

Diese Arbeit wurde unter dem Titel:

Cyber-Physical System Based Method for Smart Construction Site Monitoring and Control

Cyber-physische Systembasierte Methode zur Intelligenten Baustellenmonitoring und-überwachung

an der Fakultät Bauingenieuren der Technischen Universität Dresden als

DISSERTATION

von

Yaseen Srewil

geboren am 05. Februar.1978 in Duma, Syrien.

zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigt.

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Raimar J. Scherer, Technische Universität Dresden

Prof. Dr.-Ing. Markus König, Ruhr-Universität Bochum

Prof. Dr.-Ing. Timo Hartmann, Technische Universität Berlin.

Eingereicht am: 28.09.2023

Tag der Disputation: 31.05.2024

Kurzfassung

Die Bauprojekte sind oft verspätet, überschreiten das Budget und unterliegen während der Bauphase Änderungen aufgrund der Komplexität, der Unikat des Bauprojekts und externer Faktoren wie Wetter, soziale und politische Aspekte. Die Fertigungs-, Logistik- und Montageprozesse sind nur zu einem gewissen Grad standardisiert und im Allgemeinen unzureichend dokumentiert. Ein entscheidender Durchbruch gelang mit der Building Information Modeling (BIM)-Technologie. Die Koordination zwischen den digitalen Modellen und den realen Aktivitäten auf der Baustelle ist jedoch noch begrenzt. Der Informationserhalt resultiert überwiegend aus manuellen Prozessen zur Datenerfassung. Informationen über den aktuellen Bauzustand sind deshalb meist unvollständig, fehlerbehaftet und nicht zeitnah verfügbar. Entsprechende Methoden sind somit notwendig, um einen bidirektionalen Wissensaustausch zwischen virtuellen und physischen Aspekten in komplexen Bauumgebungen zu realisieren. Dadurch wird eine kontinuierliche Abstimmung über alle Baubereiche während des gesamten Projektlebenszyklus gewährleistet. Die bestehende Informationslücke wird effektiv geschlossen.

Cyber-physische Systeme, als Schlüsseltechnologie der Industrie 4.0, beschreiben Kopplung zwischen virtueller und realer Welt. Sie definieren eine direkte bidirektionale Verbindung zwischen den physikalischen Bauelementen und deren Umgebungen „Ortsbezug“ und ihre Repräsentation als virtuelle Modelle „Digitaler Zwillinge“. Der Ansatz cyber-physischer Bauelemente fördert die Zusammenarbeit zwischen digitalen, räumlichen und physischen Baueinheiten. Dies erlaubt die frühzeitige Identifikation von Soll-Ist-Abweichungen auf Prozessebene und beschleunigt die Entscheidungsfindung für die zeitnahe Planung von Konsequenzen im gesamten Bauablauf. Technische Sensorik wie RFID, Photogrammetrie, Laserscanning u. a. sind Basistechnologien, die eine solche datenreiche Verknüpfung ermöglichen können.

Im Fokus der Arbeit stehen die cyber-physischen Objekte (CPOs), allgemein als vernetzte Digitale Zwillinge mittels RFID betrachtet, die auf einem intelligenten Niveau mit ihren digitalen und ortsbezogenen Fähigkeiten ausgestattet sind. Aufgrund dessen kann der Unterschied zwischen dem Informationsmodell und einem physischen Produkt verschwinden, da Produkte untrennbar mit "ihrer" Information verbunden sind.

Die Arbeit präsentiert ein Rahmenwerk für cyber-physikalische Systeme in intelligenten gebauten Umgebungen, in dem Konstruktionsmethoden und Prozesse intelligent und adaptiv ausgeführt werden. Zur Zuordnung von Aktivitäten, Ereignissen, Netzwerken/Vorrichtungen und deren jeweiligen funktionalen Standorten (d. h. geoSite) wird ein virtuelles Baustellenmodell entwickelt. Das Modell beinhaltet drei charakteristische Ebenen mit dem Ziel, den Inhalt der erfassten Daten zu verbessern und die Einschränkungen des passiven RFID-Systems zu überwinden. Dies erleichtert einen reibungslosen Übergang von einfachen Beobachtungen zur Aktivitätserkennung und zur zeitlichen Identifizierung ihres Status.

