

État de l'art jumeau numérique

État de l'art du jumeau numérique

Définition

Les jumeaux numériques sont aujourd'hui utilisés dans de très nombreux domaines, allant de l'automobile au bâtiment, en passant par la médecine ou le sport. Son idée a été exprimé pour la première fois en 1991 dans "Mirror Worlds", ouvrage de David Gelernter visant à décrire les futures révolutions technologiques, mais ce n'est qu'une décennie plus tard que le terme commence à apparaître. Ces jumeaux ont donc évolué au fur et à mesure des années et les secteurs dans lesquels leurs utilisations est intéressante s'est vu augmenté considérablement.

Aujourd'hui, un jumeau numérique est le plus souvent défini comme une représentation informatique en temps réel d'un objet ou d'un système physique, basée sur des données de capteurs. Il est utilisé pour simuler, surveiller et optimiser le fonctionnement de l'objet ou du système. Son utilisation est de nos jours rattachée à des systèmes de différents types et de différentes échelles, parfois individuels (comme une voiture) ou bien de grande ampleur (comme une chaîne de production). L'utilisateur d'un jumeau numérique a accès à tout instant à l'ensemble des informations et à l'état du système réel, et peut ainsi anticiper son comportement. Cette vision permet une analyse des données et une prise de décision optimisée.

Application dans des secteurs toujours plus nombreux

Bien qu'initialement utilisés afin de vérifier le bon fonctionnement des systèmes réels, les jumeaux numériques ont évolué afin de répondre aujourd'hui à des problématiques plus diverses.

Dans le secteur de l'aéronautique et de l'automobile, les jumeaux numériques sont de plus en plus utilisés afin d'optimiser les consommations et les impacts environnementaux, ainsi que pour améliorer les performances des véhicules mais également des outils de productions. Les jumeaux numériques étaient initialement conçus afin d'étudier et simuler le fonctionnement d'un seul élément, mais ils peuvent également aujourd'hui simuler des systèmes bien plus complexes. BMW par exemple s'appuie sur le multi-logiciels Omniverse de Nvidia afin de créer un jumeau numérique de ses usines et ainsi améliorer sa production [1]. Un traitement rapide d'autant de données n'était pas possible il y a encore quelques années et la réalisation de jumeaux numériques de systèmes aussi complexes nécessitent la synchronisation de nombreuses applications différentes.

Dans le secteur de la santé, les jumeaux numériques ont permis de créer des répliques numériques de l'homme, jusqu'au niveau moléculaire. Philips par exemple a développé un outil nommé Dynamic HeartModel afin de permettre aux cardiologues de fournir des soins aux patients atteints de maladies cardiovasculaires à partir d'un jumeau numérique de leur cœur [2]. Ces dernières années, le

développement des IA a également permis de travailler sur l'anticipation de maladies avant qu'elles ne surviennent à l'aide de jumeaux numériques.

Ces différentes applications illustrent la variété possible d'utilisation des jumeaux numériques, mais montrent également que l'implémentation d'un jumeau numérique est principalement dépendante du secteur d'application.

Deux principaux facteurs d'évolution des jumeaux numériques: machine learning et big data

Machine learning et jumeau numérique

Ce qui différencie un jumeau numérique d'un simulateur ou d'un outil de surveillance conventionnel, c'est sa capacité d'interaction en continu, autrement dit sa capacité d'apprentissage automatique en temps réel. Le traitement efficace des données est essentiel afin d'anticiper comment le système réagirait dans des conditions qui ne se sont pas encore produites. C'est pour cette raison qu'appeler jumeau numérique un simple simulateur n'est pas correct selon certaines définitions. L'évolution des jumeaux numériques s'appuie ainsi sur l'évolution des méthodes de Machine Learning [4].

De nombreuses technologies d'apprentissage automatique sont déjà combinées aux jumeaux numériques en utilisant des algorithmes tels que les forêts d'arbres décisionnels ou l'amplification de gradients [5].

