



Technische Universität Dresden - Fakultät Bauingenieurwesen

Dissertation Zur Erlangung Des Akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr-Ing)

BIM integrierte und referenzprozessbasierte Simulationsplattform für die Bauprojektplanung

BIM Integrated and Reference Process-based Simulation Platform for Construction Project Planning

Vorgelegt von: Ali Ismail geboren am 17/12/1976 in Syrien

1 Gutachter: Professor Dr-Ing. Raimar Scherer, Institut für
Bauinformatik, Technische Universität Dresden

2 Gutachter: Professor Simaan Abourizk, Faculty of Engineering,
University of Alberta

3 Gutachter: Professor Timo Hartmann, Institut für
Bauingenieurwesen, Technische Universität Berlin

Tag der Abgabe: 06.04.2021

Tag der Verteidigung: 22.06.2021

Zusammenfassung

Die Verwendung von Simulationen zur Unterstützung traditioneller Planungsverfahren für Bauprojekte hat viele Vorteile, die in verschiedenen akademischen Forschungen vorgestellt wurden. Viele Anwendungen haben erfolgreich das Potenzial der Simulationemethode zur Verbesserung der Qualität der Projektplanung demonstriert. Doch eine breite Anwendung der Simulationemethoden zur Unterstützung der Planung von Bauprojekten konnte sich in der Praxis bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht durchsetzen. Aufgrund einiger großer Hindernisse und Herausforderungen ist der Einsatz im Vergleich zu anderen Branchen noch sehr begrenzt.

Die Komplexität sowie die dynamischen Wechselprozesse der unterschiedlichen Bauvorhaben stellen die erste Herausforderung dar. Die Anforderungen machen es sehr schwierig die verschiedenen Situationen realistisch zu modellieren und das Verhalten von Bauprozessen und die Interaktion mit den zugehörigen Ressourcen für reale Bauvorhaben darzustellen. Das ist einer der Gründe für den Mangel an speziellen Simulationswerkzeugen in der Bauprojektplanung. Die zweite Herausforderung besteht in der großen Menge an Projektinformationen, die in das Simulationsmodell integriert und während des gesamten Lebenszyklus des Projekts angepasst werden müssen. Die Erstellung von ad-hoc Simulationsmodellen, Simulationsszenarien sowie die Analyse und Verifizierung der Simulationsergebnisse ist langwierig. Zur Erstellung zuverlässiger Simulationsmodelle sind daher umfangreiche Ressourcen und Mitarbeiter mit speziellen Fachwissen erforderlich. Die vorgestellten Herausforderungen verhindern die breite Anwendung der Simulationemethode zur Unterstützung der Bauprojektplanung und das Einsetzen der Software als wesentlicher Bestandteil des Arbeitsablaufes für die Bauplanung in der Praxis.

Die Forschungsarbeit in dieser Arbeit befasst sich mit diesen Herausforderungen durch die Entwicklung eines Ansatzes sowie einer Plattform für die schnelle Entwicklung von Simulationsmodellen für Bauprojekte. Das Hauptziel dieser Forschung ist die Entwicklung eines integrierten und referenzbasierten BIM Simulationsansatz zur Unterstützung der Planung von Bauprojekten und die Möglichkeit der Zusammenarbeit aller am Planungs- und Simulationsprozess beteiligten Akteure.

Die erste Herausforderung wurde durch die Einführung eines RPM-Konzepts (Reference Process Model) durch die Modellierung von Konstruktionsprozessen unter Verwendung von Business Process Modeling and Notation (BPMN) angegangen. Diese RPM-Modelle können automatisch als einsatzbereite Module in Simulationsmodelle umgewandelt werden. Die RPM-Modelle enthalten auch Informationen zu Ressourcenanforderungen und andere verwandte Informationen für verschiedene Baubereiche mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden. Die Verwendung von BPMN hat den Vorteil, dass die Simulationsmodellierung für das Projektteam, ein-

schließlich derjenigen, die sich nicht mit der Simulation auskennen, flexibler, inter-operabler und verständlicher ist. Bei diesem Ansatz ist die Modellierung von Referenzprozessmodellen vollständig von den Simulationskernkomponenten getrennt, um das Simulations-Toolkit generisch und erweiterbar für verschiedene Konstruktionsbereiche wie Gebäude und Brücken. Der vorgestellte Forschungsansatz unterstützt die kontinuierliche Anwendung von Simulationsmodellen während des gesamten Projektlebenszyklus. Die Simulationsmodelle, die zur Unterstützung der Planung in der frühen Entwurfsphase erstellt werden, können von Simulationsexperten während der gesamten Planungs- und Bauphase weiter ausgebaut und aktualisiert werden.