Dabei wird eine flexible Prozessmodellierungsmethode vorgestellt, die basierend auf konfigurierbaren Prozesstemplates eine effiziente Erfassung von Prozessänderungen ermöglicht. Cyber-physische Objekte und deren Informationen, die während des kontinuierlichen Überwachungsprozesses gewonnen bzw. aktualisiert werden, dienen dabei als Schlüsselkonzept um zeitnah die Prozesstemplates im bestehenden Prozessverlauf zu integrieren. Um die Überwachung der Bauprozesse und die Integration

von Prozessänderungen möglichst automatisiert ablaufen zu lassen, wurde als Beschreibungsmethode eine ontologische Repräsentation gewählt. Der vorgeschlagene Ansatz erhöht die Flexibilität des Bau-prozesses und die Fähigkeit, mit häufigen Änderungen der Ausführungsbedingungen umzugehen. Darüber hinaus hält er das gesamte Prozessmodell auf dem neuesten Stand.

Keywords

CPS, BIM, IFC, RFID, geoSite, CPOs, Semantic enrichment, Monitoring, Control, Digital Twin

Abstract

The construction projects often run late exceed budgets, and are subject to changes, especially during the design and construction phases, due to external impacts like weather, social and political aspects. The complexity and one-off nature of projects shaped the construction industry. The manufacturing, logistics and assembly processes are only standardized to a certain degree and are insufficiently documented.

A breakthrough has been achieved through the application of the Building Information Modeling (BIM) technology, which can be extended into a digital fabrication strategy. However, effective coordination among digital models, physical assets, and real-time activities in open-environment job sites remains limited and continues to pose substantial challenge. Moreover, in many field practices the manual processes are still frequently used for communicating and handling information at the construction site. Consequently, the information of actual construction processes is often incomplete, error-prone and occasionally available on time. A connected approach to planning, monitoring, and control is crucial, as it enables seamless bi-directional knowledge exchange between virtual and physical construction environments. This ensures continuous alignment across construction domains throughout the project lifecycle and effectively bridges the persistent information gap.

Cyber-physical systems (CPSs), as backbone of the industry 4.0 innovation, can be seen as digitally-driven technological fusions of physical, spatial and virtual models. Thereby, the physical construction entities, their locations and processes are tightly linked to the Building Information Models (BIM models) using Automated Data Capturing (ADC) solutions such as Radio Frequency Identification (RFID) system, photogrammetry or laser scanning, etc. Pairing BIM and ADC technologies offers an adequate solution bridging the information gaps and promoting the collaboration among digital, spatial and physical construction entities.

The focus is on the cyber-physical objects (CPOs) modeling entities, as a connected approach of the virtual equivalent models, namely the digital twins and physical entities "physical twins". These objects are at a level of "smartness" with digital and location-aware capability. These connected objects can be embedded in the construction process logic to initiate new services. Accordingly, the difference between an information model and a physical production is narrow and can disappear, because products will be inextricably linked to "their" information models. The result is transparency and better projects progress tracking, monitoring and control of the construction site activities close to real-time.

The work presents a cyber-physical systems framework for smart-built environments, in which construction methods and processes are executed intelligently and adaptively. An approach to re-arrangement of construction site into a functional oriented work zones is discussed to add the necessary location-context for the handled physical entities on site. This enables a smooth transition from simple observations to support activity identification.

The discussed solution is designed to monitor the progress of entire process and to identify activities and potential exceptions during runtime in a (semi-)automated manner. For handling the detected exceptions in construction processes the flexible process modelling methods like existing configuration process templates are investigated. The proposed approach enhances the construction process flexibility and capability to deal with frequently changes in execution conditions. Moreover, it keeps the entire process model up-to-date.