
Zusammenfassung / Abstract

Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Arbeit wird eine Möglichkeit der Abbildung des Eisenbahnbetriebs auf Rechneranlagen vorgestellt. Basierend auf den objektorientierten Technologien *Object Modeling Technique (OMT)* und *Unified Modeling Language (UML)* wird ein Modell des Eisenbahnbetriebs aufgestellt, welches Elemente der Bahninfrastruktur, des Rollmaterials, des Fahrplans und den darauf ablaufenden Prozessen identifiziert. Die Abstraktion des Gleisnetzes wird in zwei Stufen vollzogen. Zuerst werden die Gleisanlagen in Form von Doppelpunktgraphen diskretisiert, um danach diesen Graphen mittels der UML zu beschreiben. Das noch unabhängig von einer Programmierumgebung existierende Modell wurde in der Implementierungsphase in ein lauffähiges Werkzeug überführt, welches durch eine graphische Benutzeroberfläche die Eisenbahnnetze, Fahrzeuge und Fahrpläne entwerfen und verwalten lässt.

Der integrierte Simulator ermöglicht ein zeitgesteuertes Ablaufen der im Netz auftretenden diskreten und kontinuierlichen Betriebsprozesse der Fahrzeuge und Sicherungsanlagen unter den Randbedingungen der ebenfalls mitmodellierten Disposition der Zugfahrten. Die Berechnung der Bewegungen der Züge basiert auf der Newton'schen Bewegungsgleichung. Dabei wird für jeden Arbeitspunkt die vom Rad auf die Schiene übertragbare Kraft und die daraus resultierende maximale Beschleunigung berechnet, um danach mittels numerischer Integration die jeweiligen Werte für die Geschwindigkeit und die aktuelle Position des Zuges zu bestimmen.

Die Interaktivität der Simulation bietet die Möglichkeit, direkt auf die ablaufenden Prozesse Einfluss zu nehmen um so z.B. Systemstörungen nachzubilden. Die grossen, während der Simulation anfallenden Datenmengen über die Systemzustände der beteiligten Objekte lassen sich jederzeit mittels speziellen Funktionen analysieren, um so wichtige Hinweise über den Verlauf der Simulation und deren Qualität zu erhalten. Die graphischen und textuellen Auswertungen der Simulation lassen Resultate und Funktionsverläufe in einer für das Eisenbahnwesen üblichen Form darstellen, so können z.B. Geschwindigkeitsverläufe, Bildfahrpläne, Belegungsdiagramme oder Verspätungsstatistiken ausgegeben werden. Die Auswertungen dokumentieren einerseits detailliert das Verhalten des Netzes für ein ausgewähltes Szenario, andererseits können aus ihnen wichtige Hinweise für ein Verändern der Eingangsparameter gewonnen werden, um durch einen weiteren Simulationslauf näher ans Optimum der aufgestellten Zielfunktion zu gelangen.

Die Implementierung des Simulationsmodells wird unter dem Produktnamen *OpenTrack* bei Bahnverwaltungen, Industriebetrieben, Ingenieurbüros und Universitäten zur Planung von Bahnanlagen und -angeboten eingesetzt. Zusammen mit den Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) wurde im Rahmen eines Anwendungsbeispiels für diese Arbeit die neu zu bauende Strecke zwischen Mattstetten und Rothrist der Linie Bern-Olten modelliert und dabei die Funktionalität des europaweit genormten Sicherungssystems ETCS Level 2, welches anstelle von ortsfesten Signalen eine Führerstandssignalisierung beinhaltet, detailliert untersucht und analysiert.

Abstract

Within this report, a method of modeling a railway network on a computer is presented. Based on the *Object Modeling Technique (OMT)* and the *Unified Modeling Language (UML)* a model of the railway environment with its behavior has been created. It identifies all the elements of the network, the rolling stock, the timetable and all the processes between them.

The abstraction of the network is done in two steps. The first step is to describe the railway infrastructure with a double vertex graph. In the second step, the graph will be represented in UML diagrams. The result of the modeling process is still independent of an implementation tool. After the implementation step was finished, a real computer application with a graphical user interface was created. This application now helps to design railway networks, to organize the rolling stock and to create and manage timetables.

The integrated simulator allows a time driven run of all the continuous and discrete processes of the vehicles and the safety systems under the conditions of the integrated dispatching rules. The calculation of the train movements is based on the formulas of Newton. For every step the maximum force between the engine wheels and the tracks is calculated. With this result the acceleration is calculated. The numerical integration of the function for the acceleration produces the speed function of the trains and a second integration gives the function of the actual position as a result.

The interactivity of the simulation allows user actions (e.g. to simulate disturbances) while the processes are running. Special functions support the user in analyzing the extensive amount of data to inform about the progress and the quality of the simulation.

Graphical and textual evaluations present the results of the simulation in many railway typical ways (e.g. speed function, train diagrams, track occupations, delay statistics). On the one hand the output documents a certain simulation scenario and on the other hand it can point to a needed modification of the input parameters to come closer to a defined optimum after a next run of the simulation.

The implementation of the simulation model is now licensed by railway administrations, the railway industry, transportation consultants and universities. The product name of the application is *OpenTrack*.

In a partnership with the Swiss Federal Railways (SBB), OpenTrack has been used to simulate the new line between Mattstetten and Rothrist, which is part of the line Bern-Olten. This is the first line in Switzerland which implements a complete ETCS-Level 2 safety system. This application level of the ETCS system is based on cab signalling which means that no optical signals are on the side of the tracks anymore.