Die zweite Herausforderung wurde durch die direkte Integration der Building Information Modeling (BIM) -Methode in die Simulationsmodellierung auf der Grundlage des Industry Foundation Classes-IFC (ISO 16739) , dem am häufigsten verwendeten BIM-Austauschformat, angegangen. Da die BIM-Modelle einen wichtigen Teil der Eingabeinformationen von Simulationsmodellen enthalten, können sie als Grundlage für die Visualisierung von Ergebnissen in Form von 4D-BIM-Modellen verwendet werden. Diese Integration ermöglicht die schnelle und automatische Filterung und Extraktion sowie die Umwandlung notwendiger Informationen aus BIM-Modellen für Entwurfs- und Baustellenmodelle. Um die Erstellung detaillierter Projektpläne zu beschleunigen, wurde eine spezielle Methode für die halbautomatische Top-Down-Detaillierung von Projektstamplänen entwickelt, die notwendige Eingangsdaten für die Simulationsmodelle sind. Diese Methode bietet den Vorteil, dass Konstruktionsalternativen mit minimalen Änderungen am Simulationsmodell bewertet werden können. Der entwickelte Ansatz wurde als Software- Prototyp in Form eines modularen Construction Simulation Toolkit (CST) basierend auf der Discrete Event Simulation (DES)- Methode und eines Collaboration- Webportals (ProSIM) zum Verwalten von Simulationsmodellen implementiert.

Die Simulationsmodelle ermöglichen mit minimalen Änderungen die Bewertung von Entwurfsalternativen und Konstruktionsmethoden. Produktions- und Logistikvorgänge können gleichzeitig in einer einheitlichen Umgebung simuliert werden und berücksichtigen die gemeinsam genutzten Ressourcen und die Interaktion zwischen Produktions- und Logistikaktivitäten. Es berücksichtigt auch die Änderungen im Baustellenlayout während der Konstruktionsphase. Die Verifizierung und Validierung des vorgeschlagenen Ansatzes wird durchgeführt durch verschiedene akademische und reale Bauprojekten .

Abstract

Using simulation to support construction project planning has many advantages, which have been presented in various academic researches. Many applications have successfully demonstrated the potential of using simulation to improve the quality of construction project planning. However, the wide adoption of simulation has not been achieved in practice yet. It still has very limited use compared with other industries due to some major obstacles and challenges.

The first challenge is the complexity of construction processes and projects planning methods, which make it very difficult to develop realistic simulation models of construction processes and represent their dynamic behavior and the interaction with project resources. This led to lack of special simulation tools for construction project planning. The second challenge is the huge amount of project information that has to be integrated into the simulation model and to be maintained throughout the design, planning and construction phases. The preparation of ad-hoc simulation models and setting up different scenarios and verification of simulation results usually takes a long time. Therefore, creating reliable simulation models requires extensive resources with advanced skills.

The presented challenges prevent the wide application of simulation techniques to support and improve construction project planning and adopt it as an essential part of the construction planning workflow in practice.

The research work in this thesis addresses these challenges by developing an approach and platform for rapid development of simulation models for construction projects. The main objective of this research is to develop a BIM integrated and reference process-based simulation approach to support planning of construction projects and to enable collaboration among all actors involved in the planning and simulation process.

The first challenge has been addressed through the development of construction simulation toolkit and Reference Process Model (RPM) concept for modelling construction processes for production and logistics using Business Process Modelling and Notation (BPMN). The RPM models can be transformed automatically into simulation models as ready-to-use modules. They describe the workflow and logic of construction processes and include information about duration, resource requirements and other related information for different construction domains with different levels of details. The use of BPMN has many advantages. It enables the understanding of how simulation models work by project teams, including those who are not experts in simulation.

In this approach, the modelling of Reference Process Models is totally separated from the simulation core components. In this way, the simulation toolkit is generic

and extendable for various construction types such as buildings, bridges and different construction domains such as structural work and indoor operations.

The presented approach supports continuous adoption of simulation models throughout the whole project life cycle. The simulation model which supports project planning in the early design phase can be continuously extended with more detailed RPMs and updated information through the planning and construction phases.

The second challenge has been addressed by supporting direct integration of Building Information Modelling (BIM) method with the simulation modelling based on the Industry Foundation Classes IFC (ISO 16739) standard, which is the most common and only ISO standard used for exchanging BIM models. As the BIM models contain the biggest part of the input information of simulation models and they can be used for effective visualization of results in the form of animated 4D BIM models. The integration between BIM and simulation enables fast and semi-automatic filtering, extraction and transformation of the necessary information from BIM models for both design and construction site models. In addition, a special top-down semi-automatic detailing method was developed in order to accelerate the process of preparing detailed project schedules, which are essential input data for the simulation models and hence reduce the time and efforts needed to create simulation models.

The developed approach has been implemented as a software prototype in the form of a modular Construction Simulation Toolkit (CST) based on the Discrete Event Simulation (DES) method and an online collaboration web portal "ProSIM" for managing simulation models. The collaboration portal helps to overcome the problem of huge information and make simulation models accessible for non simulation experts.

Simulation models created by CST toolkit facilitate the evaluation of design alternatives and construction methods with minimal changes in the simulation model. Both production and logistic operations can be simulated at the same time in a unified environment and take into account the shared resources and the interaction between production and logistic activities. It also takes into account the dynamic nature of construction projects and hence the changes in the construction site layout during the construction phase. The verification and validation of the proposed approach is carried out through various academic and real construction project case studies.