Malgré cela, les technologies d'apprentissage automatique sont aujourd'hui absentes de nombreux jumeaux numériques. Cette absence s'explique par la complexité toujours plus grande de nos systèmes industriels. Le nombre de paramètres impliqués dans les problèmes d'optimisation continue de croître. Bien que les industries soient capables de traiter ces problèmes à un niveau unitaire, il est très difficile de parvenir à combiner ces différentes solutions et de choisir le bon outil de machine learning afin de l'appliquer sur le jumeau numérique. De plus, les ressources nécessaires pour traiter les données augmentent rapidement au fur et à mesure que le nombre d'entités à considérer augmente, ce qui implique de nécessiter des connaissances techniques conséquentes. L'apprentissage automatique nécessite également d'avoir accès à un jeu de données et de tests suffisamment important.

Big data et jumeau numérique

Concernant le traitement des données, l'un des plus gros soucis auquel font faces les jumeaux numériques est la rapidité de traitement et l'intervalle de collecte des données. Les données proviennent la plupart du temps de différentes sources. Au-delà de la difficulté matérielle de traitement de larges échantillons de données, si les fréquences de collecte ne correspondent pas, ou qu'elles ne sont pas traitées correctement, un décalage temporel peut apparaître et empêcher le bon fonctionnement du jumeau.

Dès 2015 [3], de nombreux travaux mettent en exergue l'importance du prétraitement des données collectées afin de les transformer en un modèle convenable, ce qui est essentiel dès lors que la quantité de données devient conséquente.

Q. Qi and F. Tao en 2018 [6] analysent le rôle des jumeaux numériques dans le secteur de la production industrielle. Les jumeaux permettent de gérer la production et forment ainsi une communication bidirectionnelle entre le système physique et sa représentation numérique. Combiné à la capacité d'analyse et de prédiction du Big Data, le jumeau numérique devient ainsi plus efficace, précis et prédictif.

Il est donc essentiel de s'adapter au problème concret afin d'étudier comment les données doivent être collectés et traiter efficacement, et ce afin que le jumeau puisse agir et s'adapter en temps réel.

Conclusion

Les jumeaux numériques ont énormément évolué depuis leur première apparition. Les récents développement technologiques ont modifié le rôle de ces jumeaux afin d'en faire des outils plus précis et prédictifs. Ainsi se dessinent aujourd'hui cinq principaux composants d'un jumeau numérique:

Composant	Fonction
Système physique	Ce dont on souhaite réaliser un jumeau
Système numérique	Le jumeau
L'internet des objets (IoT)	Pour l'interconnectivité des composants et des données
Les données	Pour l'analyse et l'entrée du software
Le software	Pour analyser les données et l'apprentissage automatique

La complexité et l'importance de chacun de ses éléments dépend du contexte, du système, de l'industrie, et doit ainsi faire l'objet d'une analyse de cas très précise.

Bibliographie:

- [1] Maryse Bataillard. (2021). BMW Group et NVIDIA accélèrent la planification de l'usine virtuelle. BMW Group. <https://www.press.bmwgroup.com/france/article/detail/T0329812FR/bmw-group-et-nvidia-accélèrent-la-planification-de-l-usine-virtuelle?language=fr>
- [2] Tommie Dijstelbloem. (2021). "Nous avons l'occasion d'accélérer la transformation numérique des soins de santé". <https://www.philips.be/fr/about/news/archive/standard/about/news/articles/2021/20211019-nous-avons-l-occasion-d-accelerer-la-transformation-numerique-des-soins-de-sante.html>
- [3] Roland Rosen, Georg von Wichert, George Lo, Kurt D. Bettenhausen, About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing, 2015.
- [4] Angira Sharma, Edward Kosasih, Jie Zhang, Alexandra Brintrup, Anisoara Calinescu, Digital Twins: State of the art theory and practice, challenges, and open research questions, Journal of Industrial Information Integration, 2022.
- [5] Qingfei Min, Yangguang Lu, Zhiyong Liu, Chao Su, Bo Wang, Machine Learning based Digital Twin Framework for Production Optimization in Petrochemical Industry, International Journal of Information Management, 2019.
- [6] Q. Qi and F. Tao, "Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison," in IEEE Access, vol. 6, pp. 3585-3593, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2793265.
keywords: {Big Data;Data mining;Internet;Product design;Real-time systems;Big data;digital twin;smart manufacturing;comprehensive comparison;convergence},