbod piek.

3 Systeem vereisten

3.1 Niet-functionele vereisten

De belangrijkste vereiste van dit project bestaat uit het ontwikkelen/uitbreiden van de functionaliteiten en noden van een digitale twin van een Vlaamse stad of gemeente (ook wel een local digital twin genoemd). Alle effectieve functionaliteiten moeten zo flexibel en modulair mogelijk geïmplementeerd worden. Elk team zal op een specifieke functionaliteit werken om de eigen extra functionaliteiten binnen het systeem te kunnen tonen.

Hieronder volgt een opsomming van verschillende belangrijke aspecten:

- **Generiekheid:** Aangezien het voorgestelde platform nuttig kan zijn voor meerdere steden en gemeentes in Vlaanderen en daarbuiten, is het de bedoeling dat het systeem zo generiek mogelijk ontwikkeld wordt.
- **Modulariteit:** Hou er rekening met dat het gaat over een groot systeem dat, potentieel in de toekomst na de eerste oplevering, uitgebreid kan worden om andere aspecten in rekening te brengen (b.v. simuleren van een impact epidemie of beleidsmaatregelen daaromtrent). Daarnaast kan het ook zijn dat een toekomstige nieuwe stad niet zo maar alle modules/aspecten wilt gebruiken (b.v. enkele geïnteresseerd in mobiliteit en niet in energie). Daarom moet het project modulair uitgevoerd.
- **Heterogene datastromen:** Van bij de start zal er gewerkt moeten worden met verschillende soorten data. Deze data zal complex zijn: de data komt van verschillende bronnen, zal verschillende formaten bevatten, zal verschillende tijdsschalen en nauwkeurigheden hanteren, etc. Hou hier dus ook zeker rekening mee bij het ontwikkelen van het platform. Het moet ook zeker mogelijk zijn om nieuwe databronnen toe te voegen op een eenvoudige manier.

- **Gebruiksvriendelijkheid:** Het uiteindelijke systeem zal gebruikt worden door gebruikers met een zeer diverse achtergrond. Denk hierbij aan ambtenaren van verschillende departementen, beleidsmakers, stadsdiensten, etc. Het systeem moet dus gebruiksvriendelijk zijn voor al deze mensen en mag geen technische voorkennis vereisen in gebruik.
- **Veiligheid:** Op het platform zal data van verschillende bronnen samengevoegd worden. Dit kan gaan over gevoelige of persoonsdata. Daarnaast kan al deze data, of de inzichten en het gebruik daarvan, interessant zijn mensen met slechte bedoelingen. Er moet dus zeker rekening gehouden worden met de veiligheid van de data en het algemene systeem.
- **Computationele resources en efficiëntie:** Zoals al gezegd gaat er in het systeem veel data nodig hebben en opslaan. Daarnaast kunnen simulaties veel tijd en rekenkracht vragen. Het is daarom dus ook belangrijk dit aspect in rekening te brengen. Merk op dat in de algemene maatschappij resource en energie efficiëntie steeds belangrijk wordt en er vragen gesteld worden bij de resource footprint van b.v. artificiële intelligentie en datacenters.
- **Continue Integratie** Om de kwaliteit van het platform op een betrouwbare manier te verhogen, moet er een goede CI/CD methode worden voorzien voor de continue integratie van nieuwe software in het systeem. Om dit veilig te doen, moeten er ook genoeg testen voorzien zijn om de kans op fouten in het platform zo klein mogelijk te houden.

3.2 Functionele vereisten

- **Visuele interactieve representatie van een stad** Visueel overzicht van de stad waarbij de onderstaande functionaliteiten duidelijk worden weergegeven.
- **Simulatie verkeersstromen (autos en voetgangers)** Gedetailleerde simulatie van verkeersstromen afhankelijk van het stratenplan, aantal inwoners en externe factoren in de stad.
- **Simulatie van energie netwerk** Gedetailleerde simulatie van energienetwerk afhankelijk van vraag en aanbod van individuele burgers, waarbij ook rekening kan worden gehouden met factoren zoals klimaat, beschikbare infrastructuur, en lokale events.
- **Simulatie van weer en klimaat** Simuleren van de verschillende seizoenen (globaal) en de effecten van lokale factoren op de temperatuur, regenval en bewolking.
- **Burgerplatform API met achterliggende veilige database** API waarbij burgers algemene informatie, hun energieverbruik en hun transport kunnen raadplegen.

- **Sensor database** Database van gedetailleerde informatie van bovenstaande functionaliteiten die makkelijk inzetbaar is voor de analyse van user stories.

3.3 Voorbeelden user stories

Enkele voorbeelden waarvoor de simulator kan worden ingezet:

- **Vernieuwing stratenplan** Stel dat een stad zijn wegen wilt vernieuwen, dan kan dit plan worden getest in de simulator om de impact op verkeer te analyseren en eventuele knelpunten eruit te halen. Er kan gekeken worden naar de gemiddelde reistijd en algemene impact op het stadsverkeer.
- **Energie consumptie** Nieuwe opkomende technologieën brengen een verandering in energie consumptie met zich mee, denk aan de elektrische wagen. Met de simulator kan worden nagegaan hoeveel energie nodig is om te voldoen aan de vraag. Hierbij kan ook de graad van adoptie van een bepaalde technologie door de stadsbevolking worden aangepast om een beeld te hebben van de verschillende scenarios.
- **Optimalisatie verkeerslichten** De simulator kan verschillende afstellingen van verkeerslichten testen op specifieke knooppunten om de verkeersstroom te optimaliseren. Ook hierbij kunnen verschillende scenarios worden getest, zoals variëren in drukte, met of zonder voetgangers die mogen oversteken, en indeling van de kruispunten.
- **Klimaatrampen** Om de impact van klimaatrampen te minimaliseren kunnen in de simulator bepaalde scenarios van klimaatrampen worden getest, zoals overstromingen, brand, en windstoten. Afhankelijk van de ernst kan een percentage van de inwoners zonder elektriciteit komen te zitten of niet de mogelijkheid hebben om hun huis te verlaten. Hoe kan op korte- en lange termijn de impact van deze rampen worden geminimaliseerd?
- **Openbaar vervoer** Hoe kan op een efficiënte manier openbaar vervoer worden ingezet waarbij de reistijd naar zoveel mogelijk bestemmingen in de stad wordt geminimaliseerd? Naast reistijd, moet ook de energieconsumptie van de verschillende scenarios in rekening worden gebracht.
- **Smart grids** Hoe kunnen duurzame energiebronnen (zon en wind) op een efficiëntere manier worden ingezet? Hierbij denken we aan elektrische apparatuur die meer verbruiken op momenten van een duurzaam energie overschot.